

ANO
2017

JÔNATAS VENANCIO TEIXEIRA | IMPACTO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO
PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DE ROBÓTICA INDUSTRIAL



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

A crescente presença de robôs em diversos segmentos da indústria demanda a formação de profissionais capacitados para trabalhar com robôs. Por envolver diferentes áreas de conhecimento, a robótica pode ser um tema complexo, sendo necessário o uso de aulas práticas. Investimentos em infraestrutura de laboratórios robóticos podem ser proibitivos, reduzindo a disponibilidade de equipamentos para somente um braço manipulador robótico na maioria das instituições de ensino. Simuladores robóticos educacionais são uma alternativa econômica para a realização de aulas práticas, porém poucas são as publicações que avaliam o impacto educacional do uso de simuladores no ensino de robótica. Apesar das diferenças entre os incentivos dados pelos professores e muitos alunos não terem completado o processo, os resultados encontrados indicam um impacto positivo dos recursos computacionais utilizados, contribuindo assim para a modernização dos ambientes tradicionais de ensino.

Orientador: Marcelo da Silva Hounsell

JOINVILLE, 2017

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IMPACTO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DE ROBÓTICA INDUSTRIAL

JÔNATAS VENANCIO TEIXEIRA

JOINVILLE, 2017

JÔNATAS VENANCIO TEIXEIRA

**IMPACTO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO PROCESSO
ENSINO-APRENDIZAGEM DE ROBÓTICA INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, no Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell

JOINVILLE – SC

2017

Teixeira, Jônatas Venancio
IMPACTO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS NO PROCESSO
ENSINO-APRENDIZAGEM DE ROBÓTICA INDUSTRIAL / Jônatas
Venancio Teixeira. - Joinville, 2017.
161 p.

Orientador: Marcelo da Silva Hounsell
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Elétrica, Joinville,
2017.

1. Simuladores Educacionais. 2. Blended Learning. 3. Robótica
Industrial. 4. Modos de Treinamento. I. Hounsell, Marcelo da Silva. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação.
III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, com auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC

**Impacto de Recursos Computacionais no Processo Ensino-Aprendizagem de
Robótica Industrial**

por

Jônatas Venancio Teixeira

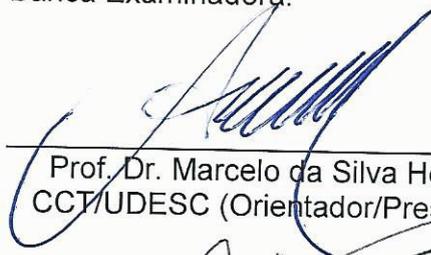
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

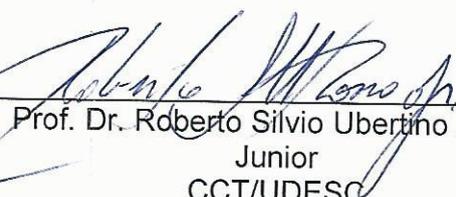
MESTRE PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Área de concentração em "Sistemas Eletroeletrônicos"
e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell
CCT/UEDESC (Orientador/Presidente)


Prof. Dr. Roberto Silvio Ubertino Rosso
Junior
CCT/UEDESC


Prof. Dr. Alejandro Rafael Garcia
Ramirez
CTTMar-Univalli

Joinville,SC, 29 de junho de 2017.

A todos os que estão envolvidos no ensino de robótica industrial, tanto aos que se dedicam ao ensino quanto àqueles que anseiam pelo conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela sua bondade e misericórdia para com aqueles que O buscam.

Agradeço à minha esposa, Stela Cristina Rossato Teixeira, pela compreensão, companheirismo, e afeto durante os anos de execução deste projeto.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell, por sua ajuda, atenção, disponibilidade e paciência.

Agradeço aos membros da banca pelo tempo investido na leitura, na discussão do trabalho e pelas críticas construtivas que colaboraram no aprimoramento deste documento.

Agradeço ao colega de universidade Sérgio Busarello Junior pelo tempo em que colaborou para este projeto durante o desenvolvimento de seu Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço ao grupo de pesquisa LARVA, pelas oportunidades de trocas de conhecimento e experiências.

Agradeço ao Instituto Federal Catarinense por permitir a diminuição da minha carga horária semanal de trabalho durante um ano e seis meses de acordo com o Programa Institucional de Qualificação de servidores para o Instituto Federal Catarinense.

Gostaria de agradecer aos professores Roberto Silvio Ubertino Rosso Junior, Fernando Cesar Ramos, Everton da Silva Zurchimitten e Luiz Alberto Koehler, e às suas respectivas turmas por terem participado desta pesquisa.

Enfim, gostaria de expressar meu agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho, e meus colegas de mestrado.

“Using educational technology in a classroom to add value to teaching and learning by adding, extending, or changing what teachers or students do inherently increases the effectiveness of technology.” (Sara Dexter)

RESUMO

TEIXEIRA, Jônatas Venancio. **Impacto de Recursos Computacionais no Processo Ensino-Aprendizagem de Robótica Industrial**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Joinville, 2017.

A crescente presença de robôs em diversos segmentos da indústria demanda a formação de profissionais capazes de projetar, implantar, operar e realizar manutenções em células de trabalho equipadas com robôs. Por envolver diferentes áreas de conhecimento, a robótica pode ser um tema complexo, sendo necessário o uso de aulas teóricas e práticas. Investimentos em infraestrutura de laboratórios robóticos podem ser proibitivos, reduzindo a disponibilidade de equipamentos para somente um braço manipulador robótico na maioria das instituições de ensino. Simuladores robóticos educacionais são uma alternativa econômica para a realização de aulas práticas, porém poucas são as publicações que avaliam o impacto educacional do uso de recursos educacionais, como simuladores, no ensino de robótica. A partir de uma pesquisa curricular em cursos de robótica foi proposto um *E-Learning* para ser aplicado remotamente em conjunto com um simulador 3D, sendo este aplicado presencialmente, em uma abordagem *Blended Learning*. Os conteúdos teóricos do curso proposto foram implementados no MEH²-RECE, um *Learning Management System* que possibilita a estruturação de conteúdos em Matrizes de Habilidades. Também foram criados roteiros para conduzir o uso do simulador 3D, que por sua vez apresenta tarefas ao estudante. As instruções e dicas para resolução das tarefas foram estruturadas no próprio simulador 3D através de Modos de Treinamento. Foram aplicadas avaliações de conhecimento em 58 estudantes utilizando um *design* de pré-teste e pós-teste. A partir dos dados obtidos, verificou-se: melhora geral de 12% nas médias das avaliações de conhecimento; aumento de confiança em 93% dos participantes ao responderem às questões e um aumento de 26% na quantidade de alunos que obtiveram notas iguais ou superiores a sete. Apesar das diferenças entre os incentivos dados pelos professores e muitos alunos não terem completado o processo, os resultados encontrados indicam um impacto positivo dos recursos computacionais utilizados, contribuindo assim para a modernização dos ambientes tradicionais de ensino.

Palavras-chave: Simuladores Educacionais, *Blended Learning*, Robótica Industrial, Modos de Treinamento.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Jônatas Venancio. **Impact of Computational Resources on the Teaching-Learning Process of Industrial Robotics**. 161 f. M. Eng. Thesis (Master in Electrical Engineering) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Electrical Engineering, Joinville, 2017.

The increasing presence of robots in various segments of the industry demands the training of professionals capable of designing, deploying, operating, and performing maintenance on work cells equipped with robots. Due to the involvement of different areas of knowledge, robotics can be a complex topic, which requires the use of theoretical and practical classes. Infrastructure investments in robotic labs may be prohibitive, reducing the availability of equipment to only one robotic manipulator arm in most educational institutions. Educational robotic simulators are a feasible alternative for practical classes, but there are few publications that evaluate the educational impact of using educational resources, such as simulators, in robotics teaching. From a curricular research in robotics courses, an E-Learning was proposed to be applied remotely alongside a face-to-face application of a 3D simulator, in a Blended Learning approach. The theoretical contents of the proposed course was implemented in MEH²-RECE, a Learning Management System that allows to structure contents in Skills' Matrices. Also, scripts have been created to guide the use of the 3D simulator, which in turn presents tasks to the student. The instructions and tips for solving tasks were structured in the 3D simulator through Training Modes. Knowledge assessments were applied to 58 students using a pre-test and post-test design. From the data gathered, it was verified: 12% improvement in knowledge assessments average scores; 93% increase in confidence and a 26% increase in the number of students who scored at or above seven. The results show that there is a positive impact of the computational resources used, thus contributing to the modernization of the traditional teaching environments.

Keywords: Educational Simulators, Blended Learning, Industrial Robotics, Training Modes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aquisições de robôs industriais (em milhares de unidades) entre 2003 e 2015.	28
Figura 2 – Distribuição no emprego de robôs em diferentes indústrias entre 2013 e 2015.	28
Figura 3 – Unidades de robôs nos maiores mercados mundiais e projeções futuras.	29
Figura 4 – Abordagens de <i>Active Learning</i> e as Teorias Pedagógicas.	40
Figura 5 – Abordagens de <i>Technology Enhanced Learning</i> e as Teorias Pedagógicas.	46
Figura 6 – Matriz de Espaço de Habilidades para um jogo de xadrez.	47
Figura 7 – Matriz de Espaço de Habilidades aplicado ao ensino de robótica.	48
Figura 8 – Possibilidades de estruturação de conteúdo no MEH ² -RECE.	49
Figura 9 – Exemplo de modelagem de um robô no RobotScene.	57
Figura 10 – Módulo de treinamento do VCIMLAB.	58
Figura 11 – Resultados da aplicação do SUMI ao VCIMLAB.	59
Figura 12 – Vista do avatar tentando pegar uma placa da garra robótica.	60
Figura 13 – Fluxo de uma tarefa no simulador baseado em jogo.	62
Figura 14 – Interface gráfica do laboratório virtual.	63
Figura 15 – Desempenho médio no teste final para os três grupos.	63
Figura 16 – Simulação do volume de trabalho de um robô de cinco eixos.	64
Figura 17 – Comparação das notas obtidas na avaliação do sistema nas duas aplicações.	65
Figura 18 – Programação de uma tarefa de <i>pick-and-place</i> no RobUALab.	66
Figura 19 – Visão da interface colaborativa no RobUALab.EJS.	67
Figura 20 – <i>Homepage</i> do AutomaL@bs.	68
Figura 21 – Visão do laboratório de controle remoto de motores.	69
Figura 22 – Proposta de estrutura do curso de robótica.	75
Figura 23 – Representação dos dois primeiros módulos do curso no MEH ² -RECE.	75
Figura 24 – Representação dos três capítulos do primeiro módulo no MEH ² -RECE.	76
Figura 25 – Representação dos dois capítulos do segundo módulo no MEH ² -RECE.	76
Figura 26 – Apresentação de conteúdo no MEH ² -RECE.	76
Figura 27 – Apresentação de avaliação de conhecimento no MEH ² -RECE.	77
Figura 28 – Formulário de cadastro no MEH ² -RECE.	77
Figura 29 – Lista de cursos no MEH ² -RECE.	78
Figura 30 – Tela de Autorização de Matrícula no Curso de Robótica do MEH ² -RECE.	78
Figura 31 – Exemplo de Acompanhamento do Curso de Robótica do MEH ² -RECE.	79
Figura 32 – Arquitetura de controle do V-REP.	80
Figura 33 – IBR140 e sua interface de controle padrão no V-REP.	81
Figura 34 – Interface de Controle do IRB140 adaptada ao V-ROLE.	82
Figura 35 – a) Janela de Instruções, b) Janela de Feedback, c) Janela de Navegação.	83
Figura 36 – Janelas de a) Tarefas, b) Instruções e Dicas e c) Navegação no Modo Guiado.	85
Figura 37 – a) Mensagem de erro e b) Barra de Tarefas no Modo Exploratório.	86
Figura 38 – Identificação do Volume de Trabalho na última tarefa do Modo Exploratório.	86
Figura 39 – Avaliações e aplicações da primeira (MEH ² -RECE) e segunda (V-ROLE) etapa.	91
Figura 40 – Distribuição normal de idade dos participantes.	92
Figura 41 – Desempenho nas avaliações de conhecimento.	94
Figura 42 – Confiança média nas avaliações de conhecimento.	95
Figura 43 – Quantidade de interações durante o Modo Demonstrativo.	99
Figura 44 – Quantidade de interações durante o Modo Guiado.	99
Figura 45 – Percentual de estudantes que realizaram tentativas de validação das tarefas.	101
Figura 46 – Percentual de estudantes que validaram as tarefas na primeira tentativa.	101
Figura 47 – Regressão Linear de N2 em função do desempenho no MEH ² -RECE e de N1.	105
Figura 48 – Regressão Linear de N3 em função do desempenho no V-ROLE e de N2.	106
Figura 49 – Representação do Condicionamento Operacional de Skinner.	132
Figura 50 – Representação do Construtivismo.	134
Figura 51 – Representação da unidade TOTE.	135
Figura 52 – Plano hierárquico da tarefa de martelar um prego.	136
Figura 53 – Representação da Gestalt.	137
Figura 54 – Representação do Construtivismo Social.	138
Figura 55 – Representação do Instrucionismo.	139

Figura 56 – Representação dos tipos de aprendizagem segundo o Humanismo.....	140
Figura 57 – Trabalhos excluídos em função dos critérios de exclusão e etapas de filtragem.....	144
Figura 58 – Trabalhos excluídos em função das etapas de filtragem e MBA.....	144
Figura 59 – Trabalhos excluídos em função dos critérios de exclusão e MBA.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Marcos históricos no desenvolvimento da robótica industrial.	34
Tabela 2 – Classificação de robôs segundo suas gerações.....	34
Tabela 3 – Características presentes em algumas modalidades de Active Learning.	40
Tabela 4 – Recursos educacionais presentes nos simuladores.	70
Tabela 5 – Resultados da Pesquisa em Cursos de Robótica	74
Tabela 6 – Desempenho médio e média das variações	93
Tabela 7 – Variação no desempenho por etapas.	93
Tabela 8 – Quantidade de acertos por questão em cada avaliação (%).....	93
Tabela 9 – Nível de confiança por avaliação.	94
Tabela 10 – Nível de confiança por questão em cada avaliação.	95
Tabela 11 – Variação no nível de confiança por etapas.....	95
Tabela 12 – Desempenho médio nos capítulos do MEH ² -RECE, intervalo de 0 a 10.....	96
Tabela 13 – Distribuição percentual de estudantes com relação ao desempenho nos capítulos.	96
Tabela 14 – Desempenho médio nos roteiros experimentais, com notas de 0 a 10.	97
Tabela 15 – Distribuição percentual de desempenho nos roteiros.	97
Tabela 16 – Tempo e interações em cada Modo de Treinamento na primeira aplicação (P1).....	98
Tabela 17 – Tempo e interações em cada modo de treinamento na segunda aplicação (P2).....	100
Tabela 18 – Distribuição percentual de pontuações das questões de satisfação.	102
Tabela 19 – Pontuação média das questões de satisfação.....	102
Tabela 20 – Dificuldades reportadas com maior frequência.....	103
Tabela 21 – Pontos fortes citados com maior frequência.	103
Tabela 22 – Pontos fracos citados com maior frequência.....	104
Tabela 23 – Pontuação média das questões de satisfação no teste final.	107
Tabela 24 – Trabalhos selecionados pela PBS.....	145
Tabela 25 – Inclusão de trabalhos ad hoc.	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de relatório de uso gerado pelo V-ROLE.....	87
Quadro 2- Códigos correspondentes às opções de valores de Delta.	157
Quadro 3 – Códigos correspondentes aos controles de Cinemática Direta.....	157
Quadro 4 – Códigos correspondentes aos controles de Cinemática Indireta.	157
Quadro 5– Códigos correspondentes de outros controles.	157
Quadro 6 – Códigos correspondentes às Tarefas do Modo Exploratório.	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Avaliação de Conhecimento Teórico e Prático
AL	<i>Active Learning</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BL	<i>Blended Learning</i>
CBL	<i>Case-Based Learning</i>
CPL	<i>Cooperative/Collaborative/Peer Learning</i>
DL	<i>Discovery Learning</i>
EC	<i>Exclusion Criteria</i>
EJS	<i>Easy Java Simulations</i>
GS	Google Scholar
IC	<i>Inclusion Criteria</i>
IL	<i>Inquiry Learning</i>
LMS	<i>Learning Management Systems</i>
MBA	Mecanismo de Busca de Artigos
MEH	Matrizes de Espaço de Habilidades
PBL	<i>Problem-Based Learning</i>
PBS	Pesquisa Bibliográfica Sistemática
ROLE	<i>RObotic Learning Environment</i>
SBL	<i>Simulation Based Learning</i>
SDL	<i>Self-Directed Learning</i>
SHORT	<i>Skill Space and Hierarchical Online Robot Tasks</i>
SL	Springer Link
SUMI	<i>Software Usability Measurement Inventory</i>
TEL	<i>Technology Enhanced Learning</i>
TORRA	<i>Test of Robotics Related Attitudes</i>
TOSRA	<i>Test of Scientific-Related Attitudes</i>
V-REP	<i>Virtual Robot Experimentation Platform</i>
V-ROLE	<i>Virtual RObotic Learning Environment</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE QUADROS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
SUMÁRIO	23
1 INTRODUÇÃO	27
1.1 PROBLEMA	29
1.2 OBJETIVOS	30
1.2.1 Objetivo Geral	30
1.2.2 Objetivo Específico	30
1.3 ESCOPO	31
1.4 METODOLOGIA	31
1.5 ESTRUTURA	32
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	33
2.1 ROBÓTICA	33
2.1.1 Origem e Desenvolvimento	33
2.1.2 A Robótica Industrial	35
2.2 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM	35
2.2.1 Simuladores	35
2.2.2 Learning Management Systems (LMS)	37
2.3 ABORDAGENS DIDÁTICAS	37
2.3.1 Active Learning (AL)	37
2.3.2 Technology Enhanced Learning (TEL)	41
2.4 MATRIZES DE ESPAÇO DE HABILIDADES (MEH)	46
2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	50
2.5.1 General Self-Efficacy Scale (GSE)	50
2.5.2 Motivated Strategies for Learning Questionnaire	51
2.5.3 Academic Self-Regulation Questionnaire	51
2.5.4 Learning Climate Questionnaire	52

2.5.5 Intrinsic Motivation Inventory	52
2.5.6 Test of Robotics Related Attitudes (TORRA).....	53
2.5.7 Constructivist SBL Environment Survey	53
2.5.8 Software Usability Measurement Inventory (SUMI)	54
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	54
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	56
3.1 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS.....	56
3.1.1 Desenvolvimento de um Simulador como proposta de Abordagem Didática.....	56
3.1.2 Desempenho Acadêmico e Simuladores Robóticos.....	57
3.1.3 Um Laboratório Virtual de Manufatura.....	58
3.1.4 Ambiente de Treinamento Cooperativo com Robôs	59
3.1.5 Estudo sobre um Simulador Baseado em Jogo	61
3.1.6 Um Laboratório Remoto e Virtual.....	62
3.1.7 Um Simulador de Braço Robótico Tridimensional	64
3.1.8 Um Laboratório Virtual, Remoto e com Realidade Aumentada	66
3.1.9 Uma plataforma integrada de simulação	68
3.2 DISCUSSÃO	70
3.2.1 Dos Recursos Educacionais.....	70
3.2.2 Da Avaliação do Impacto Educacional.....	71
3.3 CONCLUSÕES DA REVISÃO DA LITERATURA.....	72
4 CURSO DE ROBÓTICA COM USO DE SIMULADOR	73
4.1 A BREVE HISTÓRIA DO SHORT.....	73
4.2 PROPOSTA DE CURSO	73
4.2.1 Estrutura do Curso.....	74
4.3 MEH²-RECE.....	75
4.3.1 Estruturação do Curso no MEH²-RECE	75
4.3.2 Criação de Contas, Participação em Curso e Gestão de Turmas	77
4.4 V-REP.....	79
4.4.1 V-ROLE.....	81
4.4.2 Roteiro experimental.....	83
4.4.3 Modos de Treinamento no V-ROLE.....	84
4.4.4 Relatório de Uso.....	86
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	88

5	RESULTADOS.....	89
5.1	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	89
5.2	ARRANJO EXPERIMENTAL.....	90
5.3	PERFIL DOS PARTICIPANTES E AMOSTRAGEM.....	92
5.4	DESEMPENHO NAS AVALIAÇÕES DE CONHECIMENTO	92
5.5	ANÁLISE DA CONFIANÇA NAS RESPOSTAS	94
5.6	DESEMPENHO NO CURSO DO MEH ² -RECE	96
5.7	DESEMPENHO NOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS	97
5.8	DADOS DE USO DO V-ROLE	97
5.8.1	Primeira aplicação (Roteiro Experimental Simplificado).....	97
5.8.2	Segunda aplicação (Roteiro Experimental Completo).....	100
5.9	RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO	102
5.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA	104
5.11	TESTE FINAL DO V-ROLE.....	106
6	DISCUSSÃO.....	108
6.1	REVISÃO DA LITERATURA.....	108
6.2	ASPECTOS LOGÍSTICOS	109
6.3	AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	109
6.3.1	Confiança nas Respostas	111
6.4	APLICAÇÃO DO MEH ² -RECE E DOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS.....	111
6.5	EXECUÇÃO DO V-ROLE.....	112
6.6	QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO	113
6.7	ANÁLISE DO TESTE FINAL	114
6.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	115
7	CONCLUSÃO	117
7.1	CONTRIBUIÇÕES	120
7.2	TRABALHOS FUTUROS	121
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICE A - TEORIAS PEDAGÓGICAS	131
	APÊNDICE B – PROTOCOLO DE FILTRAGEM DA PBS E AD HOC.....	141
	APÊNDICE C – AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO TEÓRICO-PRÁTICO	146
	APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO, ROTEIROS E GABARITO	148
	APÊNDICE E – TAREFAS DO MODO EXPLORATÓRIO	154

APÊNDICE F – CÓDIGOS DO RELATÓRIO DE USO DO V-ROLE.....	157
APÊNDICE G – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO	159

1 INTRODUÇÃO

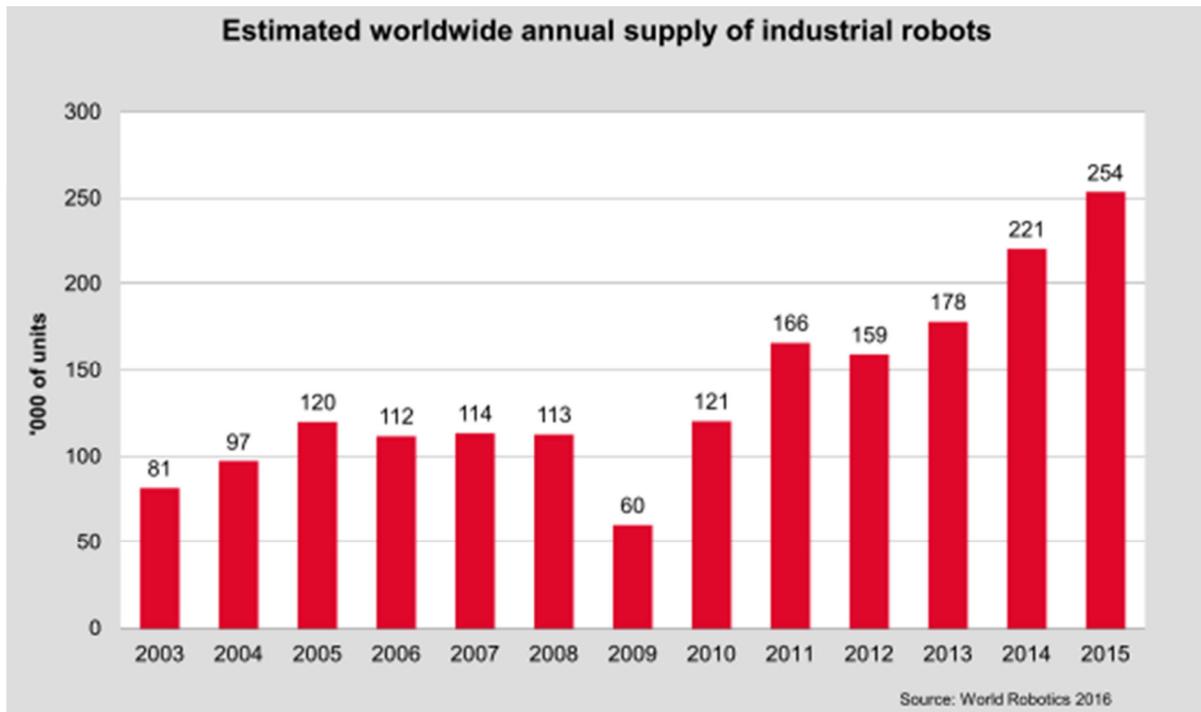
Simuladores se consolidaram pelo uso como uma ferramenta popular de treinamento, ensino e de pesquisa. O uso de simuladores no ensino tecnológico pode ser justificado pela necessidade de aulas práticas que se apresenta nesta área do conhecimento. As práticas realizadas em laboratório auxiliam na compreensão e fixação dos conteúdos ministrados durante as aulas teóricas. Todavia o uso de laboratórios físicos possui limitações de equipamentos disponíveis diminuindo a produtividade e dinamismo no processo ensino-aprendizagem. Outra vantagem no emprego de simuladores é a possibilidade de vários alunos realizem uma dada tarefa ao mesmo tempo. Quando os simuladores são acessíveis a partir da internet torna-se possível a flexibilização das práticas de acordo com a disponibilidade do aluno. Portanto, simuladores podem ser importantes aliados no ensino de robótica.

A robótica tem despertado o interesse no meio acadêmico nos últimos 35 anos (SICILIANO et. al., 2009, p. xi). Há uma variedade publicações em termos de livros didáticos, monografias e revistas científicas especialmente dedicados à robótica. Parte deste interesse pode ser atribuído à natureza interdisciplinar da robótica, que possui raízes em diferentes áreas, tais como cibernética, mecânica, controle, computação, bioengenharia e eletrônica (SICILIANO et. al., 2009, p. xi).

A robótica possui um importante papel no desenvolvimento industrial. A aquisição de robôs industriais, em 2015, pelo terceiro ano consecutivo quebrou recorde de vendas, ultrapassando pela primeira vez a marca de 240 mil unidades vendidas em todo mundo de acordo com a *International Federation of Robotics* (IFR). A Figura 1 mostra os dados relativos às aquisições no período de 2003 até 2015.

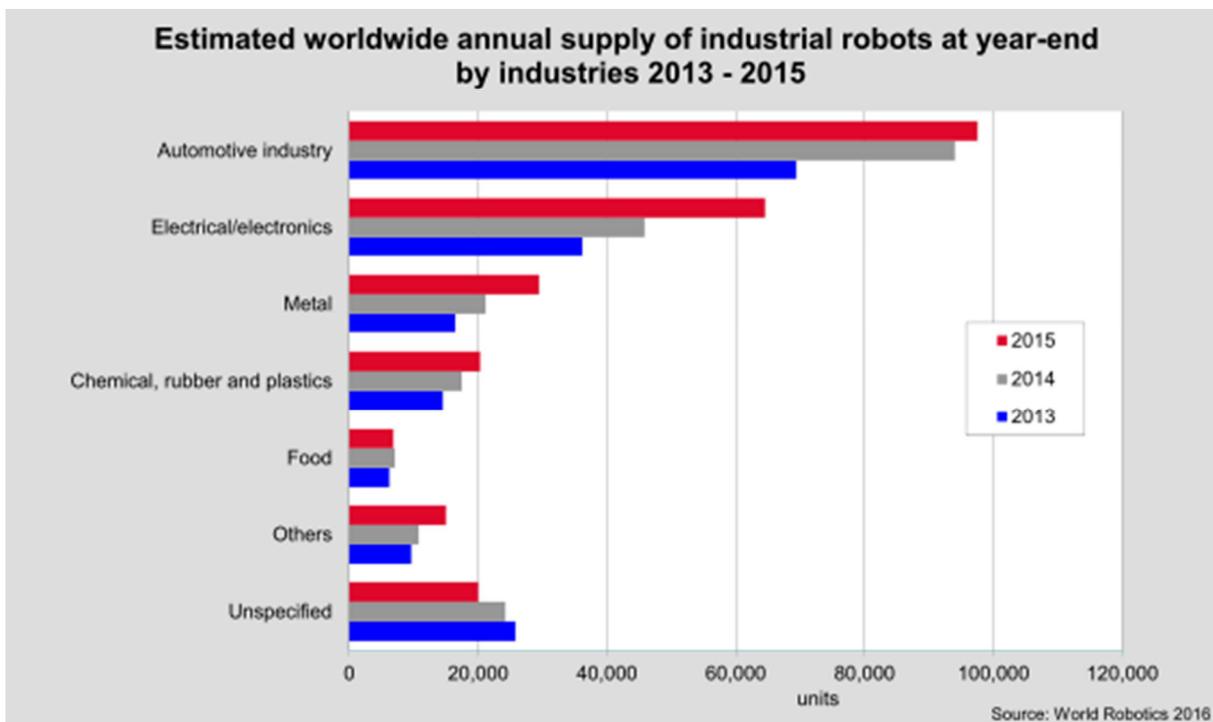
A indústria automotiva ainda é a indústria que mais emprega robôs, no entanto a indústria eletrônica tem mantido relevante crescimento ao longo dos anos. Além disto, novos mercados estão surgindo, como o emprego de robôs na produção de polímeros, metais e alimentos. A Figura 2 mostra a distribuição de robôs em diferentes indústrias entre os anos 2011 e 2014. Na Figura 3 pode-se observar as aquisições de robôs entre os anos 2010 e 2014 pelos três maiores mercados mundiais. Enquanto os demais países tiveram crescimento entre 10% e 17% na quantidade de unidades adquiridas em relação ao ano 2013, a China apresentou crescimento de 56% (IFR, 2016).

Figura 1 – Aquisições de robôs industriais (em milhares de unidades) entre 2003 e 2015.



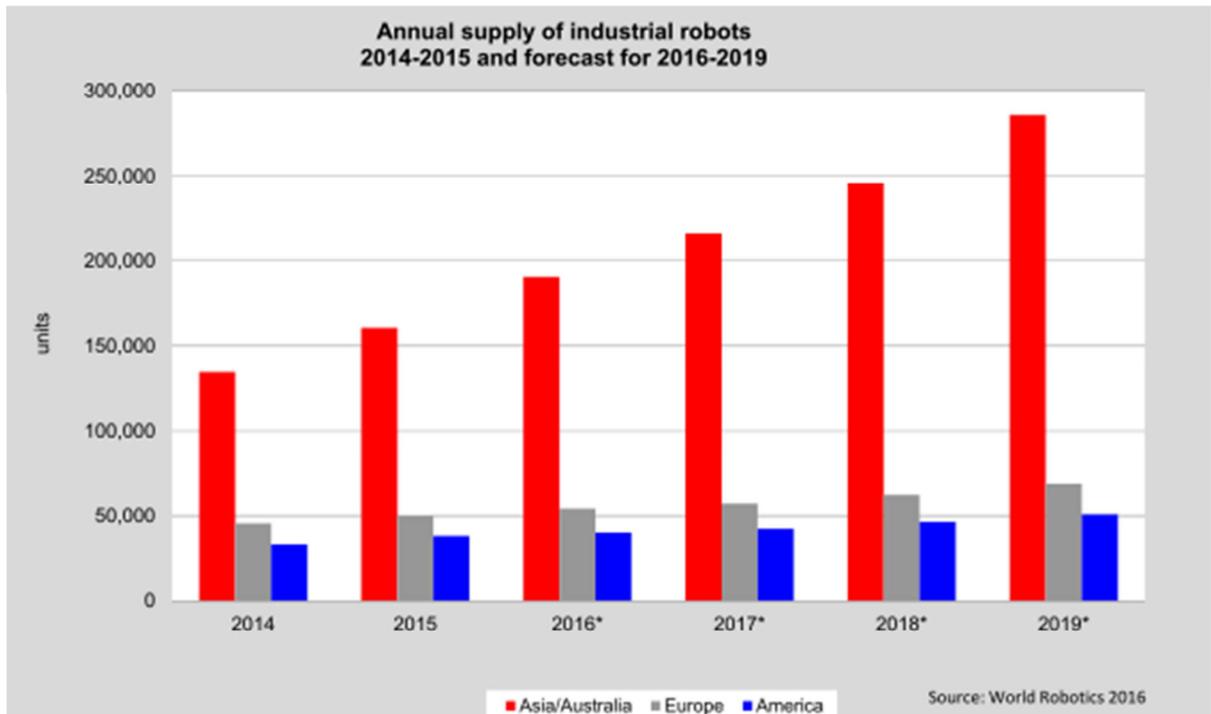
Fonte: IFR, 2016.

Figura 2 – Distribuição no emprego de robôs em diferentes indústrias entre 2013 e 2015.



Fonte: IFR, 2016.

Figura 3 – Unidades de robôs nos maiores mercados mundiais e projeções futuras.



Fonte: IFR, 2016.

1.1 PROBLEMA

O ensino de robótica industrial demanda o uso de laboratórios para realização de aulas práticas, através das quais os aprendizes podem adquirir uma melhor compreensão dos conceitos teóricos relacionados à operação de um robô industrial. Devido aos custos elevados para instalação de laboratórios de robótica torna-se inviável a disponibilização de um robô para cada aprendiz, usualmente as instituições de ensino dispõe de apenas um robô, sendo necessário o revezamento de grupos de alunos. Simuladores robóticos educacionais são uma alternativa aos laboratórios de robótica tradicionais, por necessitarem de menores investimentos em infraestrutura e por permitir a todos os alunos interagir diretamente com o robô simulado, o que nem sempre é possível em laboratórios reais.

Para desenvolver um ambiente virtual de aprendizagem de robótica é necessário considerar questões de estruturação, ou seja, escolher uma forma de representação do conteúdo, e definir quais conteúdos serão utilizados. Embora muitas instituições educacionais ofereçam cursos de robótica industrial como parte de cursos técnicos e cursos superiores, não existe um padrão definitivo para a ementa de um curso de robótica.

Outra questão é a avaliação do impacto do uso de simuladores no ensino. Em meio à crescente quantidade de aplicações de simuladores na educação e treinamentos surge a

necessidade da validação destas ferramentas. Para validar o uso das ferramentas desenvolvidas para o ensino de robótica é preciso realizar um trabalho de aplicação da metodologia de ensino e dos sistemas virtuais e reais em diferentes grupos de alunos e realizar pesquisas de desempenho, de aceitação e de satisfação dos alunos ao utilizarem os sistemas educacionais desenvolvidos.

Alguns estudos sobre o impacto dos simuladores no processo ensino-aprendizagem obtiveram bons resultados. Koh et. al. (2010) concluíram que as necessidades psicológicas básicas são atendidas através do uso de simuladores potencializando a motivação intrínseca e favorecendo a aprendizagem em geral. Outra contribuição para a área foi o estudo desenvolvido por Corter et. al. (2011) que comparou os resultados de aprendizagem obtidos através de laboratórios remotos, simulados e presenciais. Corter et. al. (2011) demonstraram que laboratórios simulados conseguem resultados de aprendizagem muito semelhantes àqueles obtidos através de laboratórios remotos ou de laboratórios presenciais. Resultados semelhantes foram obtidos por Tzafestas et. al. (2006) ao comparar os resultados de simuladores com laboratórios remotos e reais, apontando indícios quanto à validade do uso de simuladores no ensino de robótica.

Apesar da abundância de publicações que apresentam propostas de simuladores robóticos educacionais identificou-se a carência de publicações que fundamentassem o uso de simuladores robóticos educacionais em alguma abordagem didática ou que apresentassem alguma metodologia para investigar o impacto destes simuladores no processo ensino-aprendizagem (TEIXEIRA & HOUNSELL, 2015).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver recursos computacionais, notadamente um *E-Learning* e um simulador 3D, para o processo ensino-aprendizagem de conceitos básicos de robótica industrial fixa e avaliar o impacto do seu uso.

1.2.2 Objetivo Específico

- a) Investigar metodologias de avaliação do impacto educacional do uso de simuladores no ensino de robótica;
- b) Investigar ementas de cursos de robótica para estruturação do conteúdo educacional de um curso introdutório;

- c) Desenvolver um simulador para o ensino de robótica a partir de uma investigação das principais características presentes nestes sistemas;
- d) Avaliar o impacto educacional de recursos computacionais (*E-Learning* + Simulador 3D) no contexto de um curso de robótica básica.

1.3 ESCOPO

O ambiente de simulação desenvolvido para aplicação desta pesquisa, denominado *Virtual Robotic Learning Environment* (V-ROLE), tem o intuito de auxiliar no ensino de conceitos básicos de robótica industrial. Apesar das vastas possibilidades de aplicação de robótica à indústria, este trabalho se limita a aplicações de robótica industrial fixa. O V-ROLE está disponível somente em versão *Stand-Alone*, sem suporte para a colaboração *online* entre os participantes. O V-ROLE não possui características próprias de jogos, tais como competição ou missões.

Foi desenvolvido um curso introdutório de robótica industrial que pudesse ser utilizado no contexto de cursos técnicos, graduações ou pós-graduações. Para tanto não houve aprofundamento em cálculos matemáticos relacionados à modelagem cinemática e dinâmica de robôs. Este trabalho não propõe uma metodologia de desenvolvimento de simuladores robóticos educacionais, o foco deste trabalho é a avaliação do impacto de simuladores no ensino de robótica.

1.4 METODOLOGIA

Foi realizada uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática (PBS) (CONFORTO et. al., 2011) para identificar quais recursos educacionais presentes nos simuladores robóticos educacionais e quais métodos foram utilizados para avaliar o impacto do uso destes simuladores no processo ensino-aprendizagem.

Em seguida foi realizado um estudo aprofundado nas abordagens de ensino e nos métodos de avaliação utilizados na aplicação de simuladores que auxiliou na identificação dos requisitos para um simulador educacional de robótica. A partir dos resultados das revisões bibliográficas foi desenvolvido um ambiente de simulação denominado V-ROLE e um questionário (ver Apêndice C) para avaliar conhecimentos teóricos e práticos relacionados à robótica.

Foi feita uma pesquisa em instituições de ensino que ofereciam cursos de robótica industrial no contexto do ensino tecnológico para definir a estrutura de um curso introdutório de robótica industrial para ser utilizado no MEH²-RECE, um *Learning Management System*

(LMS), que possibilita a representação de conteúdo em Matrizes de Espaço de Habilidades (MEH) (HOUNSELL et. al., 2005).

Para avaliar os impactos do *E-Learning* e do simulador, principalmente quanto à aquisição de conhecimento, foi realizado um teste piloto para verificar o funcionamento do simulador e para dimensionar a quantidade de horas que seriam necessárias a cada etapa do Design de Pesquisa e, por fim, foram aplicados questionários antes (pré-teste) e depois (teste) da apresentação do conteúdo teórico, e depois do uso do simulador (pós-teste) em várias turmas de diversos cursos.

1.5 ESTRUTURA

A apresentação desta pesquisa foi distribuída em sete capítulos: no primeiro capítulo é feita a introdução da pesquisa, seu contexto e escopo. No segundo capítulo são apresentados conceitos fundamentais de robótica, simuladores, LMS, abordagens didáticas, MEH, e métodos de avaliação do impacto de simuladores no ensino de robótica. O terceiro capítulo apresenta os resultados de uma PBS em publicações que avaliassem os impactos do uso de simuladores educacionais no ensino de robótica e algumas publicações *ad hoc* oriundas de uma revisão bibliográfica. No quarto capítulo são apresentados uma proposta de curso de robótica baseado em uma pesquisa curricular em instituições de ensino, em seguida é apresentada a estruturação do curso no MEH²-RECE e seu funcionamento, os Modos de Treinamento e as tarefas do V-ROLE, os roteiros experimentais e o relatório de uso. No quinto capítulo são apresentados os resultados das aplicações dos recursos computacionais em turmas do ensino técnico, graduação e pós-graduação. No sexto capítulo são discutidos os resultados obtidos das aplicações do ambiente de aprendizagem. No sétimo capítulo são feitas considerações finais da pesquisa, seguido pelas referências e apêndices.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 ROBÓTICA

2.1.1 Origem e Desenvolvimento

O termo Robô foi utilizado pela primeira vez em uma peça de teatro escrita por Karel Capek (1890-1938) chamada Rossum's Universal Robot. A peça descreve máquinas andróides criadas a partir de uma "fórmula" obtida por um brilhante cientista chamado Rossum. Estes robôs serviam a seus donos humanos até que, ao se rebelarem, destruíram a toda humanidade deixando apenas seu criador na esperança frustrada de que este fosse capaz de ensiná-los a se reproduzirem. O termo robô foi utilizado em obras posteriores do gênero de ficção científica, mas sem dúvida a obra do escritor norte americano de origem russa Isaac Asimov (1920-1992) foi a maior responsável pela difusão do termo robô (BARRIENTOS et. al.,1997, p. 3).

Os antecessores diretos dos robôs foram os tele manipuladores. Em 1948 foi desenvolvido o primeiro tele manipulador por R. C. Goertz, com o objetivo de manipular com segurança elementos radioativos. Em sua primeira versão o manipulador mestre era operado em uma área segura e ligado mecanicamente a um manipulador escravo na área de risco permitindo uma reprodução fiel dos movimentos e transmitia ao operador a sensação das forças exercidas pelo manipulador escravo. Em 1954, Goertz utilizou a tecnologia eletrônica e dos servos motores substituindo a transmissão mecânica por outra elétrica construindo o primeiro manipulador com servo controle bilateral. Mesmo com todos avanços tecnológicos nos tele manipuladores somente a substituição dos operadores humanos através do controle automático pôde concretizar o conceito de robô (BARRIENTOS et. al.,1997).

Em março de 1954 foi solicitada a primeira patente de um dispositivo robótico pelo inventor britânico C. W. Kenward, porém foi George C. Devol engenheiro norte americano, inventor e autor de várias patentes quem estabeleceu as bases para a robótica industrial moderna. Em 1968 Engelberger visitou o Japão e mais tarde firmou parcerias com a Kawasaki para construção de robôs Unimate. Graças a Nissan, que fundou a primeira associação de robótica do mundo, a *Japanese Industrial Robot Association* (JIRA) em 1972, o Japão suplantou rapidamente o desenvolvimento robótico americano. Em 1984 foi fundada a *Robotic Industries Association* (RIA) nos Estados Unidos, a Europa foi mais tardia, em 1973 a sueca *Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget* construiu o primeiro robô com acionamento totalmente elétrico, o robô IRb6 seguido dez anos mais tarde do IRB60. Em 1980 foi fundada

a *International Federation of Robotics* (IFR) com sede em Estocolmo, Suécia. A Tabela 1 resume alguns marcos históricos no desenvolvimento dos robôs.

Tabela 1 – Marcos históricos no desenvolvimento da robótica industrial.

Ano	Descrição
1801	J. Jacquard inventou um tear programável
1959	Primeiro robô comercial introduzido pela Planet Corporation. Era controlado por fins-de-curso e excêntricos
1960	Primeiro robô “Unimate”. Princípios de controle numérico e atuadores hidráulicos. No ano seguinte foi instalado na Ford.
1968	Um robô móvel desenvolvido na Stanford Research Institute: “Shakey”. Câmera de vídeo e sensores de contato.
1971	O braço de Stanford desenvolvido pela Universidade de Stanford com atuação eléctrica.
1973	Primeira linguagem de programação de robôs: WAVE seguida em 1974 pela linguagem AL. As duas deram lugar mais tarde ao aparecimento da VAL, linguagem comercial da Unimation
1978	PUMA introduzido pela Unimation.
1979	SCARA desenvolvido na Univerisdade de Yamanashi com introdução comercial em 1981.
1981	Robô com atuação direta desenvolvido na CMU.
1983	Projeto para uma linha flexível de montagem automatizada com o uso de robôs.
1997	A Honda anuncia o primeiro robô humanoide que sobe escadas.

Fonte: (BARRIENTOS, 2007)

Desde os primeiros manipuladores industriais os avanços tecnológicos possibilitaram o surgimento de diferentes gerações de robôs. A Tabela 2 mostra as diferentes gerações e suas principais características. Os robôs de última geração, além de serem programados em “altíssimo” nível são capazes de aprender (SICILIANO et. al., 2009) (BARRIENTOS et. al.,1997).

Tabela 2 – Classificação de robôs segundo suas gerações.

Geração	Características	Descrição
1 ^a	Robôs executores (Playback)	Repetem uma sequência de movimentos predeterminados
2 ^a	Robôs controlados por sensores	Tomam decisões com base nos sensores da malha de controle
3 ^a	Robôs controlados por visão	Inclusão de sensores de visão à malha de controle
4 ^a	Robôs com controle adaptativo	Capacidade de auto reprogramação com base nos sensores
5 ^a	Robôs Inteligentes	Uso de inteligência artificial no controle e programação

Fonte: SANTOS, M. F. (2003), *Robótica Industrial*, pg. 3-4, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.

2.1.2 A Robótica Industrial

Os primeiros robôs industriais foram desenvolvidos nos anos 60, a partir da confluência de duas tecnologias, a saber, das máquinas de manufatura com precisão através de controle numérico e dos tele manipuladores de Goertz. As principais vantagens trazidas pelo seu uso eram a versatilidade, adaptabilidade, precisão e repetibilidade. Nas décadas seguintes os robôs se tornaram populares e essenciais componentes na automação industrial. Os principais motivos para a crescente popularidade dos robôs em aplicações cada vez mais diversificadas da produção industrial são a redução dos custos de produção, aumento da produtividade, melhoria na qualidade e padronização dos produtos e finalmente pela possibilidade de eliminar os riscos à saúde humana pela exposição à ambientes de trabalho nocivos (SICILIANO et. al., 2009).

2.2 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM

2.2.1 Simuladores

As definições possíveis de simuladores dependem da área de conhecimento na qual são aplicados. Podem ser citadas algumas definições como a de Morris e Thomas (1976 apud FEINSTEIN et. al., 2002) que define simulador como “um meio através do qual o usuário experimenta a simulação” e define simulação como: a contínua representação de determinadas características de uma situação real para alcançar objetivos específicos de treinamento (ibdem, 1976). A partir desta definição entende-se que somente seriam considerados simuladores ambientes desenvolvidos com objetivos de treinamento.

Bratley et. al. (1987) descreve a simulação como: “a execução do modelo de um sistema a partir de entradas adequadas e a observação das saídas correspondentes sendo largamente aplicado em engenharia, negócio e em ciências físicas e sociais”. Esta última definição contrasta da anterior no sentido de considerar aplicações mais amplas da simulação, porém ambas relacionam a representação de características de situações reais através de modelos. Outra definição feita por Hays e Singer (1989) considera simulador como: um complexo equipamento que proporciona uma simulação altamente realista de situações operacionais proporcionando meios adequados para prática e manutenção de habilidades previamente adquiridas.

Hays e Singer (1989) também limitam o uso de simuladores a aplicações de treinamento, não levando em conta a possibilidade de aplicações de simuladores em entretenimento por exemplo. Shannon e Robert (1998) descrevem simulação como: o

processo de desenvolver um modelo de um sistema real e conduzir experimentos através desse modelo com o objetivo de entender o comportamento do sistema ou de avaliar diferentes estratégias para a operação do sistema. Levando em consideração a formação acadêmica do autor na área de engenharia pode-se observar que esta definição se limita as aplicações técnico-científicas de simuladores.

Banks (1998) define simulação como: a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real e acrescenta: A simulação envolve a criação de um histórico artificial do sistema e a observação deste para inferir as características de operação do sistema representado, que a exemplo da definição de Shannon e Robert (1998) ilustra as aplicações técnico-científicas da simulação. As cinco definições anteriores se limitam a aplicações de treinamento ou de pesquisa e desenvolvimento correspondendo às áreas de conhecimento dos respectivos autores. Uma definição um pouco diferente foi apresentada por Lee (1999), de acordo com este autor simulador é: um programa de computador no qual são criadas e relacionadas estruturas de dados temporárias através de relacionamentos de causa e efeito. Feinstein et.al. (2002) afirma que simulações computadorizadas tentam replicar as características de um sistema através de equações matemáticas ou representações simples de objetos, as interações entre entidades do sistema são descritas através de símbolos, palavras e equações matemáticas.

Estas duas últimas definições consideram aplicações computadorizadas de simuladores sem limitar-se ao objetivo final de tais simulações, sendo, portanto, mais abrangentes que as definições apresentadas anteriormente. Axelrod (2003) enuncia diferentes propósitos nos quais a simulação pode ser aplicada, a saber, predição, performance, treinamento, entretenimento, educação, prova e pesquisas. A partir das diferentes definições dadas por estes autores pode-se entender que simuladores em geral envolvem modelagem de sistemas reais ou conceituais e a execução de simulações a partir de modelos para representar características do sistema em questão. As possíveis aplicações de simuladores vão desde treinamento, passando por desenvolvimento e pesquisa até entretenimento.

O termo Realidade Virtual é muitas vezes empregado como sinônimo de Simuladores, conforme Steuer (1993) Realidade Virtual pode ser definida como um ambiente real ou simulado no qual o usuário tem a sensação de estar presente em outro ambiente através de tecnologias de comunicação. Em uma definição mais atual, Rodrigues e Porto (2013) referenciam Realidade Virtual com sendo uma experiência imersiva e interativa, que se baseia em imagens gráficas 3D geradas por computador em tempo real, em outras palavras, é uma simulação de um mundo real, ou apenas imaginário gerada por computador.

2.2.2 *Learning Management Systems (LMS)*

Alguns ambientes de ensino possuem uma plataforma de *E-Learning* com a possibilidade de acompanhar o desempenho dos alunos durante o curso (CAVUS & ALHIH, 2014). Um LMS é definido como um sistema de oferta e gestão de cursos ou treinamentos através da Internet, com registros de faltas, tempo de trabalho e desempenho (FRAILICH et. al., 2011) (MAHNEGAR, 2012). Segundo Sallum (2008) um LMS é um pacote de soluções que permite a administração de conteúdo e pesquisa a todos, podendo conter recursos de avaliação de competências, planejamento, certificados e videoconferência.

Outra definição enuncia LMS como uma infraestrutura de oferta e gestão de conteúdo instrucional, identifica e avalia a aprendizagem individual e organizacional, registra o progresso com relação aos objetivos do treinamento além de oferecer recursos multimídia e de comunicação entre os pares (PANDEY & PANDEY, 2009). O LMS é um componente essencial na viabilização de uma atividade *E-Learning* devido à sua adequação como ferramenta de treinamento e avaliação de processos de *E-Learning* (BROWN & JOHNSON, 2010 apud PARDAMEAN et. al., 2013). Segundo Lonn (2009) um LMS possui uma variedade de ferramentas web para compartilhar materiais, enviar anúncios e interagir com os pares, tudo em um só lugar. Das definições anteriores pode-se concluir que minimamente um LMS possui recursos de publicação de cursos online e seus materiais, registro de faltas e acompanhamento do desempenho dos alunos. Outros recursos podem variar de acordo com a implementação.

2.3 ABORDAGENS DIDÁTICAS

O Comportamentalismo foi a base teórica para a abordagem didática clássica, ignoram-se os processos internos ao aluno (ALZAGHOUL, 2012). Aplicam-se os estímulos, leituras e aulas expositivas, as notas servem como reforços de condicionamento clássico, até que o aluno demonstre, a partir de seu comportamento, saber o conteúdo que foi passado. Com o surgimento de novas Teorias Pedagógicas novas Abordagens Didáticas foram propostas.

2.3.1 *Active Learning (AL)*

A característica principal desta abordagem é fazer com que o aluno participe ativamente do processo de ensino-aprendizagem (PRINCE, 2004). Existem diferentes modalidades de Active Learning, a saber:

- *Cooperative/Collaborative/Peer Learning* (CPL);
- *Problem-Based Learning* (PBL);
- *Case-Based Learning* (CBL);
- *Discovery Learning* (DL);
- *Self-Directed Learning* (SDL)

Apesar de variarem metodologicamente todas estas abordagens compartilham da característica de engajamento do aluno, foram influenciadas pelo Humanismo, Construtivismo, Construtivismo Social e pelo Instrucionismo (FAUST, 1998) (MICHAEL, 2006).

2.3.1.1 *Cooperative/Collaborative/Peer Learning* (CPL)

Collaborative Learning é uma abordagem instrucional na qual pequenos grupos de alunos trabalham em um objetivo comum, é baseado na premissa de que aprender em grupo, a partir de interações sociais é melhor que aprender em uma atividade solitária (MICHAEL, 2006). *Cooperative Learning* é uma abordagem instrucional na qual grupos de alunos trabalham em um objetivo comum, durante o trabalho os alunos serão avaliados individualmente, é baseado na premissa que um ambiente de cooperação promove mais aprendizado que um ambiente de competição. *Peer Learning* é uma abordagem na qual um aluno com maior experiência e conhecimento em um determinado assunto auxilia um aluno novato durante a aprendizagem (MICHAEL, 2006). Se diferenciando das anteriores que pressupõem que os alunos estão todos no mesmo nível inicial de conhecimento. Como pode ser observado as abordagens são muito semelhantes, as diferenças encontram-se em seu desenvolvimento histórico, raízes filosóficas e a forma de organização dos alunos (PRINCE, 2004)(PANITZ, 1999)(DAMON & PHELPS, 1989).

2.3.1.2 *Problem-Based Learning* (PBL)

É um método instrucional onde problemas relevantes são introduzidos no início do ciclo de instrução e usados para fornecer o contexto e motivação para a aprendizagem que se segue (CARRIGER, 2015). É sempre ativo e geralmente (mas não necessariamente) colaborativa ou cooperativa usando as definições anteriores. PBL tipicamente envolve quantidades significativas de *Self-Directed Learning* (SDL) por parte dos alunos (PRINCE, 2004). PBL é focada na aprendizagem experimental organizada em torno da investigação, explicação, e resolução de problemas significativos. O professor age como um facilitador para

orientar os alunos durante a aprendizagem (HMELO-SILVER, 2004). Apesar da origem construtivista e das influências do Instrucionismo na PBL é fácil notar a influência do Humanismo de Rogers na definição anterior (ROGERS & FREIBERG, 1969).

2.3.1.3 *Self-Directed Learning (SDL)* e *Discovery Learning (DL)*

A liberdade de decidir o que, como e quando estudar é uma característica chave da SDL. Por atribuir ao aprendiz o controle sobre o processo ensino-aprendizagem é uma abordagem comumente utilizada no ensino de adultos. Muitas pesquisas sobre a SDL se limitaram aos aspectos sociopedagógicos deixando de lado os aspectos psicológicos e cognitivos fazendo com que a SDL pouco se diferenciasse de outras abordagens tradicionais.

Foi a SDL proposta por Rogers (1969) que deu o maior passo. Sua ênfase na liberdade cognitiva delega ao sujeito a responsabilidade sobre os aspectos afetivos e cognitivos da aprendizagem, cujo objetivo último é aprender a aprender. A SDL envolve aspectos de autogestão, autocontrole e motivação, que apesar de serem indissociáveis representam diferentes características do processo. Enquanto a autogestão representa o meio social e as atividades exercidas pelo sujeito durante o processo, o autocontrole e a motivação representam aspectos cognitivos e afetivos. Desta forma a SDL é coerente com o construtivismo social, na qual o sujeito interage com o mundo que o cerca e não visto isoladamente. A SDL é comumente combinada à outras abordagens pedagógicas como a *Inquiry Learning (IL)*, a PBL e diferentes modalidades de *Technology Enhanced Learning (GARRISON, 1997)*.

A DL por sua vez é a prática da SDL através de um ambiente que possibilite ao sujeito experimentar livremente e, através da prática, construir o conhecimento. Devido à sua natureza pragmática, a DL encontra suas raízes na SDL, Construtivismo e no Instrucionismo, este último mais especificamente nas características de *Design Instrucional* que devem ser levadas em consideração na implementação da DL (REID,2003)(JONG et. al., 2007).

2.3.1.4 *Comparação entre diferentes modalidades de Active Learning (AL)*

As modalidades de *Active Learning* possuem características comuns que muitas vezes dificultam sua definição, a Tabela 3 mostra uma comparação entre as características que podem aparecer em algumas destas modalidades e aquelas que devem estar presentes por definição.

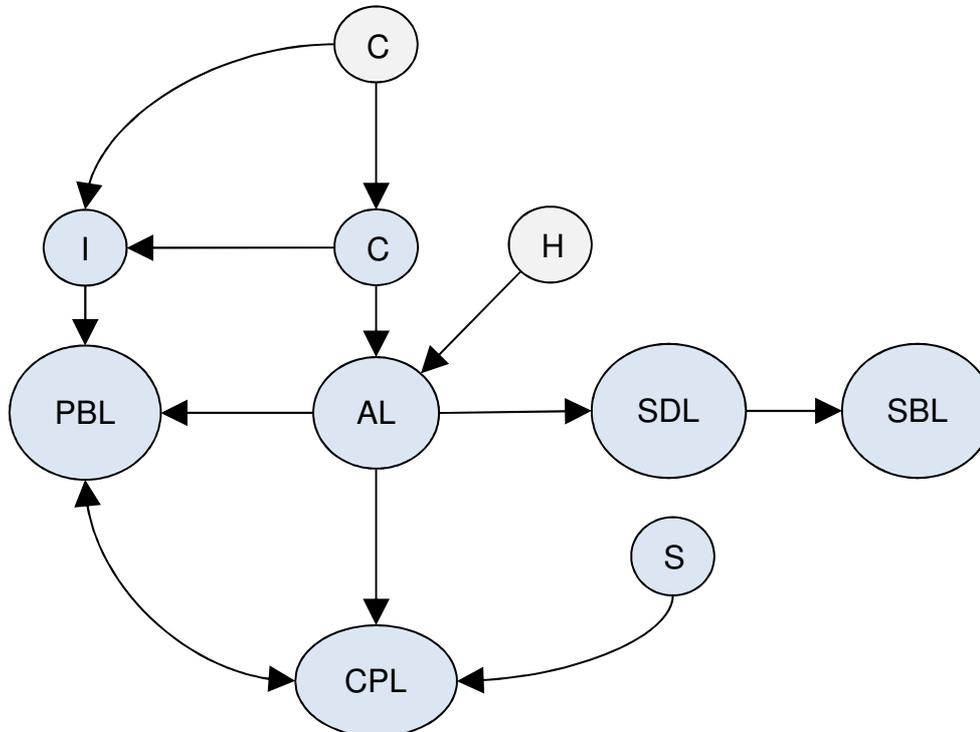
Tabela 3 – Características presentes em algumas modalidades de *Active Learning*.

Características	IL	PBL	CBL	DL
Questões ou problemas dão o contexto para aprendizagem	1	2	2	2
Problemas reais complexos dão o contexto da aprendizagem	4	1	2	4
Projetos de negócios dão o contexto para a aprendizagem	4	4	3	4
Estudos de caso dão o contexto para aprendizagem	4	4	1	4
Alunos descobrem o conteúdo do curso por si mesmos	2	2	3	1
<i>E-Learning</i>	4	4	4	4
<i>Self-Directed Learning</i>	4	3	3	2
<i>Cooperative/Collaborative/Peer Learning</i>	4	3	4	4

1 – por definição, 2 – sempre, 3 – usualmente, 4 - possivelmente

Fonte: Adaptado de (PRINCE, 2006)

A Figura 4 ilustra a relação entre as abordagens de *Active Learning* e as Teorias Pedagógicas (Apêndice A).

Figura 4 – Abordagens de *Active Learning* e as Teorias Pedagógicas.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Na Figura 4 o círculo cinza com a letra “C” representa o Cognitivismo de onde derivam, o Construtivismo, representado por um círculo azul com a letra “C”, e o Instrucionismo, representado pela letra “I”. Estes influenciaram a *Active Learning* e a PBL

respectivamente. A influência do Humanismo nas abordagens de *Active Learning* foi representada na figura pela letra “H”. A influência do Construtivismo Social, representado pela letra “S”, está presente na CPL, que por sua vez se relaciona diretamente com a PBL. A *Simulation Based Learning* (SBL) que será abordada adiante, está presente neste diagrama por possuir elementos de SDL.

2.3.2 *Technology Enhanced Learning* (TEL)

Os avanços tecnológicos na mobilidade dos dispositivos eletrônicos e a ampliação do acesso à tecnologia de informação fizeram da TEL uma ferramenta para facilitar o processo ensino-aprendizagem (GOODYEAR & RETALIS, pg. 8, 2010). Entende-se por TEL toda circunstância na qual a tecnologia é empregada para tornar o processo ensino aprendizagem mais efetivo, mais eficiente ou mais prazeroso (GOODYEAR & RETALIS, pg. 8, 2010).

Goodyear (2010) propôs uma taxonomia na qual a TEL é dividida em:

- *Learning Management Systems* (LMS);
- Laboratórios Virtuais;
- Simuladores;
- *Computer Supported Collaborative Learning Systems* (CSCLS);
- Tecnologias de construção de aprendizagem como LEGO *Mindstorms*;
- Tecnologias de avaliação de conhecimento;
- Tecnologias de aprendizagem através da criação de conteúdo digital, como imagens e vídeos.

2.3.2.1 *E-Learning*

Online, Internet, Web Based, Distributed e Networked Learning são exemplos de termos utilizados para designar uma abordagem pedagógica na qual ferramentas tecnológicas de comunicação e informática são empregadas na transmissão de conhecimento para alunos dispensando aulas presenciais (OMAR et. al.,2012) (ALLY, 2004). Nesta abordagem o aluno pode utilizar os materiais disponíveis de acordo com sua disponibilidade, dando prosseguimento no curso de acordo com seu próprio ritmo. A principal dificuldade da universalização do *E-Learning* é a demanda que alguns cursos possuem de atividades realizadas em laboratórios. Para estes cursos seria preciso o desenvolvimento de laboratórios virtuais com recursos suficientes para atender às demandas atendidas por um laboratório convencional (OMAR et. al.,2012).

O Behaviorismo influenciou no desenvolvimento de alguns cursos *E-Learning*, na medida em que os aprendizes são apresentados à alguns parâmetros de desempenho que deverá demonstrar ao fim do curso. Caso o aluno falhe, deverá reiniciar o curso e refazer as avaliações até que se obtenha o desempenho esperado. O curso é pensado como um conjunto de estímulos utilizados para condicionar o aluno a alcançar um determinado desempenho. Em uma aplicação *E-Learning* é passada ao aprendiz a responsabilidade pela construção de seu conhecimento através da autogestão, autocontrole e motivação. Conclui-se que a SDL é uma característica da *E-Learning* que, portanto, alinha-se às teorias construtivistas e humanistas (EVGENIOU et. al.,2012).

Uma das dificuldades da *E-Learning* é a falta de Design Instrucional de algumas aplicações, isolamento social e problemas técnicos (COOK, 2007 apud EVGENIOU et. al.,2012). De acordo com Evgeniou et. al. (2012) para superar as principais dificuldades é preciso que o curso seja adaptável à diferentes estilos de aprendizagem e forneça supervisão e assistência quando o aprendiz apresentar dificuldades (EVGENIOU et. al.,2012). No entanto em sua pesquisa, realizada em uma turma de engenharia de uma universidade pública da Malásia, Mansor demonstrou que não existe relação direta entre o estilo de aprendizagem dos alunos e sua percepção da efetividade de um curso *E-Learning* (MANSOR & ISMAIL, 2012).

2.3.2.2 Blended Learning (BL)

A BL combina as tradicionais aulas presenciais ao uso de recursos tecnológicos de comunicação e de informática do *E-Learning*. Ao combinar aulas presenciais e *E-Learning* a BL procura trazer o que há de melhor em cada uma das abordagens. Com a BL o aluno pode desfrutar da flexibilidade, facilidade de acesso e interatividade do *E-Learning* e ainda usufruir de atividades em grupo e interações sociais durante as aulas presenciais, minimizando o efeito de isolamento e de dificuldades técnicas inerentes à abordagem de *E-Learning* puro. (GRAHAM & DZIUBAN, 2008)

2.3.2.3 Simulation Based Learning (SBL)

O termo simulação por si só abrange diferentes tipos de ferramentas cujo objetivo é imitar características do mundo real, desde simulações de fenômenos físicos até simulações eventos de emergência para treinamento de socorristas. No entanto este trabalho se limitará ao uso de programas de simulação, sendo portanto, uma modalidade de TEL.

Simuladores são programas que modelam aspectos do mundo real e exigem tomadas de decisão ou alguma participação dos alunos (DAVIDOVITCH et. al., 2006). Os ambientes

simulados são geralmente uma simplificação da realidade em que os alunos podem aprender os procedimentos, desenvolver uma compreensão de um fenômeno e experimentar abordagens alternativas para a aprendizagem. Simuladores encorajam os estudantes a serem participantes mais ativos na sua aprendizagem por não estarem presos à uma sequência fixa de eventos e poderem experimentar livremente (LYONS, 2012) (DAVIDOVITCH et. al., 2006). A SBL possui aspectos comuns ao ensino expositivo e a DL. No ensino expositivo tradicional são apresentadas as estruturas e as variáveis de estudo necessárias àquele conhecimento, na DL é deixada para o aluno a responsabilidade pela construção do conhecimento, as relações entre as variáveis e a estrutura do fenômeno devem ser inferidas a partir da experimentação autônoma (SWAAK, 1998).

Devido às características da DL, e conseqüentemente da SDL, presentes na SBL alguns aprendizes podem apresentar dificuldades na identificação das variáveis que são importantes, qual é a estrutura relacionada ao conhecimento que se pretende obter a partir das simulações e dificuldades em monitorar e planejar seu processo de aprendizagem (SWAAK, 1998) (JONG et. al., 1998) (REID,2003). Para facilitar o aprendizado e fazer com que as informações importantes fiquem mais transparentes aos usuários são utilizados textos de ajuda exibidos em diálogos ativados quando o usuário julgar necessário. Entretanto as informações de ajuda são dadas de forma que apenas auxiliem o aprendiz a inferir da experimentação as conclusões relacionadas ao objeto de estudo, afim de não prejudicar as características de DL presentes na SBL. Outra maneira de facilitar o aprendizado a partir da SBL é o uso da modelagem progressiva, iniciando com modelos mais simples, aumentando progressivamente a complexidade do sistema, fazendo com que o aluno tenha tempo para administrar a riqueza de informações presentes na simulação. Estudos (SWAAK, 1998) demonstraram que alunos que tinham a seu dispor diálogos de ajuda e modelagem progressiva tiveram desempenho superior em testes de conhecimento. Para ajudar os alunos a exercer a SDL durante o uso dos simuladores podem-se utilizar roteiros experimentais ou outros tipos de tarefas que facilitem o exercício da autogestão e autocontrole por parte do aprendiz.

2.3.2.3.1 Modos de Treinamento

O conceito de Modos de Treinamento foi desenvolvido como uma abordagem de ensino para SBL. Blümel (2003) apresenta em seu trabalho a proposta de um simulador para treinamento em procedimentos complexos, trazendo como exemplo o posicionamento de balizamentos em um aeroporto. A fim de facilitar o uso dos simuladores Blümel propõe que o treinamento seja dividido em quatro modos de treinamento:

- Modo Apresentação;
- Modo Guiado;
- Modo Livre;
- Modo Descoberta.

O Modo Apresentação é um modo introdutório no qual a interatividade com o simulador é mínima. Durante o Modo Apresentação o usuário assiste a cada passo os diferentes procedimentos, apesar da pouca interatividade o usuário tem liberdade de pausar ou repetir a execução dos passos a partir de diferentes perspectivas. Geralmente durante este modo o usuário é apresentado a um novo cenário, partindo de uma situação inicial, observa-se cada passo até a solução final (BLÜMEL, 2003). A partir do Modo Guiado o usuário começa a interagir mais com o simulador, recebendo sub tarefas, durante a execução das sub tarefas o usuário tem acesso à comentários, dicas e animações que demonstram o que deve ser feito. Durante o Modo Guiado o usuário deve executar cada passo do procedimento, porém sem a possibilidade de repetir ou pular algum passo (BLÜMEL, 2003).

O objetivo do Modo Livre é avaliar o progresso dos usuários e verificar se são capazes de realizar as tarefas por conta própria sem a necessidade de ajuda. Entretanto informações de ajuda estão disponíveis caso o usuário precise. Os acessos às informações de ajuda estarão registrados no log de uso do programa. Ao criar um cenário deve-se definir critérios a partir do qual o programa poderá avaliar se a tarefa foi executada corretamente. No Modo Descoberta não há tarefas nem comentários de ajuda, o foco está na aprendizagem e no entendimento individual, o usuário é livre para interagir e explorar o cenário (BLÜMEL, 2003).

Outro trabalho a utilizar o conceito de Modos de Treinamento foi a Usina Hidrelétrica Virtual (HOUNSELL; SILVA; RIBEIRO FILHO; SOUSA, 2010). O objetivo deste ambiente de simulação é o treinamento em operação e manutenção de uma usina hidrelétrica. No módulo de manutenção é que são empregados três modos de treinamento:

- Modo de Manutenção Automática;
- Modo Guiado;
- Modo Exploratório.

O Modo de Manutenção Automática proposto por Hounsell, Kemczinski e Silva (2010) equivale ao Modo Apresentação proposto por Blümel (2003), neste modo uma animação ilustra cada passo do procedimento de manutenção, durante este modo o usuário pode alterar a perspectiva da câmera, pausar e repetir cada passo da animação, informações

textuais são exibidas em uma barra horizontal na parte inferior da interface. No Modo Guiado as animações são ativadas pelo usuário ao selecionar as peças que compõem os equipamentos, as peças devem ser escolhidas em uma ordem específica para que a manutenção seja realizada corretamente. Ao realizar uma tarefa de manutenção corretamente o usuário recebe a opção de ir para a próxima tarefa ou repetir a tarefa atual.

O Modo Exploratório proposto por Hounsell, Silva, Ribeiro Filho e Sousa (2010) equivale ao Modo Livre proposto por Blümel (2003), após já estarem familiarizados com os passos de cada procedimento de manutenção os usuários são testados ao executarem os procedimentos sem ajuda do sistema. Ao fim de cada passo o sistema informa ao usuário se o mesmo foi realizado corretamente permitindo ao usuário passar para o próximo procedimento. Não há mensagens de ajuda durante este modo, apenas informações quanto à execução correta dos procedimentos.

Em um trabalho mais recente, Blümel e Haase (2009) publicam sua metodologia e experiências no desenvolvimento da Plataforma de Ensino com Realidade Virtual do Instituto de Fraunhofer, neste trabalho trouxeram mais detalhes e uma nova disposição do seus Modos de Treinamento:

- Modo Descoberta;
- Modo Apresentação;
- Modo Guiado;
- Modo Livre.

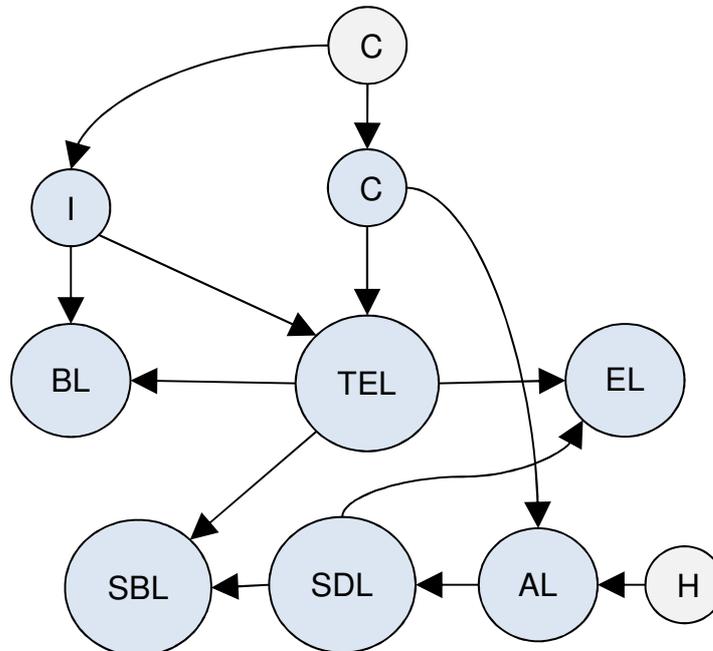
Nesta nova proposta o Modo Descoberta antecede todos os demais, deixando o usuário livre para conhecer o sistema e se familiarizar com seu funcionamento, não há tarefas a serem executadas. O Modo Apresentação continua sendo composto por animações demonstrativas que podem ser pausadas ou repetidas de acordo com a vontade do usuário. No Modo Guiado o usuário deve aplicar os conhecimentos obtidos no Modo Apresentação, sendo guiado por uma sequência pré-definida de tarefas através de dicas e textos explicativos.

No Modo Livre o usuário não recebe procedimentos específicos para completar a tarefa, este modo enfatiza ações independentes e compreensão de casualidades. Os usuários devem tirar vantagem da liberdade de manipulação, e o sistema deve avaliar os erros cometidos. Nesta última versão dos Modos de Treinamento percebe-se uma abordagem mais voltada ao *Discovery Learning*.

Destas implementações de Modos de Treinamento conclui-se que devem existir pelo menos três modos, o primeiro para demonstrar o que fazer, o segundo para guiar o usuário

durante a execução e um terceiro para avaliar o aprendizado deixando que o aluno execute as tarefas por si mesmo. A Figura 5 ilustra a relação entre as abordagens de *Technology Enhanced Learning* (TEL) e as Teorias Pedagógicas (Apêndice A).

Figura 5 – Abordagens de *Technology Enhanced Learning* e as Teorias Pedagógicas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Como pode-se observar na Figura 5, a TEL possui influências do Cognitivismo, através do Construtivismo e do Instrucionismo e influências do Humanismo, através da *Active Learning* e da SDL. Tanto a SBL quanto a *E-Learning* possui influências da SDL.

2.4 MATRIZES DE ESPAÇO DE HABILIDADES (MEH)

O conceito de Matriz de Espaço de Habilidades (HOUNSELL; KEMCZINSKI; SILVA, 2005) é uma forma de representação estruturada de conhecimentos, para ajudar no entendimento do conceito de MEH define-se os seguintes termos:

“Dimensões de Habilidades: São a identificação das diversas habilidades (saberes) a serem apropriadas pelo aprendiz.

Dimensões de Habilidades Ortogonais: A ortogonalidade indica que uma determinada dimensão não tem influência (projeção) sobre a outra, sendo desta forma independente, ou seja, o conhecimento de uma dimensão não necessitaria obrigatoriamente do conhecimento disponível em outra dimensão.

Grau de Habilidade: é a sequencialização de conhecimento em cada habilidade, de forma que um grau menor indique conteúdos mais fáceis e elementares e graus maiores conteúdos mais complexos. Como se fosse o “ponto” (metáfora normalmente usada por educadores para indicar uma parte de um determinado conhecimento sequencial).

Átomos de Conhecimento: É o conhecimento relativo à interseção dos diversos graus de habilidades das diversas dimensões. Pode ser entendida por um “quadrado”

para 2 (duas) dimensões ou uma “caixa” para 3 (três) dimensões de habilidade, e assim sucessivamente.

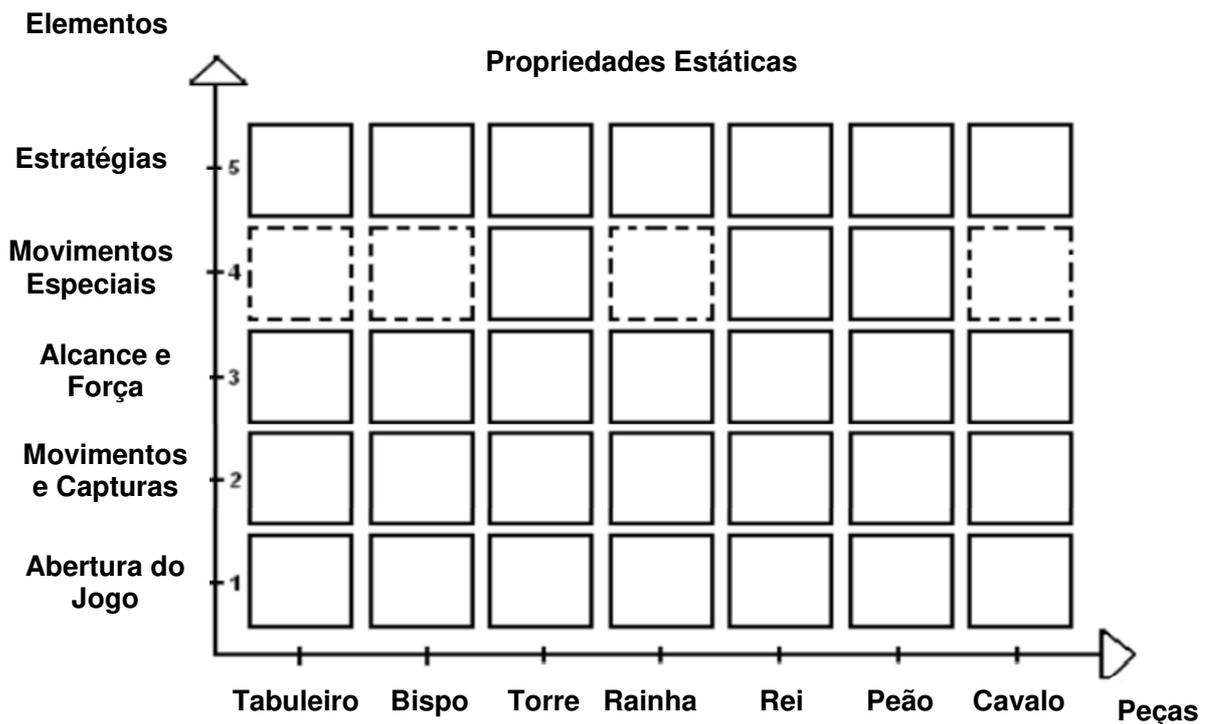
Pré-requisito: Conceito básico que indica a sequencialidade necessária de forma que o entendimento de um átomo depende do entendimento de seu átomo pré-requisito.

Vizinho: É um átomo de conhecimento que se encontra nas imediações geográficas (geométricas) de um outro átomo. Os vizinhos se dividem em dois tipos: os visitados e os não visitados. Dentre os já visitados tem-se os que indicam conhecimentos que já foram devidamente “conquistado” (já foram avaliados pelo educador e, portanto, atestado por este como apreendido pelo aprendiz) e os que foram visitados, mas ainda não conquistados; dentre os não visitados, tem-se os vizinhos imediatos e os demais.

Vizinho imediato: vizinho não visitado de um átomo de conhecimento que está liberado para ser visitado pelo aprendiz pois ele tem pré-requisito em todas as dimensões de habilidades existentes.”

O conceito de MEH portanto estrutura de forma matricial os conhecimentos ou habilidades, de forma que os átomos mais próximos da origem das Dimensões de Habilidades Ortogonais são pré-requisito para os átomos posteriores, em ambas as direções. A Figura 6 mostra uma aplicação do conceito de MEH a um jogo de xadrez.

Figura 6 – Matriz de Espaço de Habilidades para um jogo de xadrez.



Fonte: (PIETRA et. al., 2009)

Pode-se observar duas dimensões no MEH da Figura 6, a dimensão das peças na horizontal e a dimensão de elementos de jogo na vertical. Os átomos (1,n) se referem ao conhecimento dos elementos do início da partida com relação ao tabuleiro e às demais peças, os átomos (2,n) se referem às possibilidades de movimentos e capturas das peças. As peças estão dispostas em nível de complexidade crescente, o mesmo acontece com os elementos de

jogo. A partir desse MEH é possível criar um curso de xadrez no qual o aprendiz poderia avançar livremente em qualquer direção nas Dimensões de Habilidades Ortogonais desde que tenha conquistado os átomos vizinhos de menor complexidade. A Figura 7 contém a interface de acesso às diferentes tarefas disponíveis no ROLE, um simulador para ensino de robótica desenvolvido por Busarello Junior et. al. (2012) utilizando o MEH para tarefas robóticas desenvolvidas por Azevedo et. al. (2011).

Esta aplicação do MEH também possui duas dimensões, a dimensão de trajetória na horizontal e de manipulação de objetos na vertical. O primeiro átomo não possui objetivo específico serve apenas para familiarizar o usuário ao funcionamento do sistema, e é pré-requisito para as próximas tarefas. Este átomo ao ser conquistado libera acesso às tarefas Ajuste e Caçapa, o átomo Ajuste possui maior complexidade no eixo de manipulação de objetos enquanto que o átomo Caçapa possui maior complexidade no eixo de programação de trajetória e ambos são pré-requisitos para a tarefa Torre de Hanoi. Ao conquistar o átomo Ajuste fica liberado o átomo Limpeza, podendo então escolher entre prosseguir na direção da dimensão de manipulação de objetos conquistando o átomo Limpeza e depois pintura ou conquistar o átomo Caçapa e liberar a tarefa de Ordenar o Bilhar. Após a execução de uma determinada tarefa, esta fica sob avaliação até que o responsável pelo curso libere o acesso às próximas tarefas ou avalie a mesma como não concluída.

Figura 7 – Matriz de Espaço de Habilidades aplicado ao ensino de robótica.

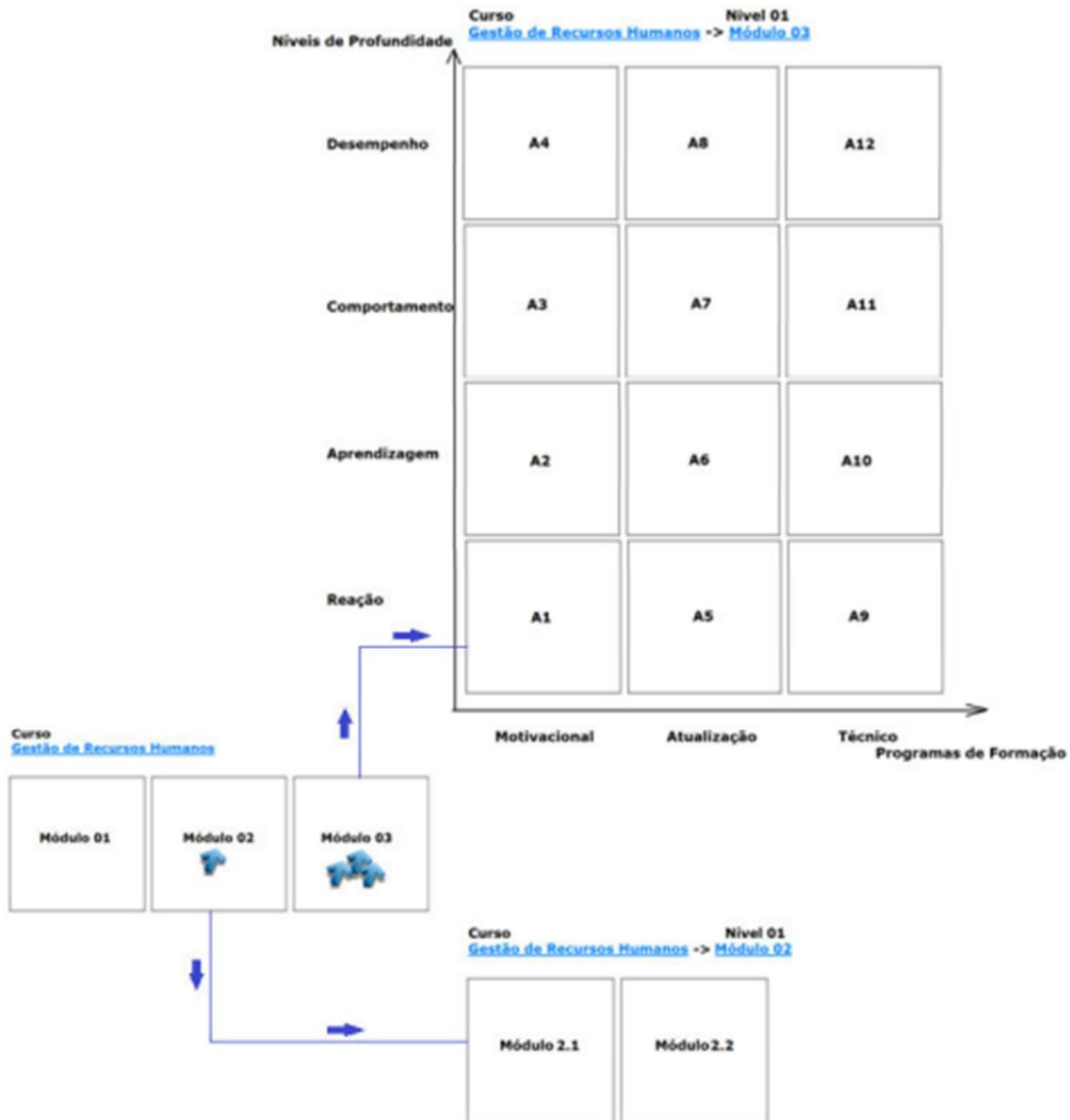


Fonte: (BUSARELLO JUNIOR et. al., 2012)

Finalmente a Figura 8 ilustra a implementação do MEH em uma plataforma de *E-Learning* desenvolvida por Batista et. al. (2014) chamada de MEH²-RECE. Como pode-se observar na figura o MEH²-RECE permite a publicação de cursos na tradicional Estrutura

Hierárquica e também utilizando MEH com a possibilidade de mesclar as duas representações. Desta forma um átomo do MEH pode conter uma Estrutura Hierárquica interna correspondente a subdivisões de conteúdo, e os átomos desta Estrutura Hierárquica podem ser novamente subdivididos em Estruturas Hierárquicas mais profundas

Figura 8 – Possibilidades de estruturação de conteúdo no MEH²-RECE.



Fonte: (BATISTA et. al., 2014)

A Figura 8 exemplifica a estrutura de um curso de Recursos Humanos, neste curso para conquistar o primeiro átomo do MEH é necessário conquistar átomos internos estruturados de forma hierárquica em módulos 01, 02 e 03. O Módulo 01 é pré-requisito para o Módulo 02. O módulo 02 é subdividido em dois outros átomos, módulos 2.1 e 2.2, também

em Estrutura Hierárquica. Somente após conquistar o Módulo 03 é que o átomo A1 do MEH terá sido conquistado, liberando os átomos A2 e A5.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Após a identificação de alguns métodos de avaliação utilizados em trabalhos científicos sobre o impacto do uso de simuladores no ensino de robótica através de uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática (PBS), discutida com maiores detalhes no capítulo 3, observou-se que poucos trabalhos apresentaram uma metodologia sistematizada de avaliação. Foi realizada uma análise das fundamentações teóricas das metodologias sistemáticas identificadas na PBS e uma análise das referências bibliográficas citadas em busca de outros métodos de avaliação, o resultado destas pesquisas será discutido nesta seção.

Verificou-se que a maioria dos artigos utilizaram questionários com escalas de Likert, um método de avaliação que utiliza escalas numéricas para avaliar o grau de concordância dos participantes em relação à uma lista de afirmações. Escalas de Likert geralmente variam de 1 a 5, sendo que estes valores representam plena concordância ou discordância com as afirmações apresentadas nos questionários (LIKERT, 1932).

2.5.1 *General Self-Efficacy Scale (GSE)*

A funcionalidade humana é facilitada quando existe um sentimento pessoal de controle. Quando uma pessoa acredita ser capaz de solucionar uma situação ativamente ela se torna mais inclinada a fazê-lo e se sentirá mais comprometida a essa decisão. Enquanto as expectativas de resultados se referem às possíveis consequências de uma ação, as expectativas de auto eficácia se referem às ações de controle ou agenciamento. Uma pessoa que acredita ser capaz de provocar um evento qualquer é capaz de conduzir uma vida mais ativa e autodeterminada (SCHWARZER,1997). Em 1981 foi desenvolvida a primeira versão da GSE, em língua alemã, por Schwarzer e por Jerusalem, contendo 20 itens, posteriormente reduzidos para uma versão de 10 itens. Este mesmo questionário foi posteriormente traduzido para 32 línguas, tendo sua versão portuguesa publicada em 1999. Pode-se citar como questões do GSE as seguintes afirmações:

“ Eu consigo resolver sempre os problemas difíceis se eu tentar bastante;
Eu estou confiante que poderia lidar, eficientemente, com acontecimentos inesperados;
Eu posso manter-me calmo ao enfrentar dificuldades porque eu posso confiar nas minhas capacidades para enfrentar as situações. ”

Estas afirmações são acompanhadas de escalas de Likert, e avaliam o nível de auto eficácia mediante aos estresses de situações gerais. Para ser aplicado de maneira eficaz a situações específicas a GSE deve ter suas afirmações adaptadas para o contexto de interesse (SCHWARZER,1997).

2.5.2 Motivated Strategies for Learning Questionnaire

Paul R. Pintrich e Elisabeth V. De Groot (1990) desenvolveram um questionário para investigar a relação entre variáveis de motivação e planejamento tais como auto eficácia, relevância, ansiedade, auto regulação, e estratégias de aprendizagem com o desempenho e engajamento cognitivos. Para tanto desenvolveram um questionário com 56 questões com escalas de Likert. Para avaliar a auto eficácia foram utilizadas 8 afirmações como por exemplo, “Em comparação aos demais estudantes eu possuo um elevado conhecimento sobre o assunto”.

A relevância foi avaliada por 9 enunciados tais como “Eu acredito que aquilo que estou aprendendo nesta aula será útil para mim”. Para estimar a ansiedade dos alunos foram utilizadas 4 afirmações como, por exemplo, “Me sinto tão nervoso durante um teste que não consigo lembrar-me dos fatos que aprendi. O uso de diferentes estratégias cognitivas foi avaliado por 13 enunciados tais como, “Quando eu estudo enuncio ideias importantes usando minhas próprias palavras”. E finalmente a autorregulação foi avaliada a partir de 9 afirmações como por exemplo, “Trabalho duro para conseguir um bom desempenho mesmo quando não gosto da matéria”.

2.5.3 Academic Self-Regulation Questionnaire

Ryan e Connell (1989) desenvolveram um questionário para diagnosticar o nível de motivações intrínsecas e extrínsecas de alunos, para isto se basearam na teoria do Conceito de Percepção do Locus de Casualidade e nas teorias de Internalização. O conceito foi introduzido por Heider (1958) e posteriormente expandido por DeCharms (1968), esta teoria procura entender os processos externos e internos que impelem o sujeito a agir de uma determinada maneira. As teorias de Internalização fazem referência a motivações extrínsecas de origem social que passam a fazer parte do sistema interno moral e de consciência do sujeito, tais como sentimento de culpa ou de obrigação.

A versão acadêmica do questionário é composta por quatro perguntas:

“Por que eu faço minha lição de casa?
Por que eu participo das atividades em sala de aula?”

Por que eu respondo às questões difíceis durante a aula?
Por que eu tento ir bem na escola? ”

Para cada uma destas perguntas são colocados oito motivos, cada motivo possui uma escala de Likert para ser pontuada pelos alunos. Cada motivo possui uma característica motivacional intrínseca ou extrínseca sendo classificados em motivações externas, introjeção, identificadas e intrínsecas. No total são 32 afirmações com escalas Likert, distribuídas em 4 perguntas e classificadas em 4 categorias. A partir deste questionário é possível avaliar os níveis de motivação dos alunos.

2.5.4 *Learning Climate Questionnaire*

Williams e Deci (1996) também desenvolveram um questionário para avaliar os níveis motivações externas, a introjeção, identificadas e intrínsecas. Porém desta vez avaliam estas motivações sob a perspectiva de autonomia, para avaliar suas influências sobre a qualidade da aprendizagem. O questionário é composto de quinze afirmações com escalas Likert:

“ Sinto que meu instrutor me dá opções e liberdade de escolhas;
Sinto que meu instrutor me entende;
Eu consigo me abrir com meu instrutor durante a aula;
Sinto-me aceito pelo meu instrutor;
Meu instrutor se assegurou de que entendi o que fazer e os objetivos do curso;
Meu instrutor me encorajou a fazer perguntas;
Sinto muita confiança em meu instrutor;
Meu instrutor responde minhas questões de forma completa e cuidadosa;
Meu instrutor escuta como eu gostaria de fazer as coisas;
Meu instrutor lida muito bem com as emoções das pessoas;
Sinto que meu instrutor se importa comigo como pessoa;
Não me sinto muito bem da forma que meu instrutor fala comigo
Meu instrutor tenta entender como eu vejo as coisas antes de sugerir novas formas de agir;
Sinto que posso compartilhar meus sentimentos com meu instrutor. ”

A pontuação da escala de Likert de cada afirmação é somada, quanto mais alta a pontuação final maior o nível de suporte de autonomia percebido pelo aluno.

2.5.5 *Intrinsic Motivation Inventory*

Ryan e Connell (1989) investigaram os prejuízos causados por recompensas e avisos de controle sobre a motivação intrínseca. Para tanto desenvolveu um questionário com quarenta e cinco afirmações divididas em interesse, satisfação, importância, utilidade e possibilidade de escolha, pressão, tensão, competência e empatia. Cada afirmação deve ser pontuada de acordo com uma escala de Likert. Exemplos de afirmações do questionário são:

“ Eu gostei muito de realizar esta atividade;
Acredito que sou muito bom nesta atividade;

Eu me esforcei bastante realizando esta atividade;
 Não me senti nenhum pouco nervoso durante a atividade;
 Acredito que eu poderia escolher sobre participar ou não desta atividade;
 Acredito que fazer esta atividade foi importante de alguma forma. ”

Os pontos de cada afirmação são somados para obter a pontuação final, quanto maior a pontuação maior o nível de motivação intrínseca.

2.5.6 *Test of Robotics Related Attitudes (TORRA)*

O TORRA foi adaptado por Lee et. al. (2013) de um questionário mais antigo chamado de *Test of Scientific-Related Attitudes* desenvolvido por Fraser (1978) para avaliar diferentes atitudes dos alunos com relação ao ensino de ciências. O TORRA é composto de oito afirmações com escalas de Likert, com objetivo de avaliar a satisfação dos alunos durante o uso do simulador desenvolvido por Lee et. al. (2013), com as seguintes afirmações:

“ Aulas de robótica com simulador são legais;
 Eu gostei das aulas de robótica usando simulação;
 O departamento deveria possuir mais aulas com simuladores como esta;
 Robótica é uma das matérias mais interessantes;
 Eu realmente gosto de participar de aulas de robótica com simuladores;
 O software de simulação utilizado nesta aula é muito interessante;
 Eu espero por aulas de robótica que utilizem simuladores;
 Eu gostaria mais da escola caso houvessem mais aulas de robótica usando simuladores como esta. ”

Embora os autores afirmem terem se baseado no TOSRA para avaliarem atitudes como negociação e reflexão, basearam-se neste apenas para avaliarem satisfação. Outras atitudes foram avaliadas a partir do Constructivist SBL Environment Survey.

2.5.7 *Constructivist SBL Environment Survey*

A *Constructivist SBL Environment Survey* também foi adaptada por Lee et. al. (2013) a partir da *Constructivist Multimedia Learning Environments Survey*. O questionário foi desenvolvido por Maor e Fraser (2005) para avaliar a percepção de alunos e professores com relação à ambientes online de ensino multimídia. O questionário é composto de trinta afirmações divididas em seis categorias: negociação, *Inquiry Learning* (IL), reflexão, relevância, facilidade de uso e desafio. Alguns exemplos de afirmações contidas no questionário são:

“ Tive oportunidade de conversar com outros estudantes;
 Consigo encontrar as respostas das perguntas através de investigação;
 Consigo pensar profundamente sobre como eu aprendo;
 Enquanto navego pelo ambiente de simulação percebo o quão complexo são os ambientes reais;
 É fácil de usar;
 Me faz pensar. ”

Cada afirmação deve ser pontuada a partir de escalar Likert para avaliar a presença de cada uma destas atitudes, no capítulo 3 deste trabalho são discutidos os resultados encontrados por Lee (2013).

2.5.8 *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)*

Kirakowski e Corbett (1993) desenvolveram o SUMI como uma proposta de solução padronizada de avaliação da percepção de usabilidade. Para tanto basearam-se nos conceitos de usabilidade da ISO 9241 e construíram uma base de dados que permite a comparação entre programas concorrentes. O SUMI é composto por cinquenta afirmações em cinco agrupamentos de dez: afetividade, eficiência, aprendizagem, utilidade e controle. Alguns exemplos de afirmações contidas no SUMI são:

“ Eu recomendaria esse software a outras pessoas;
A documentação do software contém bastante informações;
Eu usaria esse software todos os dias;
A organização dos menus parece muito lógica;
O software nem sempre respondeu da forma como eu esperava. ”

As afirmações são pontuadas através de escalas de Likert, a soma das pontuações é utilizada como critério para avaliação da usabilidade do software. Uma pontuação final entre quarenta e cinquenta pontos indica uma usabilidade comparável à de programas comerciais bem-sucedidos (HASHEMIPOUR et. al, 2008).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi possível observar que dentre as muitas abordagens pedagógicas existentes o uso de *E-Learning* e de simuladores no processo de ensino aprendizagem está relacionado com as abordagens de *Active Learning* e de *Technology Enhanced Learning*. Estes dois grandes grupos de abordagens pedagógicas se basearam nos princípios pedagógicos do Comportamentalismo, Construtivismo, Humanismo, Instrucionismo e do Construtivismo Social (Apêndice A). Neste trabalho foram empregados princípios de *E-Learning* e *Simulation Based Learning* em uma abordagem *Blended Learning*.

Ainda neste capítulo observaram-se algumas alternativas para se avaliar o impacto educacional de simuladores no ensino de robótica industrial: em sua totalidade tratam-se de questionários de satisfação e de motivação, possuindo em média 37 questões. Para este trabalho optou-se por utilizar avaliações de conhecimento contendo apenas 8 questões e um questionário de satisfação com apenas cinco questões para avaliar o impacto educacional e aceitação dos recursos educacionais empregados. A quantidade de questões da avaliação de

conhecimento definida a partir de testes piloto com limitação de tempo de 30 minutos para sua aplicação e a quantidade de questões do questionário de satisfação foi obtida dos trabalhos de Busarello Junior (2015) e Azevedo (2010).

3 REVISÃO DA LITERATURA

A partir dos objetivos definidos no contexto desta pesquisa foi realizada uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática (PBS) (CONFORTO et. al. 2011) sobre simuladores aplicados ao ensino de robótica e sobre avaliação do impacto educacional destes simuladores ao serem aplicados ao ensino de robótica.

3.1 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS

Foi executado de um protocolo de filtragem de PBS, cujos detalhes se encontram no Apêndice B ou em (TEIXEIRA & HOUNSELL, 2015), esta filtragem englobou um total bruto de 794 artigos, do quais foram selecionados apenas 8 artigos. Foi realizada uma revisão convencional da literatura que incluiu mais 5 artigos. Afim de atender aos objetivos desta revisão da literatura, os 13 trabalhos escolhidos foram analisados para identificar os recursos educacionais presentes e os métodos de avaliação utilizados para estimar as consequências do uso de simuladores no processo de ensino-aprendizagem. Os resultados desta análise serão apresentados a seguir.

3.1.1 Desenvolvimento de um Simulador como proposta de Abordagem Didática

Cao et. al. (2011) propôs como abordagem didática o desenvolvimento de simuladores, esta abordagem seria a solução para as dificuldades que a maioria dos estudantes demonstram em entender a complexidade de sistemas robóticos e as dificuldades em se disponibilizar estações de trabalho para todos os estudantes. O autor propôs um curso para alunos de engenharia mecânica e elétrica composto por três fases: modelagem; desenvolvimento de interface gráfica de controle e; controle PID para cada uma das juntas do robô. Os estudantes poderiam escolher livremente qualquer software para modelar os elos e as juntas de um PUMA com 6 graus de liberdade, para posteriormente ser importado no MATLAB™. Na segunda fase, o modelo importado deve ser utilizado para desenvolver uma interface gráfica com controles de cinemática direta (FK) e cinemática inversa (IK). A fase final consiste em projetar o controle dos movimentos de cada junta com controladores PID usando modelagem dinâmica do robô no MAPLE™ ou no MATLAB™. Embora os autores não tenham apresentado uma metodologia formal de avaliação de sua abordagem, os alunos receberam ajuda e foram avaliados durante o curso. Os estudantes demonstraram grande satisfação durante o desenvolvimento dos sistemas, porém necessitaram de ajuda para serem

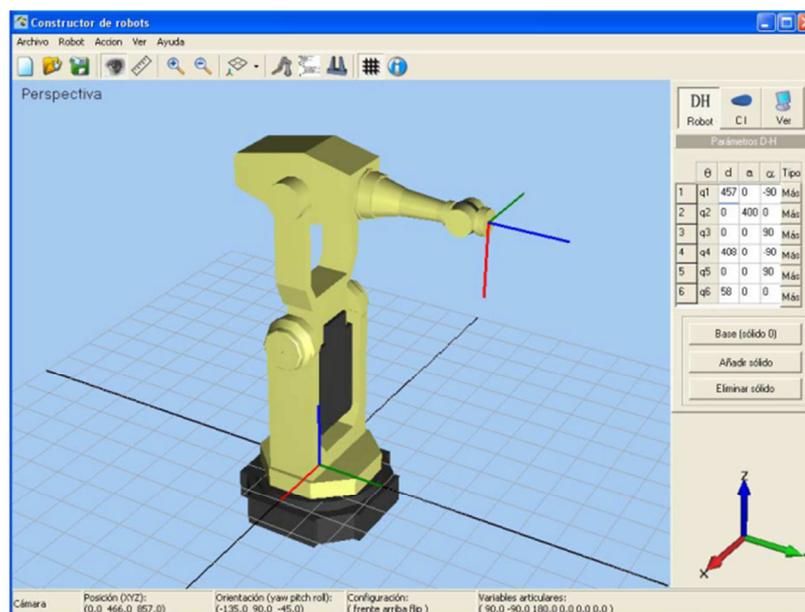
bem-sucedidos na implementação da cinemática inversa, os autores concluíram que este suporte foi crucial para que a abordagem seja bem-sucedida.

3.1.2 Desempenho Acadêmico e Simuladores Robóticos

Lopez-Nicolas et. al. (2009) aplicaram um sistema de simulação a alunos do Mestrado em Engenharia Industrial. O sistema é composto de dois programas: o RobotScene (Fig. 9), um ambiente para projetos de células de trabalho; e o SGRobot, um simulador de células de trabalho previamente desenvolvidas no RobotScene.

Os autores defendem que os estudantes devem ler, escrever, discutir ou estarem engajados na solução de problemas, mais do que simplesmente ler. Portanto o uso de simuladores dá aos estudantes a possibilidade de explorar o sistema livremente e assim aprender com mais eficácia. O uso de simuladores ainda ajuda na modelagem de robôs, projeto de sistemas de controle e exercita a obtenção de habilidades de programação.

Figura 9 – Exemplo de modelagem de um robô no RobotScene.



Fonte: (LOPEZ-NICOLAS et al., 2009).

Um teste final de conhecimento foi aplicado ao fim do curso e a média obtida foi utilizada como medida de sucesso na aplicação da metodologia educacional proposta. Foi utilizada a média da nota final dos estudantes entre os anos 2003 e 2009, porém os alunos poderiam escolher não participar do teste final, trazendo incertezas sobre o desempenho do sistema. A pesquisa apontou que 23% dos alunos do curso de Controle e Programação de Robôs obteve nota A, 34% B, 18% C, 24% optaram por não participar do teste e 1% dos

estudantes obtiveram nota D. Resultados similares foram obtidos no curso de Robótica Industrial com 16% dos alunos obtendo nota A, 44% B, 30% C e 10% optaram por não participarem do exame.

Foi realizada uma pesquisa em 50% dos estudantes sobre o tempo que dedicaram em atividades práticas, teóricas e de projeto. Avaliou-se que os estudantes dedicaram 35% de seu tempo, 50 horas, estudando teoria, 30% ou 43 horas em atividades práticas de simulação e, 35% trabalhando no projeto final. Estes resultados demonstram a importância dos simuladores no processo de aprendizagem.

3.1.3 Um Laboratório Virtual de Manufatura

Hashemipour et. al. (2011) sustenta que a maioria dos simuladores robóticos industriais são demasiadamente sofisticados para usos educacionais e requerem alto nível de conhecimento em computação fazendo-se necessário o desenvolvimento de simuladores para fins educacionais. O *Virtual Computer Integrated Manufacturing Laboratory* (VCIMLAB) é um módulo que foi desenvolvido para integrar outros módulos virtuais de engenharia. O VCIMLAB contém robôs industriais programáveis, máquinas CNC, sistemas de controle de qualidade e outras máquinas industriais automáticas (Fig. 10).

Figura 10 – Módulo de treinamento do VCIMLAB.



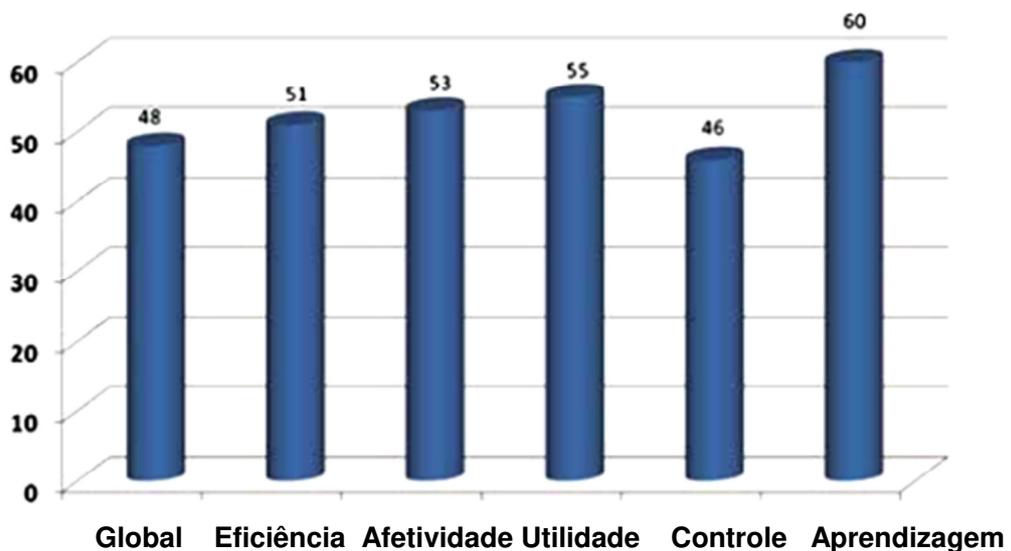
Fonte: (HASHEMIPOUR et. al., 2011).

Um conjunto de experimentos para avaliar o impacto educacional do VCIMLAB foi desenvolvido e aplicado a cada semestre entre os anos de 2003 e 2007. Participaram da

pesquisa 80 estudantes do curso de engenharia mecânica. A avaliação aconteceu em dois estágios, primeiramente os estudantes receberam uma tarefa a ser executada no VCIMLAB. As tarefas foram, por exemplo, operar braços robóticos, pegar peças, gravar posições e programar robôs para realizarem operações automáticas de manufatura.

Na segunda etapa, os estudantes foram levados a um laboratório real e receberam tarefas a serem realizadas com utilizando equipamentos reais. Ao fim, os estudantes receberam testes de conhecimento para avaliar seu entendimento sobre o experimento e avaliar a usabilidade do sistema. O questionário baseou-se no *Software Usability Measurement Inventory* (SUMI) (Kirakowski e Corbett, 1993), consistindo em 50 questões divididas em 5 sub escalas, a saber, eficiência, influência, utilidade, controle e aprendizagem. De acordo com estas escalas um sistema que obtenha uma pontuação entre 40 e 60 pontos possui usabilidade comparável aos mais bem-sucedidos programas comerciais. VCIMLAB foi bem avaliado em todas as escalas, obtendo pontuação mínima de 46 em controle, 60 em aprendizagem e 48 na média, indicando uma grande qualidade do sistema. A Figura 11 mostra alguns resultados selecionados que indicam o impacto positivo do sistema sobre o processo ensino-aprendizagem motivando os estudantes e apresentando uma relevante transferência de conhecimento do laboratório virtual para o real.

Figura 11 – Resultados da aplicação do SUMI ao VCIMLAB.



Fonte: (HASHEMIPOUR et. al., 2011).

3.1.4 Ambiente de Treinamento Cooperativo com Robôs

Matsas e Vosniaskos (2012) desenvolveram um simulador imersivo para treinamento em colaboração entre humanos e braços robóticos na produção industrial, o sistema foi

chamado de *Beware of the Robot* (BOR). O principal objetivo deste sistema foi treinar trabalhadores em interações humano-robô com intuito de prevenir acidentes e aumentar a produtividade. O sistema é baseado na tecnologia Kinetic™ aliado a óculos estereoscópicos de realidade virtual, tornando o sistema imersivo e interativo, o usuário é representado por um avatar dentro do ambiente virtual (Fig. 12). Os autores aplicaram o sistema a um grupo de 30 estudantes das fases finais do curso de engenharia mecânica, com idades entre 21 e 31 anos, suficientemente familiarizados com sistemas de manufatura e com a teoria da robótica. Após dez minutos de exercícios introdutórios e oito minutos de execução de tarefas os usuários foram submetidos a um questionário com 42 perguntas.

Figura 12 – Vista do avatar tentando pegar uma placa da garra robótica.



Fonte: (MATSAS e VOSNIAKOS, 2013).

Catorze questões para coletar informações sobre a vida pessoal dos participantes, nível de conhecimento e experiência, dez questões sobre imersão (I), percepção de presença e realismo e dezoito questões sobre usabilidade, eficiência, rastreamento corporal e qualidade da interação. A avaliação do sistema foi complementada pela gravação e posterior análise e discussão de vídeos com os participantes. Sobre a percepção de imersão 93% dos participantes não perderam a sua concentração durante todo teste. Cerca de 37% dos participantes sentiu como se estivessem movendo os objetos com as próprias mãos, pois embora fossem orientados a utilizar apenas uma das mãos, 20% utilizou as duas mãos para agarrar e carregar as peças de trabalho e 17% fechou as mãos ao agarrarem os objetos mesmo conscientes de que o sistema não era capaz de rastrear os movimentos dos dedos. Com relação à usabilidade e eficiência do sistema 76% dos participantes relataram que sentiram estar

fazendo parte de um jogo muito divertido. Apenas 10% sentiram dificuldades durante a detecção e calibração inicial e 70% conseguiram evitar se posicionar dentro do volume de trabalho do robô, que é uma área potencialmente perigosa.

3.1.5 Estudo sobre um Simulador Baseado em Jogo

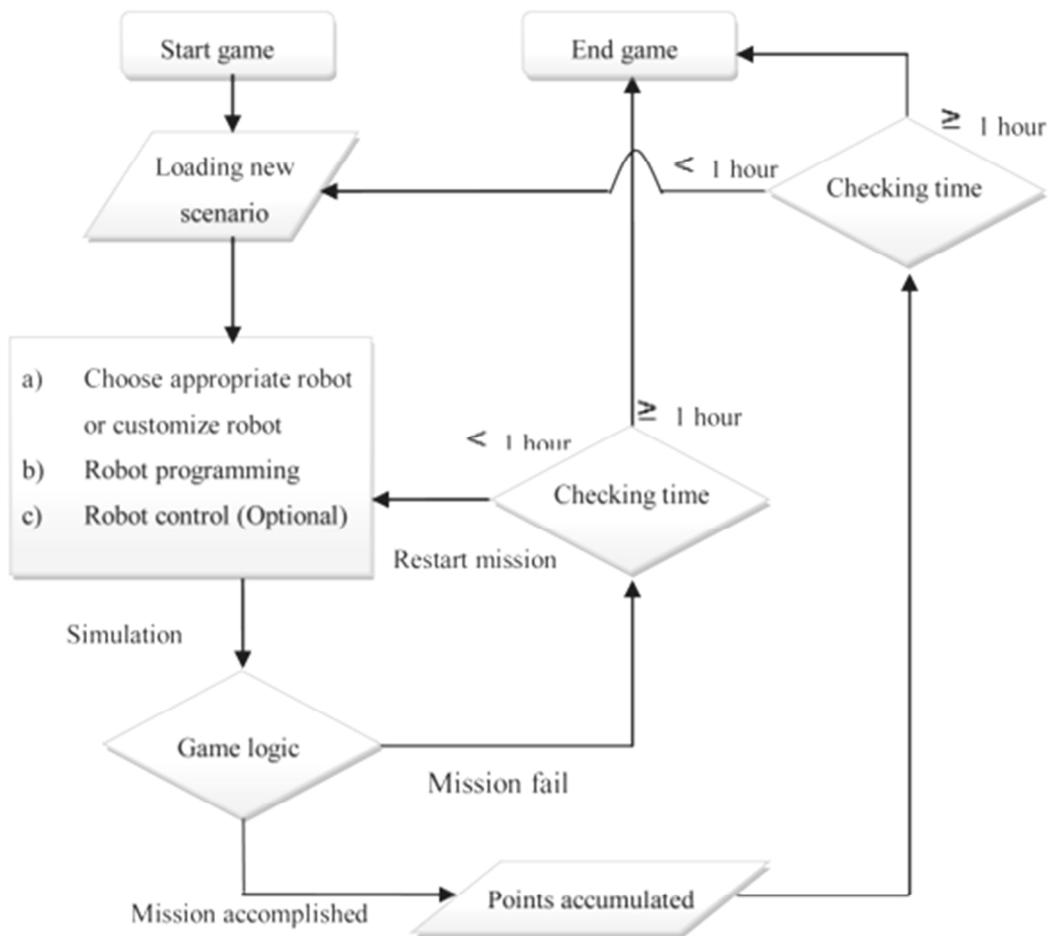
Lee et. al. (2013) pesquisaram a diferença de percepção dos alunos com relação a um simulador baseado em um jogo, *constructivist game-based simulator* (G-IRSTS), e um simulador convencional, *constructivist robotics simulator* (IRSTS). A pesquisa foi aplicada à estudantes entre 22 e 25 anos de idade de um curso de automação e robótica.

Os mesmos repertórios de recursos educacionais estavam presentes em ambas versões do simulador. A diferença é que G-IRSTS contém um conjunto de células de trabalho pré-definidas com objetos interativos e manipuladores compondo missões às quais os estudantes devem cumprir para progredir, a Figura 13 mostra a o fluxo do jogo. O IRSTS permite uma completa customização do *layout*, utilizando uma coleção de máquinas, robôs e objetos disponíveis na biblioteca do sistema ou a partir de modelos definidos pelo usuário. Depois de modelar a célula de trabalho o usuário desenvolve a programação e então simula um determinado processo de manufatura.

Os autores dividiram 120 estudantes em dois grupos, cada grupo foi dividido em 6 classes de 10 alunos. O primeiro grupo recebeu um curso utilizando o G-IRSTS e o segundo grupo utilizou o simulador convencional. Cada estudante teve acesso à um computador e tempo ilimitado para resolver suas tarefas e responder o questionário no fim do experimento. Os autores adaptaram um método de avaliação de atitudes em relação à ciência, chamado de TOSRA para ser aplicado em cursos de robótica passando a chamar TORRA. A avaliação consiste em 38 questões com escalas Likert divididas em ambiente SBL e atitudes. Os critérios propostos pelo TORRA são negociação, *Inquiry Learning* (IL), reflexão, relevância, facilidade de uso e desafio, cada critério composto por 5 questões para avaliar a atitude dos alunos em relação à ferramenta de simulação utilizada.

A pesquisa concluiu que um simulador baseado em jogo foi mais efetivo como ambiente de aprendizagem do que o simulador convencional se baseando nas pontuações do questionário. Os estudantes que utilizaram o G-IRSTS tiveram maiores pontuações em termos de negociação, IL, reflexão e desafio, e igual pontuação em termos de relevância, facilidade de uso e atitude em relação à robótica.

Figura 13 – Fluxo de uma tarefa no simulador baseado em jogo.



Fonte: (LEE et. al., 2013).

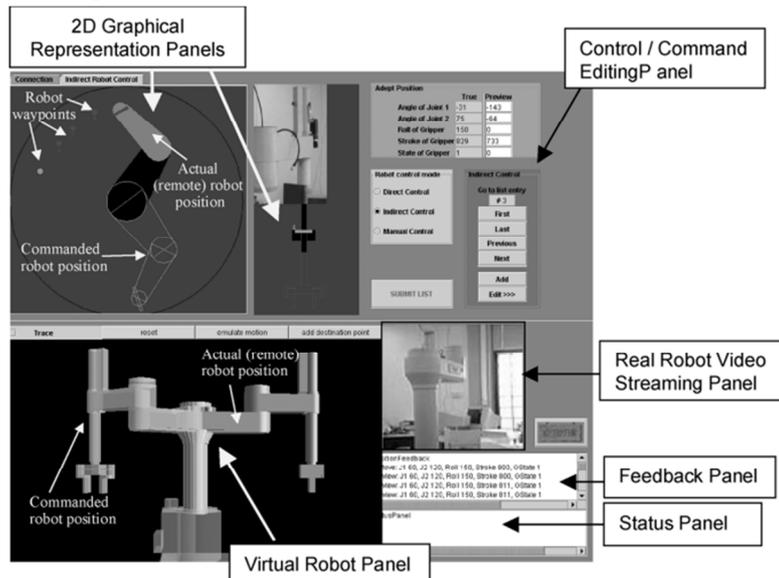
3.1.6 Um Laboratório Remoto e Virtual

Tzafestas et. al. (2006) investigaram as diferenças de médias obtidas em um teste final com um robô real por três grupos distintos: grupo I, treinado em uma estação robótica presencial; grupo II treinado em uma estação robótica remota; e grupo III treinado através de uma estação robótica simulada (Fig. 14).

Cada grupo foi dividido em seis subgrupos de três a cinco estudantes, foi ministrado um treinamento de 1 hora e 30 minutos a cada um dos subgrupos. Todos estudantes receberam o mesmo treinamento e o mesmo material didático diferindo somente no tipo de laboratório utilizado. O teste final foi conduzido em uma estação robótica real na qual os alunos foram encarregados de programar uma tarefa de *pick-and-place*. Durante o teste, um supervisor fez anotações sobre o desempenho dos alunos, quantidade e tipos de erros cometidos (desde acionar o botão errado a erros de programação ou até em falhas de

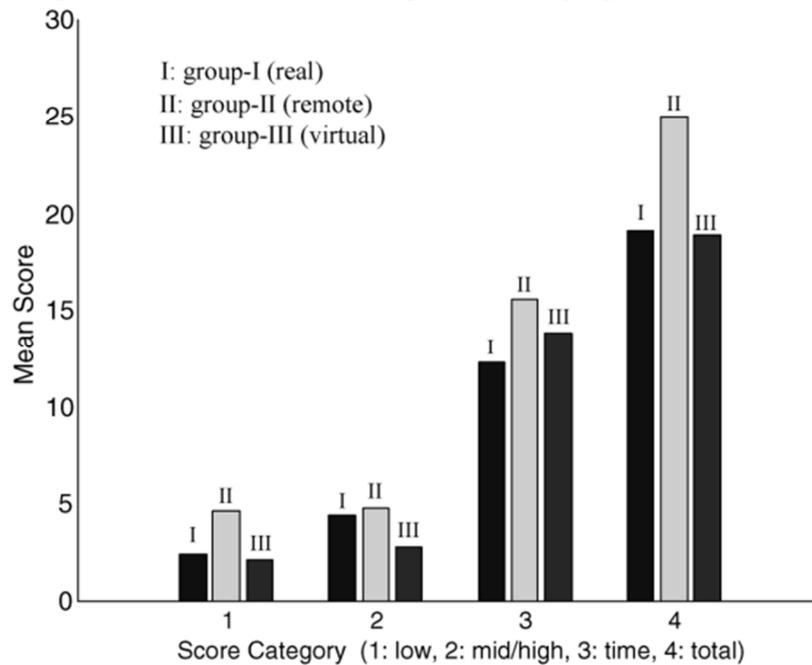
implementação correta da tarefa). Os erros simples e operacionais receberam 2 pontos, os erros conceituais receberam 5 pontos. O tempo para realizar a tarefa também foi considerado e pontuado em minutos. Sendo a pontuação final a soma do tempo e dos erros cometidos, quanto menor a pontuação melhor o desempenho (Fig. 15).

Figura 14 – Interface gráfica do laboratório virtual.



Fonte: (TZAFESTAS et. al., 2006).

Figura 15 – Desempenho médio no teste final para os três grupos.



Fonte: (TZAFESTAS et. al., 2006).

A pontuação média final obtida pelos grupos I, II e III foram 19,14; 25,0 e 18,83 respectivamente. Conclui-se que o grupo treinado através de simuladores obtiveram um

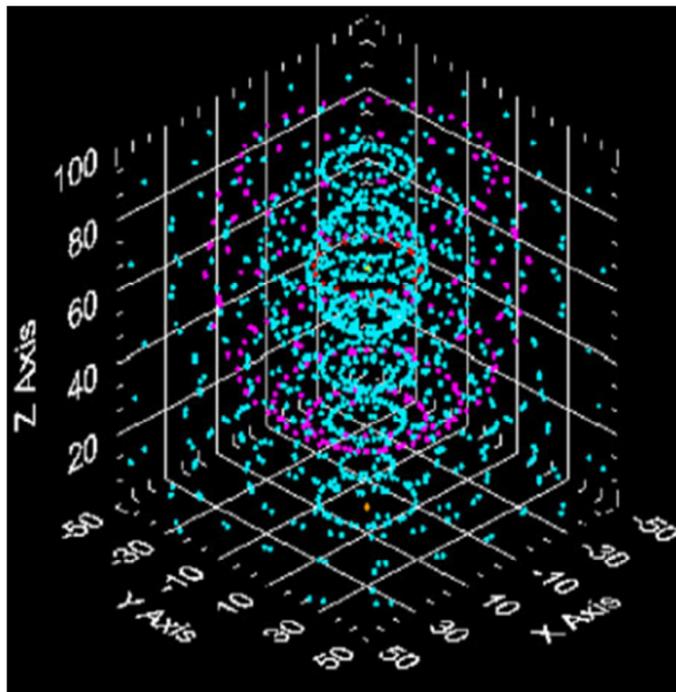
desempenho geral melhor que os outros grupos. O único aspecto no qual o grupo I foi superior ao grupo III foi o tempo, alunos treinados com o dispositivo real foram mais rápidos, porém essa diferença não foi relevante estatisticamente. Os alunos treinados pela estação remota obtiveram as maiores pontuações em todas as categorias, indicando maior dificuldade em transferir o conhecimento obtido na estação remota para a estação real se comparados aos demais.

O autor conclui que são necessárias mais pesquisas para entender o motivo para estas diferenças mas sustenta que pode ser parcialmente explicada pela maior motivação mostrada pelos alunos que foram treinados utilizando o simulador, levando-os a uma melhor compreensão e performance no teste final.

3.1.7 Um Simulador de Braço Robótico Tridimensional

Sanguino e Márquez (2011 e 2012) desenvolveram um simulador educacional chamado 3D-RAS (*3D Robotic Arm Simulator*) com o objetivo de fazer tornar mais atrativo e prático o estudo cinemático de braços robóticos seriais. O LabView foi utilizado para programação do simulador cujo diferencial é a possibilidade de computar o volume de trabalho de cinemática direta e inversa de braços robóticos genéricos (Fig. 16).

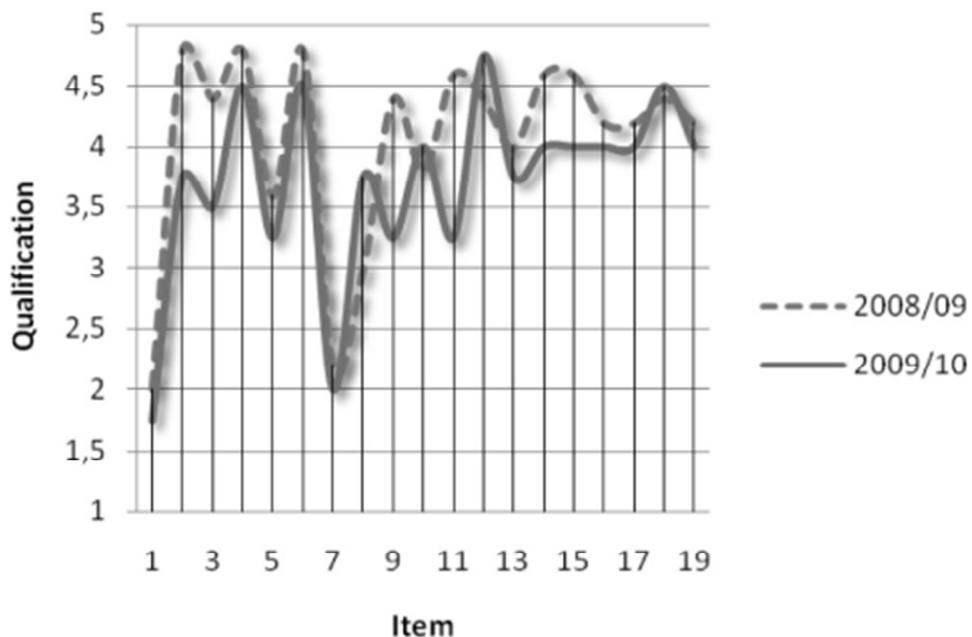
Figura 16 – Simulação do volume de trabalho de um robô de cinco eixos.



Fonte: (SANGUINO e MÁRQUEZ, 2012).

O simulador foi testado por 32 alunos e 14 professores entre os anos de 2008 e 2009 na matéria de robótica dos cursos de Engenharia da Computação e Engenharia Eletrônica. Um questionário composto de 17 perguntas com escalas de Likert foi usado para avaliar o simulador. A partir do questionário encontrou-se que: o nível inicial de conhecimento em robótica foi avaliado como baixo (questão 1); o uso do sistema favoreceu o ensino e aprendizagem de assuntos relacionados à robótica (questões de 2 a 7); a interface gráfica e facilidade no uso fomentaram uma aprendizagem rápida (questões de 8 a 12); um alto grau de satisfação (questões de 13 a 16) e uma boa pontuação na avaliação geral (questão 17). Outra característica desta pesquisa foi a possibilidade de estudantes escolherem entre realizar os experimentos na universidade ou em casa, 57,15% dos alunos optaram por receber apoio de professores e ajuda de seus colegas de classe na universidade, porém 42,85% dos alunos usaram o software em casa. Após esta primeira aplicação, novos recursos foram adicionados ao simulador, a possibilidade de calcular superfícies e volumes de trajetórias em braços robóticos de 5 graus de liberdade. O sistema foi aplicado novamente entre os anos 2009 e 2010, desta vez 38 alunos e 14 professores participaram, o mesmo questionário de 17 questões foi utilizado para avaliar o sistema. Na Figura 17 é feita uma comparação da percepção dos estudantes nas duas versões do experimento, os autores concluem que ambas seguem a mesma tendência com pequenas variações.

Figura 17 – Comparação das notas obtidas na avaliação do sistema nas duas aplicações.



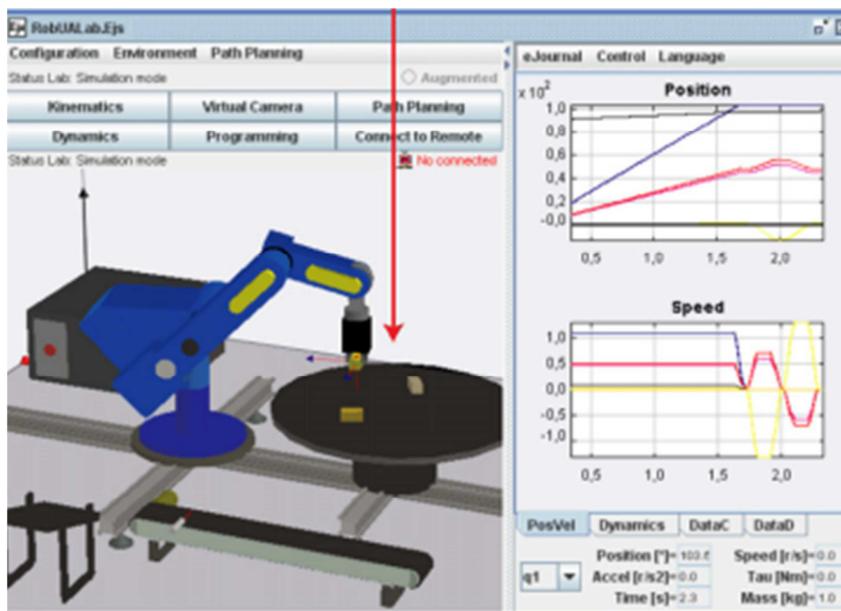
Fonte: (SANGUINO e MÁRQUEZ, 2012).

No segundo teste 56,52% dos estudantes optaram por fazer os exercícios no laboratório da universidade e 43,47% optaram por fazê-lo em casa. Desta pesquisa os autores concluem que o sistema desenvolvido alcançou seus objetivos de facilitar e tornar mais atrativo o processo ensino-aprendizagem de cinemática em braços robóticos antropomórficos.

3.1.8 Um Laboratório Virtual, Remoto e com Realidade Aumentada

Jara et. al. (2011 e 2012) afirmam que laboratórios virtuais deveriam ser usados como primeiro contato com sistemas robóticos e propõem um sistema integrado simulado e tele operado. Os autores desenvolveram o RobUALab e utilizaram-no numa abordagem BL entre os anos 2009 e 2010 no curso de Automação e Robótica a graduação em Engenharia de Ciência da Computação. RobUALab possui recursos de laboratório virtual, remoto e de realidade aumentada (AR) para simulação de um braço antropomórfico de 6 Graus de Liberdade com tarefas de *pick-and-place* e uma mesa rotativa (Fig. 18).

Figura 18 – Programação de uma tarefa de *pick-and-place* no RobUALab.



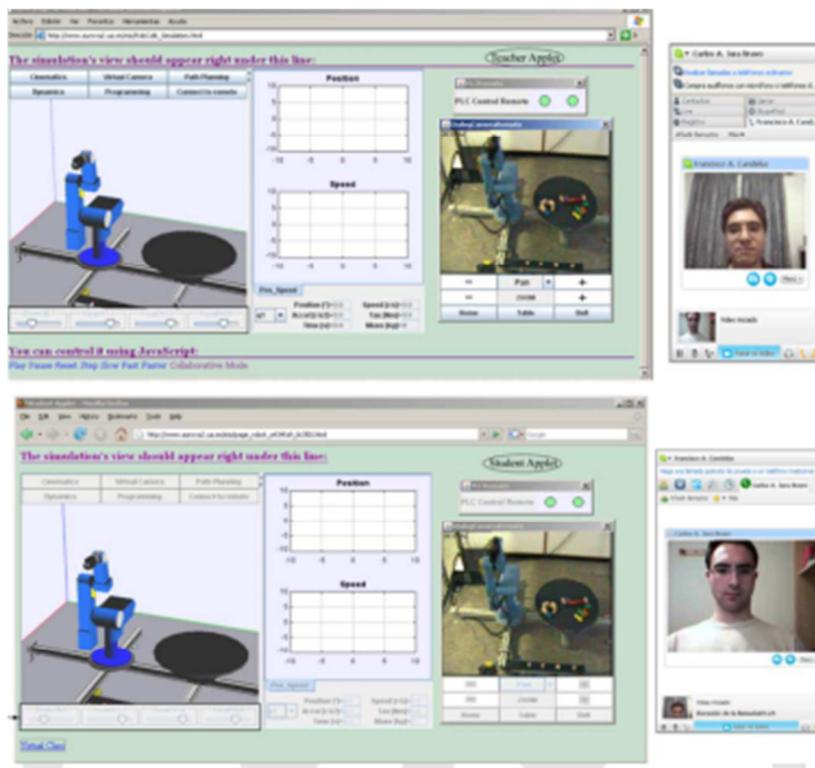
Fonte: (JARA et. al., 2011)

No contexto do uso do RobUALab uma abordagem *Blended Learning* foi aplicada na forma de aulas presenciais para leituras e problemas teóricos, seminários e aulas convencionais de tutoria, os exercícios práticos foram feitos a partir do simulador. Os exercícios práticos foram organizados em quatro experiências utilizando as versões remota e simulada dos laboratórios. Com os primeiros exercícios envolvendo conceitos teóricos como cinemática, planejamento de trajetória, dinâmica e programação. Um total de 50 estudantes

usaram o sistema e receberam um questionário com 19 questões em escalas Likert sobre satisfação.

A pesquisa registrou que 36% dos alunos estavam completamente satisfeitos com o sistema, 46% estavam satisfeitos, 52% julgavam que a metodologia utilizada foi melhor que os métodos tradicionais de ensino. Segundo 90% dos alunos, o sistema foi fácil de usar, 38% e 30% consideraram a qualidade do sistema boa e muito boa respectivamente. 80% considerou o sistema apropriado para a aprendizagem de conceitos relevantes. Para 44% a fonte mais importante de conhecimento foram as questões feitas ao professor, 22% considerou a simulação como mais importante e para 14% dos estudantes a fonte mais importante de conhecimento foi a participação presencial no laboratório. Utilizou-se uma ferramenta chama Easy Java Simulations (EJS) para adicionar o recurso de colaboração remota síncrona (RSC) entre o professor e os alunos (Fig. 19).

Figura 19 – Visão da interface colaborativa no RobUALab.EJS.



Fonte: (JARA et. al., 2012)

O sistema foi novamente aplicado aos alunos do curso de Engenharia de Ciência da Computação, nas matérias de Processos de Controle Computadorizados e de Sistemas Sensoriais e Robôs, num total de 25 estudantes. A metodologia de aplicação foi dividida em aulas práticas na universidade e aulas práticas online. Durante as aulas presenciais os alunos

tiveram a oportunidade de entender o funcionamento do sistema e sanar quaisquer dúvidas que tivessem. Durante a aula *online* os professores ajudaram os alunos a utilizarem o RSC para operar o robô e Skype para videoconferência.

Depois das aulas, os estudantes responderam um questionário de 9 questões divididas em três tópicos: três questões sobre a adequação do sistema ao ensino de conceitos relevantes de robótica e controle; três questões sobre a funcionalidade do RSC; e três questões sobre a eficiência do RSC no processo de aprendizagem. O questionário resultou em 64%, 52% e 48% plenamente satisfeitos com o sistema em relação aos três tópicos pesquisados, adequação do sistema, funcionalidade e eficiência do RSC. Uma comparação entre o desempenho obtido com o uso do RSC e anos anteriores indicaram um aumento de 13% no número de estudantes que alcançaram nota A e um aumento de 9% com relação à nota B.

3.1.9 Uma plataforma integrada de simulação

Vargas et. al. (2011) desenvolveram uma estrutura completa de laboratórios *online* de controle e automação chamada de Automatl@bs (Fig. 20), esta estrutura foi utilizada para integrar sob o mesmo domínio os laboratórios remotos e virtuais.

Figura 20 – *Homepage* do Automatl@bs.

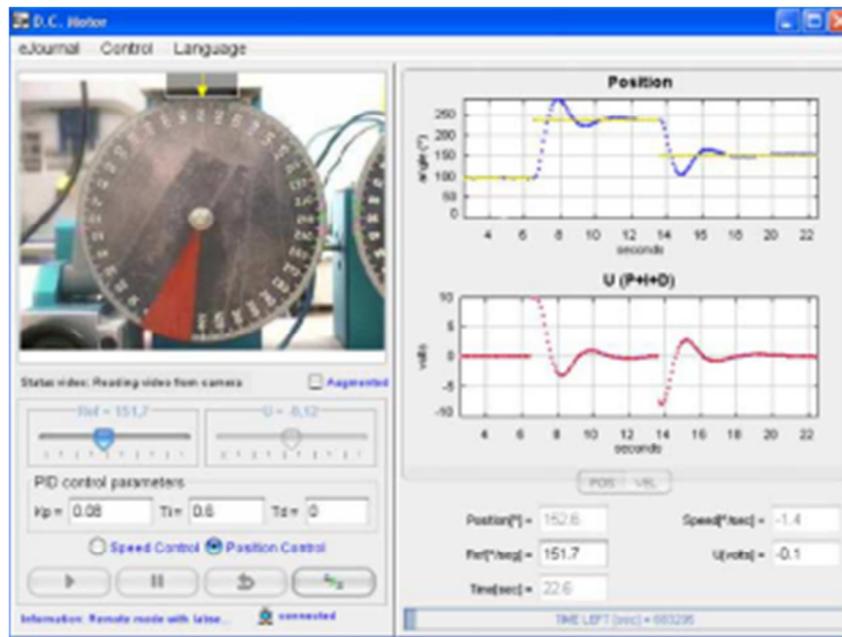


Fonte: (VARGAS et. al., 2011)

Estão disponíveis as estações de controle de níveis de tanque, motores (Fig. 21), de fluxo de calor e o RobUALab. Um total de 120 estudantes de sete universidades, que fazem parte do projeto, usaram o sistema. O teste foi dividido em duas fases: na primeira chamada de Pre-labs, os estudantes receberam aulas de como usar o sistema até que eles pudessem utilizá-lo com fluência; na segunda fase, chamada Labs, os estudantes receberam acesso aos

laboratórios virtuais para execução de tarefas de programação. Uma vez que a performance dos alunos no laboratório virtual é avaliada satisfatoriamente pelos professores é liberado o acesso aos laboratórios remotos.

Figura 21 – Visão do laboratório de controle remoto de motores.



Fonte: (VARGAS et. al., 2011)

Para se obter um retorno dos alunos com relação à sua experiência de aprendizado foi aplicado um questionário muito similar àquele aplicado por Jara et. al. (2011), composto por cinco questões sobre a qualidade técnica e estrutural do sistema, e cinco questões sobre usabilidade e aprendizagem. O questionário apontou que 19% dos estudantes ficaram satisfeitos e 69% ficaram muito satisfeitos com o sistema, para 33% dos estudantes o laboratório virtual é muito bom, 48% pensam que é bom e aceitável para 15% dos estudantes.

Sobre o laboratório remoto, 25% dos usuários o avaliou como muito bom, enquanto que 38% avaliou como bom, 25% como aceitável, 10% como ruim e 2% como muito ruim. Na opinião dos estudantes a fonte mais importante e conhecimento foram as questões ao professor (44%), a simulação (27%), a documentação do sistema (18%) e acesso aos laboratórios remotos (11%). Segundo os autores as avaliações negativas com relação à alguns pontos do sistema se devem ao fato de que os estudantes não tiveram oportunidade de trabalhar com os equipamentos reais, e sugerem que o uso de BL deveria ser aplicada, dando aos estudantes um primeiro contato com os equipamentos antes de acessarem os laboratórios virtuais e remotos. Os autores também indicam que uma provável explicação para a

insatisfação com relação aos laboratórios remotos foi a baixa qualidade de conexão com a internet, muito alunos reportaram lentidão com relação ao sistema. Finalmente os autores concluem que a documentação e as instruções dos professores são essenciais para uma boa aprendizagem.

3.2 DISCUSSÃO

Nas próximas subseções os recursos educacionais e as metodologias de avaliação são resumidos e discutidos afim de atender aos objetivos desta revisão bibliográfica.

3.2.1 Dos Recursos Educacionais

A Tabela 4 apresenta os recursos educacionais (EF) de cada simulador e a respectiva metodologia de avaliação utilizada, pode-se observar como os recursos educacionais estão distribuídos entre os diferentes sistemas. Os simuladores estão ordenados por quantidade de recursos (TEF) e os recursos educacionais (EF) estão ordenados por importância, considerando-se a quantidade de vezes que se repete através dos sistemas.

Tabela 4 – Recursos educacionais presentes nos simuladores.

Simulador	FK	T	S	P	M	IK	D	C	RCS	AR	I	TWS	Mdtr	Total
V-ROLE	•	•											•	3
VRRL	•	•		•										3
3D-RAS	•				•	•						•		4
BOR	•	•	•					•			•			5
IRSTS	•	•	•	•	•									5
VCIMLAB	•	•	•	•			•							5
SGRobot	•	•	•	•	•	•								6
RobUALab. EJS	•	•	•		•	•			•					6
RobUALab	•	•	•	•	•		•	•		•				8
AutomatL@ BS	•	•	•	•		•	•		•	•				8
Total	10	8	7	7	6	5	4	2	2	2	1	1	1	

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

O único recurso presente em todos os sistemas foi a cinemática direta (FK). Outros recursos presentes na maioria dos sistemas foram: tarefas pré-definidas, por exemplo, *pick-and-place* ou soldagem (T); a possibilidade de interação do robô com objetos no ambiente (Scene); e a possibilidade de programar o braço robótico (P). Os demais recursos identificados foram: ambientes virtuais imersivos com uso de óculos de realidade virtual (I);

cinemática inversa (IK); modelagem dinâmica para simulação do robô (D); detecção de colisão (C); simulação de volume de trabalho e de trajetória (TWS), colaboração remota síncrona entre professor e aluno (RSC); uso de realidade aumentada (AR); e possibilidade de modelar o robô e a célula de trabalho (M).

Dos dados apresentados na Tabela 4, pode-se observar que alguns recursos podem ser considerados essenciais dado a frequência com que são encontrados nos diversos simuladores. Os recursos mais importantes são a cinemática direta, tarefas pré-definidas, interação entre o robô e diferentes objetos, possibilidade de programação do braço robótico, possibilidade de modelar o robô e a célula de trabalho, cinemática inversa e dinâmica, este grupo pode ser considerado como uma coleção de recursos essenciais a um simulador de robótica educacional. Entretanto nenhum dos simuladores apresentados possuem todos estes recursos, indicando uma possibilidade para futuro desenvolvimento de simulador educacional. A Tabela 4 também compara os simuladores encontrados nesta revisão da literatura com o V-ROLE (*Virtual Robotics Learning Environment*) desenvolvido pelo autor e detalhado adiante. Alguns recursos são exclusividade como o TWS desenvolvido no trabalho de Sanguino et. al. (2012), o ambiente imersivo de Matsas et. al. (2013) e os Modos de Treinamento (Mdtr) do V-ROLE.

3.2.2 Da Avaliação do Impacto Educacional

Esta PBS encontrou basicamente dois tipos de métodos de avaliação, a saber, avaliações de satisfação ou usabilidade e avaliações de desempenho. A maioria dos testes de usabilidade ou satisfação não seguiram um padrão, ou ainda, a metodologia aplicada não foi mencionada no artigo.

Existiram, entretanto, duas exceções, o TORRA aplicado pelo Lee et. al. (2013) e o SUMI (HASHEMIPOUR et. al., 2011). O questionário usado no TORRA foi adaptado do TOSRA, um questionário de 70 questões utilizando escalas de Likert, desenvolvido por Fraser em 1978 com objetivo de avaliar atitudes como satisfação com relação as aulas de ciências, interesse recreativo, e interesse profissional em relação às ciências. O TORRA tem por objetivo de medir atitudes de negociação, IL, pensamento reflexivo, relevância e desafio através de 38 questões com escalas de Likert. O SUMI foi publicado em 1993, contendo 50 questões com escala de Likert com objetivo de avaliar influência, utilidade, controle e aprendizagem.

Ambos, SUMI e TORRA possuem estudos de validação publicados. Os demais autores desenvolveram seus questionários baseando-se somente em seus conhecimentos e

experiência na área de educação para avaliar satisfação e usabilidade. Quanto aos autores que utilizaram o desempenho para avaliar o impacto educacional dos simuladores somente o trabalho de Tzafestas et. al. (2006) desenvolveu uma metodologia sistemática baseada em pontuações dos erros cometidos durante os exercícios, os demais basearam-se nas notas dos alunos e em avaliações informais feitas pelos alunos durante o uso das ferramentas.

Portanto, dos 10 trabalhos selecionados, 10 utilizaram questionários, conclui-se que questionários com escalas de Likert é o método de avaliação mais popular entre os autores estudados.

3.3 CONCLUSÕES DA REVISÃO DA LITERATURA

Para esta revisão bibliográfica foi realizada uma PBS em sete MBA resultando em 794 artigos no contexto de simuladores robóticos educacionais. Depois de todas etapas de filtragem e da inclusão de artigos ad hoc, 10 trabalhos foram selecionados. Estes trabalhos tratavam-se, de fato, de estudos sobre o uso de simuladores robóticos como ferramentas educacionais.

Foram identificados os recursos educacionais oferecidos e as metodologias de avaliação empregadas: Observou-se que ambientes 3D e cinemática direta são recursos sempre presentes. Outros recursos presentes na maioria dos sistemas foram: tarefas pré-definidas; cenários com objetos que interagem com o robô; programação, modelagem do robô e cinemática inversa. Entretanto os mais completos simuladores apresentaram somente dois terços destes recursos.

O uso de questionários foi a metodologia de avaliação mais frequente entre os artigos. Estes questionários foram utilizados para avaliar vários aspectos como satisfação e usabilidade. Outros aspectos avaliados foram o desempenho na operação de um robô real, adequação do simulador aos objetivos educacionais, avaliações de conhecimento, aprendizagem e diversão. De modo geral é consenso entre os autores revisados que o uso de simuladores deve ser favorecido em relação à abordagem convencional, ou pelo menos apresentados como forma opcional de complementar os cursos. De modo geral os autores não enquadraram suas abordagens em relação às teorias pedagógicas e às abordagens didáticas.

4 CURSO DE ROBÓTICA COM USO DE SIMULADOR

Dentre todos os trabalhos encontrados na PBS poucos foram aqueles que avaliaram o impacto de simuladores na educação e apenas os trabalhos de Lee et. al. (2013) e de Jara et. al. (2011) enquadraram-se em alguma abordagem didática. Portanto foi desenvolvido para este trabalho um ambiente de simulação para ensino de robótica que implementasse os Modos de Treinamento para ser aplicado no curso de robótica.

4.1 A BREVE HISTÓRIA DO SHORT

O primeiro sistema a ser desenvolvido para ser aplicado neste trabalho foi chamado de *Skill Space and Hierarchical Online Robot Tasks* (SHORT), que utilizou como base o simulador *Robotics Learning Environment* (ROLE, Busarello Junior et. al., 2012). Além de já possuir tarefas estruturadas em Matrizes de Espaço de Habilidades (Fig. 2) foram implementados três Modos de Treinamento. Portanto o SHORT representava a integração do ROLE à um LMS que apresentava o conteúdo textual introdutório de robótica, e avaliava os estudantes a partir de exercícios e provas para finalmente utilizar o ROLE como aula prática de aplicação de conhecimentos.

O SHORT (BUSARELLO JUNIOR, 2015), entretanto, não estava completamente implementado. A gestão de turmas, por exemplo, era feita manualmente por Busarello através de um banco de dados hospedado em seu servidor pessoal. Além disso o ROLE ainda apresentava instabilidades em seu funcionamento e seu código não foi documentado, dificultando qualquer tipo de alteração em sua programação. Todos estes detalhes levaram o autor deste trabalho a propor outra solução, como será apresentado a seguir.

4.2 PROPOSTA DE CURSO

Para que fossem definidos os conteúdos e a estrutura do curso de robótica que seria utilizado foi realizada uma pesquisa nas grades curriculares de cursos de robótica industrial em universidades e escolas técnicas. A Tabela 5 contém dados sobre esta pesquisa, de outubro de 2014. Como pode-se observar tópicos sobre a estrutura física de robôs é uma unanimidade entre os cursos pesquisados, por outro lado apenas três instituições apresentam informações sobre o histórico de desenvolvimento de manipuladores industriais. Outros tópicos importantes são a cinemática e a programação, é importante notar que apenas cinco instituições já haviam incorporado o uso de simuladores em sua grade curricular.

Tabela 5 – Resultados da Pesquisa em Cursos de Robótica

Instituição	Anatomia	Programação	Cinemática	Dinâmica	Simulação	Histórico
C. Mellon Uni.	•		•			
CSAIL MIT	•		•	•		
Educa Brasil	•	•			•	
ETE LG	•	•			•	
Harvard	•	•	•	•	•	
MIT	•	•	•	•	•	
Senai Campi	•	•				•
Senai EAD	•	•			•	
Standford	•	•	•	•		
UFRGS	•	•				•
UFSC	•	•	•	•		
UNICAMP	•	•	•	•		
UDESC - CCT	•	•	•	•	•	•
Total	13	11	8	7	6	3

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

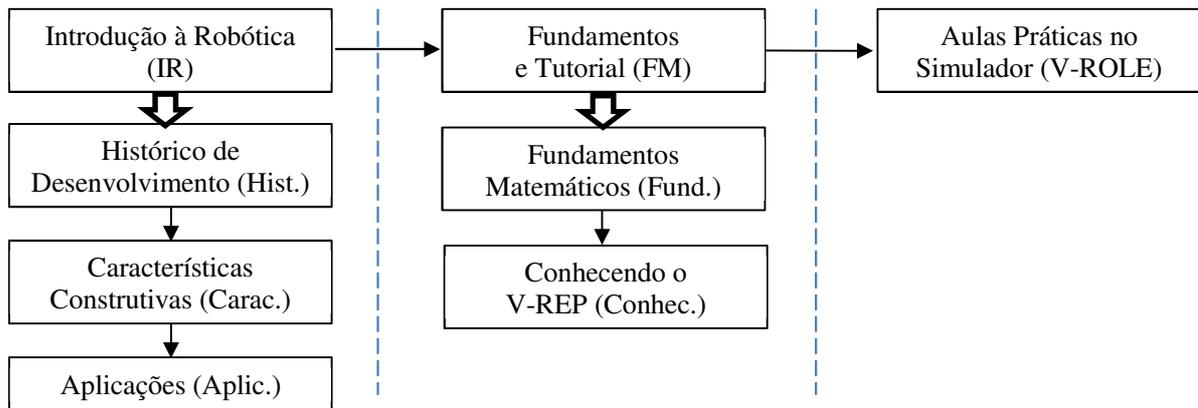
Devido às limitações de tempo e ao perfil dos usuários não houve aprofundamento nas questões matemáticas que envolvem o estudo de cinemática dos robôs como Matrizes de Transformação Homogênea e Jacobiana, também não foram incluídos tópicos sobre programação e dinâmica.

4.2.1 Estrutura do Curso

A Figura 22 mostra a estrutura do curso que está dividido em três módulos. O primeiro módulo de Introdução à Robótica contém três capítulos, o segundo módulo de Fundamentos e Tutorial possui dois capítulos. O primeiro capítulo do módulo introdutório trata-se de um breve relato sobre o histórico de desenvolvimento da robótica industrial, iniciando por seus antecessores na antiga Grécia, os autômatos, passando pelos manipuladores tele operados na década de 50 até chegar nos modernos robôs humanoides. Este primeiro capítulo é pré-requisito para o capítulo de Características Construtivas, neste capítulo são feitas definições sobre robótica fixa, robótica móvel e robótica industrial.

O capítulo chamado de Características Construtivas é pré-requisito para o capítulo de Aplicações, nele são abordados assuntos referentes às diferentes gerações de robôs, anatomia, definição de elos, definição e tipos de juntas, graus de liberdade, tipologia de manipuladores, volume de trabalho, órgão terminal, atuadores e sensores. No capítulo de Aplicações são abordadas vantagens e desvantagens do uso de robôs em processos industriais de pintura, solda e paletização, ao fim deste capítulo o aluno estará pronto para o segundo módulo.

Figura 22 – Proposta de estrutura do curso de robótica.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

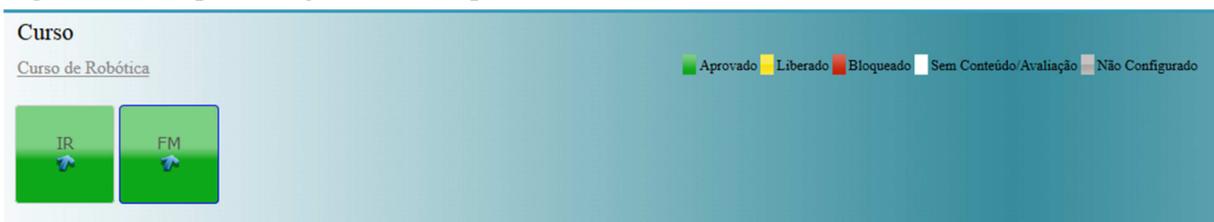
É no primeiro capítulo do segundo módulo que o aluno se familiarizará com conceitos básicos de Sistemas de Coordenadas, Cinemática Direta e Cinemática Inversa. São apresentados à título de informação as Matrizes de Transformação Homogênea e o Algoritmo de Denavit-Hartenberg, porém sem se aprofundar em exemplos e resolução de cálculos. O último capítulo do segundo módulo é um tutorial do simulador com informações sobre o funcionamento do programa, execução das tarefas e preenchimento do roteiro experimental. Este capítulo é essencial para um bom desempenho no terceiro módulo. O terceiro módulo do curso é uma aula prática presencial na qual o aluno recebe um roteiro experimental para ser preenchido com informações sobre a estrutura do robô, alcances e seu volume de trabalho.

4.3 MEH²-RECE

4.3.1 Estruturação do Curso no MEH²-RECE

O MEH²-RECE é um LMS desenvolvido por Batista et. al. (2014), o principal diferencial deste sistema é a possibilidade de estruturação de conteúdo em Matrizes de Espaço de Habilidades e em Estrutura Hierárquica de diferentes níveis (Fig. 8). O curso de robótica foi estruturado no MEH²-RECE com dois átomos representando os dois primeiros módulos (Fig. 23).

Figura 23 – Representação dos dois primeiros módulos do curso no MEH²-RECE.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Dentro do primeiro átomo os capítulos foram inseridos em uma Estrutura Hierárquica de três capítulos, a Figura 24 ilustra a implementação desta estrutura no sistema.

Figura 24 – Representação dos três capítulos do primeiro módulo no MEH²-RECE.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Analogamente no segundo átomo foi construída uma Estrutura Hierárquica de dois capítulos, a Figura 25 ilustra a implementação desta estrutura no sistema.

Figura 25 – Representação dos dois capítulos do segundo módulo no MEH²-RECE.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quando um capítulo é selecionado o sistema apresenta o conteúdo para leitura, a Figura 26 apresenta um exemplo de conteúdo para leitura no MEH²-RECE.

Figura 26 – Apresentação de conteúdo no MEH²-RECE.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Ao fim de cada capítulo o aprendiz é apresentado a um teste de conhecimento (Fig. 27) e caso seu rendimento final seja menor que 6,5 alguma avaliação deverá ser refeita. O MEH²-RECE é um LMS, portanto o aprendiz tem a possibilidade de realizar todas as atividades relacionadas aos dois primeiros módulos em casa, desde que tenha um computador com acesso à internet. Desde registro no sistema, leituras e avaliações foram previstos 100min para finalizar os dois primeiros módulos do curso utilizando o MEH²-RECE.

Figura 27 – Apresentação de avaliação de conhecimento no MEH²-RECE.

The screenshot displays the MEH²-RECE LMS interface. At the top, there is a navigation bar with 'Home', 'MEH²-RECE', and 'Glossário'. The user is logged in as 'Jonatas.teixeira'. The main content area shows a quiz question: 'Pergunta: Para que seja possível controlar o manipulador é preciso um modelo geométrico que descreva as coordenadas espaciais da garra em função dos deslocamentos angulares das juntas e das dimensões dos elos. Um dos conceitos relacionados a modelagem geométrica é o de sistemas de coordenadas. Com relação aos sistemas de coordenadas é correto afirmar:'. Below the question are three radio button options: 'Com apenas dois sistemas de coordenadas, um fixado na base, e outro fixado na garra, é possível modelar completamente um manipulador que possua cinco elos e quatro juntas.', 'Os sistemas de coordenadas são utilizados para a partir de um ponto de referência chamado de origem do sistema possam ser atribuídas coordenadas a um ponto arbitrário.', and 'Apenas o sistema de coordenadas esférico é utilizado em modelagem geométrica de robôs por melhor se ajustar ao volume de trabalho da maioria dos manipuladores.'. Below the options is another question: 'Pergunta: Matrizes de Transformação Homogênea (MTH) são utilizadas para fazer a transposição das coordenadas de um ponto com relação a um sistema de coordenadas qualquer para outro até o sistema de coordenadas da base do manipulador. Com relação às MTH é correto afirmar:'. The options for this question are 'As MTH não são utilizadas na computação da cinemática direta' and 'As MTH são utilizadas na computação da cinemática direta'.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

4.3.2 Criação de Contas, Participação em Curso e Gestão de Turmas

Para utilizar o MEH²-RECE é preciso possuir uma conta de e-mail ativa e preencher o formulário de cadastro conforme a Figura 28. Após o preenchimento do formulário o usuário receberá um e-mail de confirmação de ativação de conta.

Figura 28 – Formulário de cadastro no MEH²-RECE.

The screenshot shows the 'Novo Usuário' registration form. It includes a dropdown menu for 'Tipo de Usuário' set to 'aluno'. Below this are input fields for 'Login:', 'Nome:', 'Senha:', 'Confirmação:', and 'E-mail:'. A 'Salvar' button is located at the bottom of the form.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

A partir da ativação da conta o aluno terá acesso à uma lista de cursos disponíveis no MEH²-RECE e solicitar sua participação em um dos cursos existentes, conforme ilustra a Figura 29. A participação no curso é liberada via sistema pelos professores responsáveis pelo curso.

Figura 29 – Lista de cursos no MEH²-RECE.

MEH²-RECE
Modelo de Espaços de Habilidades e Estruturas Hierárquicas na Representação de Conteúdos Educacionais

Home MEH²-RECE Glossário

Olá **jonatas.tetxeira**

VISÃO APRENDIZ
Minha Conta
Participar em Cursos

VISÃO AUTORIA
Criar Curso
Alterar Cursos
Excluir Cursos
Gerenciar Tarefas

GESTÃO DE TURMA
Acompanhar Cursos
Autorização de Matrícula

SAIR

Cursos que já participe:

Descrição	Objetivo	Turma	Situação
Curso de Robótica	Disponibilizar aos alunos um curso de robótica à distância.	A	Em andamento

Participar do curso de:

Descrição	Objetivo	Co-autor	Professor
Curso Básico de SQL (DDL e DML)	Reforçar o aprendizado de alunos da UDESC referente a SQL, dando condições para se iniciar na linha	Solicitar	Iecram
Gestão de Recursos H	O minicurso Gestão de Recursos Humanos tem por finalidade selecionar, gerir e nortear os colaborador	Solicitar	Tommy
Gestão de Recursos H	Apresentar e praticar todos os conceitos envolvidos nos processos de recursos humanos.	Solicitar	Lucas Simões de Carvalho
Gestão de Recursos Humanos	O minicurso Gestão de Recursos Humanos tem por finalidade selecionar, gerir e nortear os colaborador	Solicitar	Tommy
Gestão de Recursos Humanos (Bloqueado)	O minicurso Gestão de Recursos Humanos tem por finalidade selecionar, gerir e nortear os colaborador		daniel
Gestão de RH (Bloqueado)	O minicurso Gestão de Recursos Humanos tem por finalidade selecionar, gerir e nortear os colaborador		instrutor_03

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

A Figura 30 ilustra a tela de Autorização de Matrícula onde estão disponíveis informações como nome, se é um aluno para participar do curso ou um professor e a situação.

Figura 30 – Tela de Autorização de Matrícula no Curso de Robótica do MEH²-RECE.

MEH²-RECE
Modelo de Espaços de Habilidades e Estruturas Hierárquicas na Representação de Conteúdos Educacionais

Home MEH²-RECE Glossário

Olá **jonatas.tetxeira**

VISÃO APRENDIZ
Minha Conta
Participar em Cursos

VISÃO AUTORIA
Criar Curso
Alterar Cursos
Excluir Cursos
Gerenciar Tarefas

GESTÃO DE TURMA
Acompanhar Cursos
Autorização de Matrícula

SAIR

Autorização de Matrícula

Procurar:

Nome	Tipo	Curso	Situação	Matricula/Co-Autoria
	Professor	Curso de Robótica	Co-Autoria Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Professor	Curso de Robótica	Co-Autoria Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar
	Aluno	Curso de Robótica	Matrícula Autorizada	Autorizar Rejeitar

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Um professor pode solicitar matrícula como coautor do curso para que possa autorizar matrículas e acompanhar o desempenho dos estudantes. Os nomes dos participantes foram omitidos por razões de sigilo dos dados. A Figura 31 ilustra o acompanhamento de desempenho de um dos estudantes de robótica cujo nome foi omitido nesta imagem. Caso a média final seja inferior a 6,5 o sistema fica impossibilitado de emitir certificado até que alguma avaliação seja refeita e a média alcance o desempenho mínimo.

Figura 31 – Exemplo de Acompanhamento do Curso de Robótica do MEH²-RECE.

Prova	Nota
Histórico	3.33
Características	1.67
Aplicações	10
Fundamentos Matemáticos	1.5
Conhecendo o ROLE_V-REP	1.5

Média Final: 3,6

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Por todas estas funcionalidades e por sua disponibilidade aos estudantes da UDESC e de outras instituições o MEH²-RECE foi utilizado como ferramenta LMS para esta pesquisa.

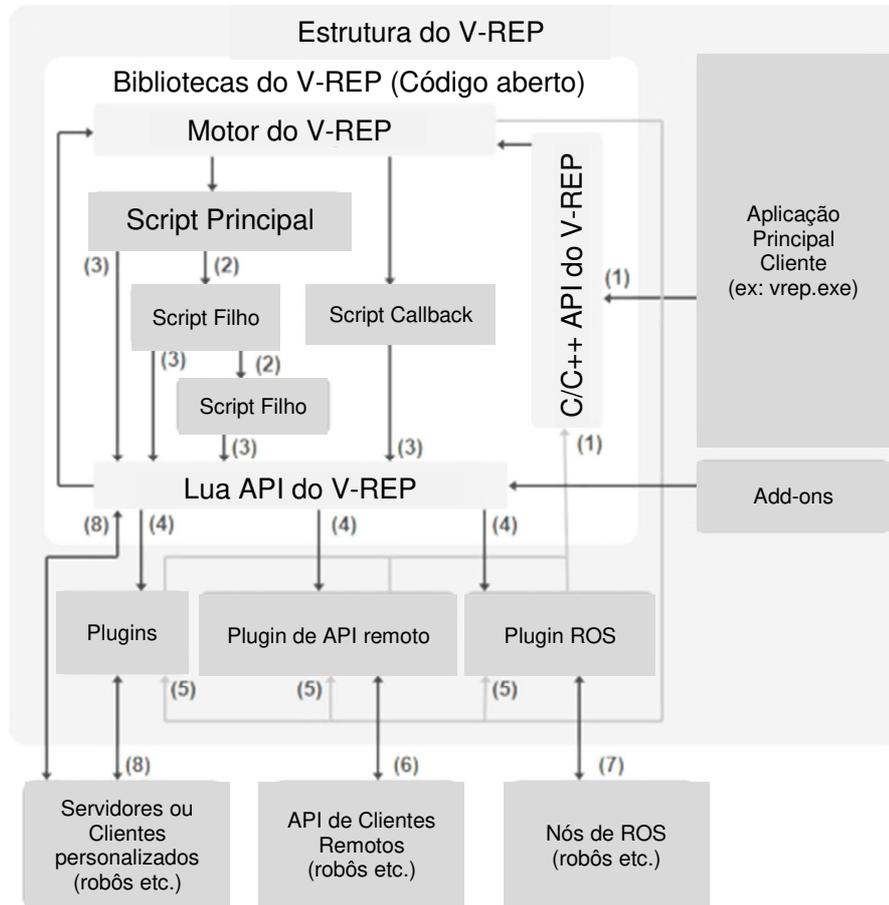
4.4 V-REP

Devido aos problemas técnicos encontrados no SHORT e no ROLE foi necessário estudar uma nova proposta de simulador para ser utilizado nesta pesquisa. Foi feita uma busca por simuladores que pudessem ser utilizados de imediato. Sem a necessidade de pedir permissão aos desenvolvedores ou passar por algum protocolo para requerer uso, pois acarretaria atrasos na conclusão deste trabalho. Pois seria necessário total acesso aos dados de uso e ao código fonte caso fosse necessária alguma alteração. Nenhuma dos sistemas selecionados pela PBS atendiam a estes critérios, entretanto um dos artigos que não foi selecionado por não avaliar o efeito do simulador no processo de ensino atendia a estes critérios. Trata-se do artigo publicado por Rohmer et al. (2013) no qual é apresentado o sistema chamado *Virtual Robot Experimentation Platform (V-REP)*.

O diferencial do V-REP é sua proposta de simulador genérico que pode ser personalizado de acordo com as necessidades do usuário além de possibilitar diferentes formas de customização via *Embedd Scripts, Plugins, Add-ons* e comunicação remota com

servidores, robôs e etc. A Figura 32 ilustra a arquitetura do V-REP e as diferentes possibilidades de customização disponíveis.

Figura 32 – Arquitetura de controle do V-REP.

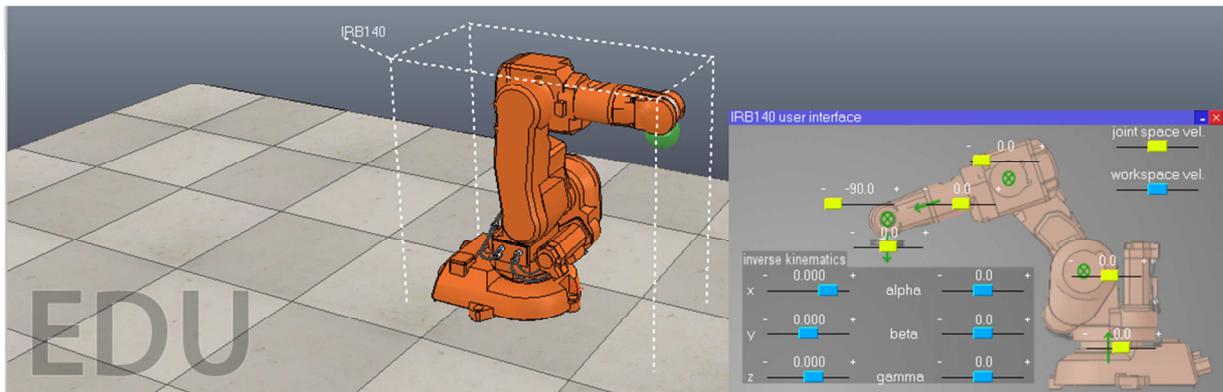


Fonte: (ROHMER et al., 2013)

Todas estas possibilidades de complementação e customização do V-REP lhe conferem potencial como ferramenta educacional para futuros projetos, como integração do V-REP à um LMS a partir de *Plugins* e clientes *Application Programming Interface* remotos. Além de todos os recursos disponíveis outro motivo para utilizar o V-REP foi a versão educacional completa gratuita do programa, que disponibiliza o código fonte com todas as bibliotecas usadas tendo como limitação somente um termo de não remoção da marca d'água "EDU" do software em sua licença de uso. A versão educacional completa só foi utilizada para desenvolvimento de um cenário com interfaces para os Modos de Treinamento, nos computadores a serem utilizados pelos estudantes basta instalar a versão *Player* do software, cujo instalador possui apenas 50MB e não exibe marca d'água.

Por possuir apenas conhecimentos básicos em Tecnologia da Informação o autor optou pela customização via *Embedd Scripts* por ser mais simples e não exigir configuração de portas, protocolos de comunicação e programação de *Application Programming Interface* ou *Plugins*. A versão completa do V-REP conta com uma biblioteca de robôs com interface básica de controle de cinemática direta e inversa e um *Script* padrão com chamada de funções para cálculos de cinemática e dinâmica do robô, a partir da qual é possível criar complexos cenários de simulação. Dentre os robôs disponíveis foi escolhido o IRB140 da ABB por ser comumente encontrado em indústrias e laboratórios de universidades e escolas técnicas. A Figura 33 ilustra o cenário padrão do V-REP e o robô IBR140 com sua interface de controle padrão.

Figura 33 – IBR140 e sua interface de controle padrão no V-REP.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Este foi o início do *Virtual Robotics Learning Environment* (V-ROLE), nome dado em homenagem ao seu antecessor. O V-ROLE é portanto composto por tarefas robóticas de Cinemática Direta apresentadas em de três Modos de Treinamento:

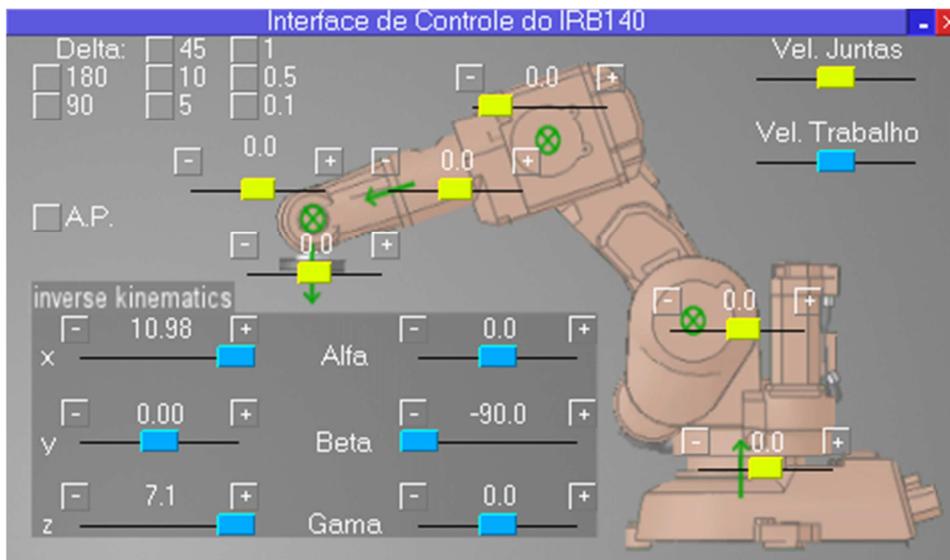
- Modo Demonstrativo;
- Modo Guiado;
- Modo Exploratório.

4.4.1 V-ROLE

O primeiro passo dado no desenvolvimento do V-ROLE foi a adaptação da janela de Interface de Controle do IRB140. Como pode ser observado na Figura 34 todo controle do robô é feito através de barras de rolagem, tanto nos controles de Cinemática Direta quanto de Cinemática Inversa, estes controles não seriam adequados à realização tarefas que exigem um posicionamento mais preciso das juntas. Portanto onde haviam indicações de “+” e “-” foram

inseridos botões de acréscimo e decréscimo, tais botões exigiriam a definição de uma constante que servisse de passo para o movimento, foram então acrescentados botões com valores pré-definidos para a constante de movimento chamada de Delta. A Figura 34 ilustra a Interface de Controle do IRB140 depois destas alterações.

Figura 34 – Interface de Controle do IRB140 adaptada ao V-ROLE.



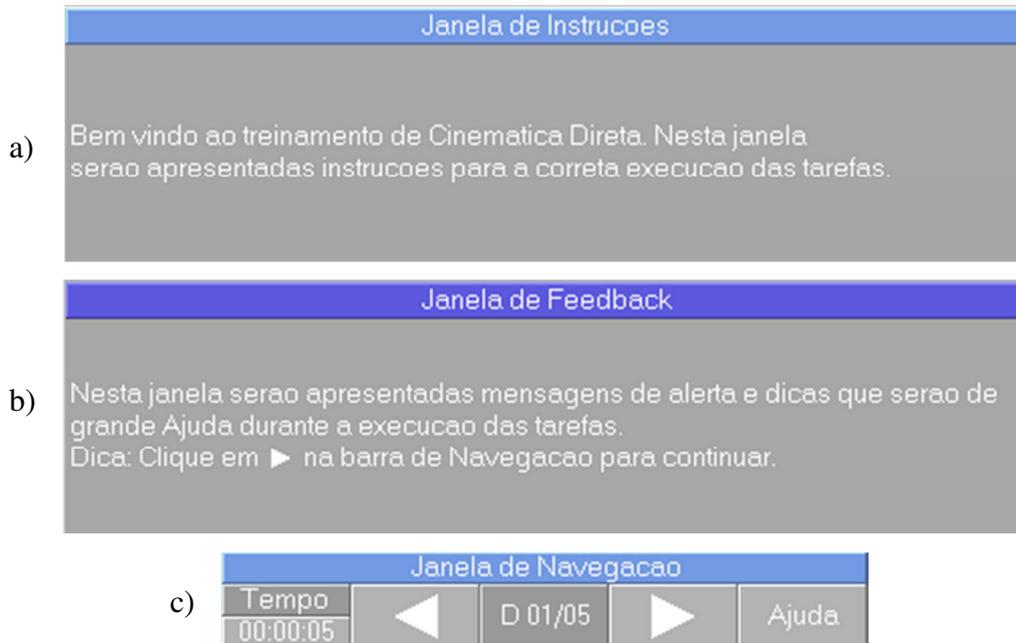
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Outra alteração importante foi a inclusão do botão de Alta Precisão (A.P.) que diminui o passo de interação da simulação, fazendo com que o IRB140 se mova mais lentamente e com maior precisão no movimento. Após a inclusão destes botões à interface de controle foram feitas alterações no código do *Script* padrão que acompanha esta interface para programar os controles destes novos botões sobre o IRB140. Finalizada esta etapa foram criadas três novas interfaces, a saber, Janela de Instruções, Janela de *Feedback* e Janela de Navegação.

É a partir das janelas de instruções e de *feedback* que o usuário recebe informações sobre o que fazer em cada etapa dos Modos de Treinamento, além de dicas para execução correta das tarefas. A Janela de Navegação é utilizada para navegar entre as etapas de um Modo de Treinamento e entre os diferentes modos, esta janela também possui um botão de ação utilizado durante o Modo Demonstrativo e Exploratório e um marcador de “Tempo”. Durante o Modo Demonstrativo este botão de ação da Janela de Navegação aparece sob o rótulo “Mover”, durante o Modo Exploratório aparece sob o rótulo “Testar”, durante o Modo Guiado aparece sob o rótulo “Ajuda”, porém não foi necessário implementar textos extras de

ajuda já que todas as instruções e dicas estão nas janelas de *feedback* e instruções. A Figura 35 ilustra estas três janelas.

Figura 35 – a) Janela de Instruções, b) Janela de Feedback, c) Janela de Navegação.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Depois de feitas as interfaces necessárias para a operação do V-ROLE foi criado um *Script* extra para programação dos textos, tratamento de erros e dos Modos de Treinamento.

4.4.2 Roteiro experimental

O Roteiro Experimental foi feito tendo como base o roteiro desenvolvido no Trabalho de Conclusão de Curso de Azevedo (2010), neste trabalho foi feita a aplicação do MEH ao a um simulador chamado VirBot4U, a partir desta aplicação passou a ser chamado de VirBot4EL. Uma versão atualizada deste mesmo roteiro foi utilizada no Trabalho de Conclusão de Curso de Busarello (2015) ao implementar os Modos de Treinamento no VirBot4EL, que passou a ser chamado de ROLE. O primeiro átomo do MEH implementado para tarefas robóticas era chamado de conhecendo o robô, para execução desta tarefa o aluno recebia um roteiro para preencher os parâmetros de alcances das juntas, os alcances máximos nos eixos, a dimensão dos elos do robô e seu volume de trabalho. Este roteiro foi adaptado ao V-ROLE alterando-se as imagens e a ordem de algumas tarefas para dispô-las em ordem crescente de complexidade.

Foram feitas duas versões de Roteiro Experimental, na versão simplificada o aluno deve encontrar o valor máximo de posição da segunda junta, o valor mínimo de posição da

terceira junta, o alcance máximo do IRB140 em relação ao eixo coordenado Y e a dimensão do braço do IRB140. Na versão completa o Roteiro Experimental possui vinte e duas lacunas correspondendo aos alcances máximos e mínimos das seis juntas, dos três eixos coordenados e as dimensões dos quatro elos do robô (Apêndice E). A versão completa possui ainda uma imagem em perspectiva do IRB140 na qual o aluno deve desenhar uma área hachurada que represente o volume de trabalho do IRB140 e um questionário de satisfação composto por seis perguntas. As versões completa e simplificada do Roteiro Experimental estão disponíveis no Apêndice D.

4.4.3 Modos de Treinamento no V-ROLE

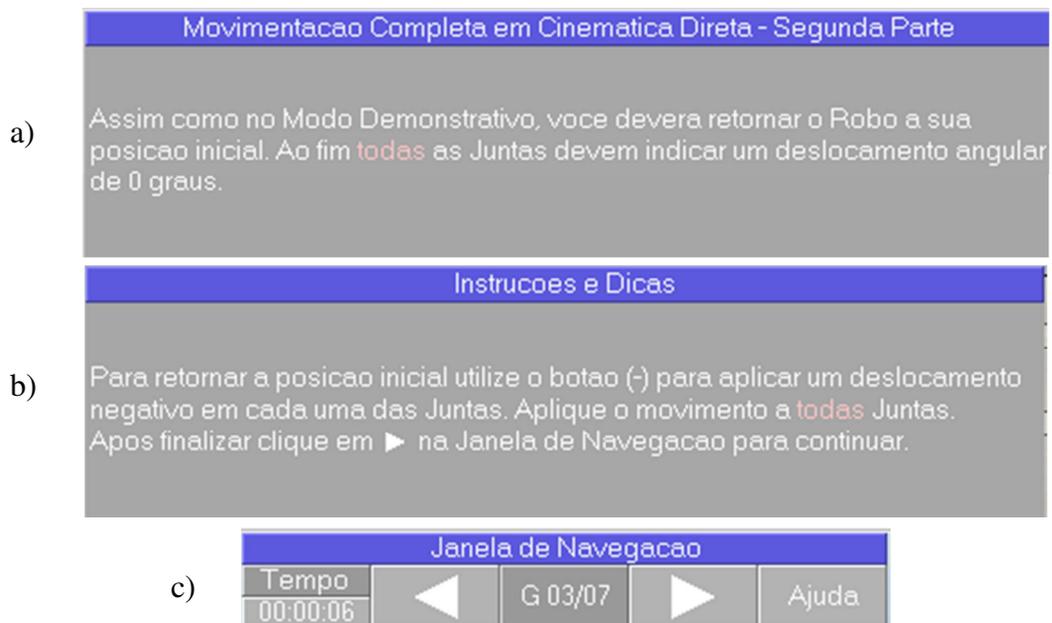
No Modo Demonstrativo o usuário recebe informações sobre como utilizar a Interface de Controle do IRB140 para executar as tarefas com sucesso, enquanto se familiariza com o funcionamento do V-ROLE. Este modo possui cinco etapas. A primeira etapa apresenta uma mensagem de boas-vindas e indica o objetivo de cada janela, as mensagens da Figura 35 correspondem à primeira etapa do Modo Demonstrativo. A segunda etapa apresenta uma breve introdução sobre os Modos de Treinamento e sobre o Modo Demonstrativo. Na terceira etapa são apresentadas informações sobre a Interface de Controle, sua utilidade e sua limitada interatividade durante o Modo Demonstrativo.

Na quarta etapa é apresentada uma animação automática de movimentação da primeira junta intercalando dois deslocamentos com Delta de 90° e dois deslocamentos com Delta de -90° , cada deslocamento deve ser acionado pelo usuário pressionando o botão “Mover” da Janela de Navegação, podendo ser repetidos infinitas vezes. Os botões da Interface de Controle do IRB140 são acionados automaticamente para demonstrar ao usuário quais botões controlam cada um dos movimentos. Na última etapa do Modo Demonstrativo é apresentada uma animação de movimentação de todas as juntas com um deslocamento Delta de 90° e posteriormente volta-se a posição inicial com um Delta de -90° em todas as juntas. O deslocamento aplicado a cada uma das juntas é ativado pelo usuário através do botão “Mover” da Janela de Navegação. Durante os deslocamentos são ativados automaticamente os respectivos botões da Interface de Controle do IRB140, indicando ao usuário quais botões utilizar para movimentar cada uma das juntas.

O Modo Guiado possui sete etapas, na primeira etapa o usuário recebe mais uma mensagem de boas-vindas e recebe informações sobre o início das interações com a Interface de Controle do IRB140, a partir deste modo os movimentos passam a ser executados pelo usuário a partir de sua interação com os botões da interface de controle. Na segunda etapa o

usuário é convidado a executar os deslocamentos com Delta de 90° realizados automaticamente na última etapa do Modo Demonstrativo. Na terceira etapa o usuário deverá fazer com que o IRB140 retorne à sua posição inicial utilizando deslocamentos em todas as juntas com Delta de -90°. Na quarta etapa o usuário é orientado como proceder para encontrar os valores máximos e mínimos de posição das duas primeiras juntas. Na quinta etapa o usuário é instruído na resolução da tarefa de encontrar os valores máximos e mínimos de alcance do IRB140 no eixo coordenado X. Na sexta e na sétima etapa o usuário recebe instruções sobre como encontrar as dimensões da base e do braço do IRB140 respectivamente. A Figura 36 ilustra as informações da terceira etapa do Modo Guiado.

Figura 36 – Janelas de a) Tarefas, b) Instruções e Dicas e c) Navegação no Modo Guiado.

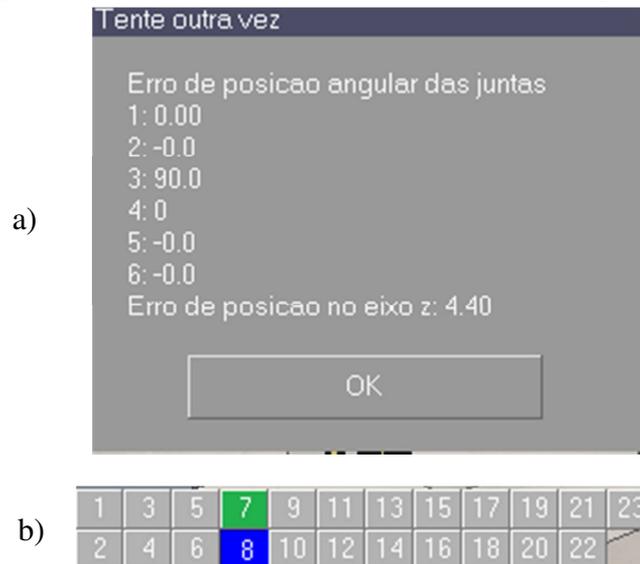


Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

No Modo Exploratório as únicas informações que o usuário recebe são as tarefas (Apêndice E) que deverão ser executadas para preencher o Roteiro Experimental, não há dicas ou instruções. Na versão simplificada o Modo Exploratório possui apenas quatro tarefas, na versão completa o Modo Exploratório contem vinte e três tarefas que correspondem à versão completa do Roteiro Experimental. Ao fim de cada tarefa o usuário deverá acionar o botão “Testar” da Janela de Navegação, caso a posição do robô esteja apropriada para resolver a tarefa o usuário recebe uma mensagem de parabenização e a respectiva numeração da Barra de Tarefas muda de cor ficando verde (Fig. 37.b), caso contrário é apresentada uma mensagem de erro (Fig. 37.a).

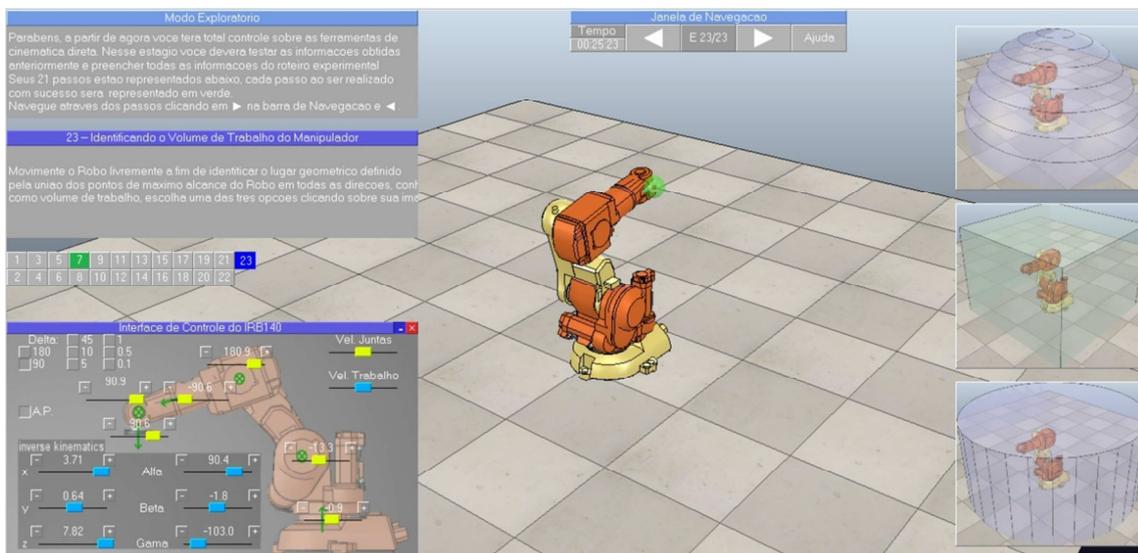
Na última tarefa da versão completa do Modo Exploratório o usuário deverá escolher entre três opções de Volume de Trabalho para o IRB140 clicando sobre a imagem de uma das opções, depois de feita a escolha as opções desaparecem (Fig. 38).

Figura 37 – a) Mensagem de erro e b) Barra de Tarefas no Modo Exploratório.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 38 – Identificação do Volume de Trabalho na última tarefa do Modo Exploratório.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

4.4.4 Relatório de Uso

Foi programado um relatório de uso que identifica as interações do usuário com a Interface de Controle do IRB140 durante o Modo Demonstrativo, durante este modo todas as interações são registradas. Durante o Modo Guiado são registradas somente as interações com

algum controle que não está habilitado durante aquela etapa. Durante a terceira etapa do Modo Guiado por exemplo apenas os controles de decréscimo “-” das juntas estão ativos, todos os demais controles estão desabilitados e caso o usuário tente utilizar outro controle receberá uma mensagem de erro dizendo “Oops, você apertou o botão errado, tente outra vez!”, esta interação será registrada no relatório de uso. O mesmo acontece no Modo Exploratório, porém apenas os controles de cinemática inversa estão desabilitados, uma informação extra registrada durante o Modo Exploratório são as tentativas de validação das tarefas a partir do botão “Testar”, se o aluno acertar na primeira tarefa será registrado o número 1, caso ele erre será registrado o número 2, assim sucessivamente até a tarefa de número 22, que registrará 44 se estiver errada ou 43 se estiver certa. Na tarefa de número 23 as três opções são registradas como 45, 46 e 48 sendo que neste caso 45 corresponde à alternativa correta. O Apêndice F contém uma tabela com o mapeamento de cada botão da Interface de Controle e os valores de erro e acerto das tarefas do Modo Exploratório. No Quadro 1 tem-se um exemplo de relatório de uso no qual o nome dos alunos foi substituído para preservar sua identidade:

Quadro 1 - Exemplo de relatório de uso gerado pelo V-ROLE.

```

ROLE.R5 11/16/16 18:54:39
Bruno e Marrone 123456789
D | G 00:03:02
-3001 G 02/07 00:00:34
-1001 G 04/07 00:02:50
-3005 G 06/07 00:05:57
G | E 00:07:27
-1 E 01/23 00:01:30
-3 E 02/23 00:03:14
-5 E 03/23 00:04:18
-7 E 04/23 00:05:26
-4002 E 05/23 00:08:12
-2001 E 05/23 00:08:15
-10 E 05/23 00:11:49
-10 E 05/23 00:12:20
-10 E 05/23 00:12:23
...
-45 E 23/23 00:45:22

```

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou uma proposta de *E-Learning* com as seguintes características:

- Estruturado em MEH;
- Aberto/Gratuito;
- Disponível em um LMS (MEH²-RECE) com ferramentas de gestão de turma.

Ainda neste capítulo foi apresentado um novo simulador 3D com as seguintes características:

- Conteúdo estruturado em Modos de Treinamento;
- Aberto/Gratuito;
- Acompanha duas versões de roteiros experimentais de Cinemática Direta;
- Geração automática de relatório de uso para auxiliar na avaliação dos estudantes com informações sobre interações com a interface e tentativas de validação das tarefas.

5 RESULTADOS

A seguir serão apresentados o arranjo experimental e os resultados obtidos da aplicação do V-ROLE no ensino de robótica, buscando avaliar o impacto do uso de simuladores no processo ensino-aprendizagem. Discussões sobre os resultados obtidos serão feitas no capítulo 6.

5.1 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Existem diferentes *designs* de pesquisa para verificar o efeito de uma determinada intervenção, o mais simples deles chamado de Estudo de Caso Único, é a aferição única utilizando um pós-teste (CAMPBELL & STANLEY, 1967). A principal vantagem dessa abordagem é a praticidade e pronta obtenção dos resultados. A principal desvantagem é a incerteza quanto ao nível inicial da variável de interesse e qual teria sido a contribuição da intervenção no nível final da variável que está se avaliando. Este problema pode ser resolvido com um *design* de pesquisa chamado de Pré-Teste-Pós-Teste. Nesta abordagem são utilizados pré-testes para verificar a condição inicial da variável de interesse. No entanto ao resolver o problema do valor inicial da variável de interesse criam-se outros problemas que podem interferir no resultado final:

- História e Maturação – Se o intervalo temporal entre a aplicação do pré-teste e do pós-teste for razoavelmente grande eventos sociais, envelhecimento e interações com outros tratamentos podem influenciar no nível final da variável de interesse;
- Testagem – A aplicação do pré-teste pode gerar expectativas nos participantes que podem se adiantar com relação à itens considerados importantes obtendo um desempenho melhor no pós-teste.
- Instrumentação – Alterações nos instrumentos de avaliação, alterar as perguntas de um teste por exemplo, podem influenciar na mensuração da variável de interesse.
- Seleção – Uma das condições para se aplicar um *design* experimental verdadeiro é que as pessoas sejam selecionadas aleatoriamente, caso contrário corre-se o risco de selecionar indivíduos pré-dispostos a responder positivamente ao tratamento aplicado, prejudicando a generalização dos resultados.

A variável de interesse é afetada tanto pela intervenção quanto por outras variáveis independentes, para contornar este problema existem duas opções, o uso de grupos de

controle ou o uso de análises estatísticas para controlar as demais variáveis que influenciam no resultado além da intervenção, também chamadas de covariantes.

Devido à limitação na quantidade de participantes disponíveis para aplicação desta pesquisa não foi possível utilizar grupos de controle. Foram conduzidas então análises estatísticas que serão discutidas adiante. Optou-se pela utilização de uma Avaliação de Conhecimento Teórico e Prático (AC) para ser utilizado tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Embora a utilização de uma só versão de AC possa gerar o efeito da Testagem, a utilização de diferentes versões de AC poderia gerar efeitos de Instrumentação.

A AC é composta de oito questões de múltipla escolha. Além das alternativas cada questão possui uma escala de zero a dez, na qual o participante deve assinalar a sua confiança ao escolher determinada alternativa. Assim é possível averiguar o quão consciente o participante estava de sua resposta, se foi um chute ou se foi uma escolha deliberada. As perguntas que compõem a AC foram construídas a partir de conhecimentos pertinentes ao Curso de Robótica. Sendo cinco questões relacionadas à parte teórica do curso disponível no MEH²-RECE e três questões relacionadas mais diretamente ao uso do V-ROLE. As questões da AC podem ser consultadas no Apêndice C.

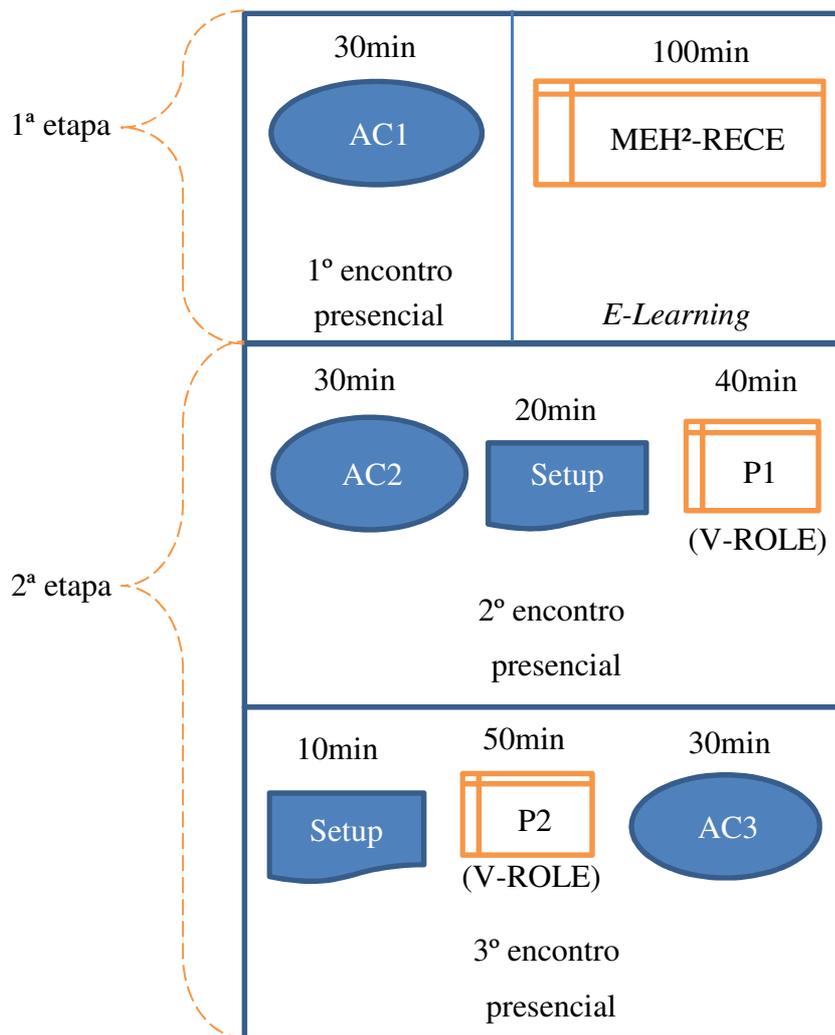
5.2 ARRANJO EXPERIMENTAL

Foi estabelecido um arranjo dividido em duas etapas, conforme a Figura 39, com a aplicação de pré-teste e pós-teste em cada etapa.

A primeira etapa tem início com uma avaliação de conhecimento teórico e prático (AC1) (Fig. 39), em seguida os estudantes utilizaram o MEH²-RECE para acessarem o material didático elaborado para esta pesquisa. Após serem expostos ao conteúdo teórico foram novamente avaliados pelo AC2 afim de verificar qual foi a contribuição do material didático.

Na segunda etapa é aplicada uma versão simplificada da prática com o V-ROLE (P1). A aplicação da P1 é acompanhada de um Roteiro Experimental Simplificado contendo um total de quatro lacunas a serem preenchidas pelos estudantes durante o uso do V-REP. Estas quatro lacunas são um subconjunto das vinte e três tarefas presentes na versão completa da prática (P2). O objetivo da P1 é facilitar o primeiro contato do aluno com o ambiente de simulação. Após finalizar P1 e P2 os estudantes são submetidos à AC3. A Figura 39 apresenta uma ilustração das duas etapas de aplicação do curso.

Figura 39 – Avaliações e aplicações da primeira (MEH²-RECE) e segunda (V-ROLE) etapa.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

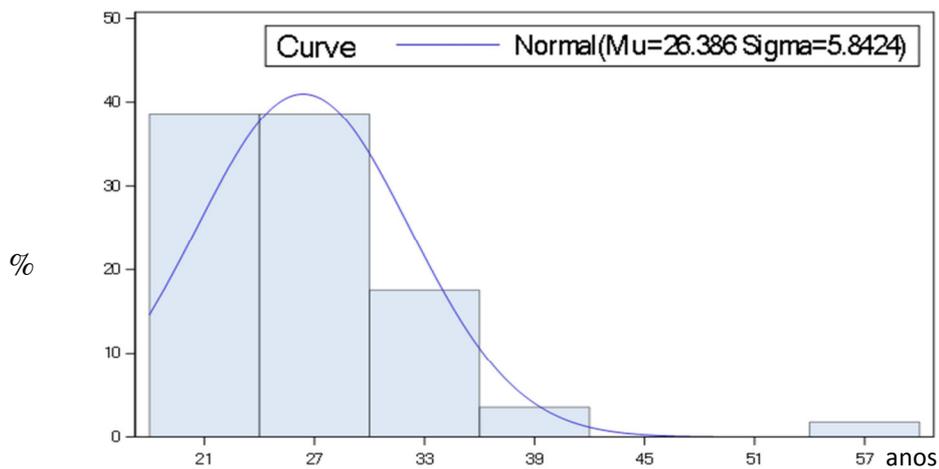
A segunda etapa de aplicação do curso, trata-se da aplicação de duas avaliações de conhecimento (AC2 e AC3) e da versão completa e simplificada do V-ROLE (P1 e P2). Para definição do tempo de duração de cada etapa foram feitos testes piloto com a participação de dois estudantes da graduação em Ciência da Computação da UDESC que levou à divisão apresentada na Figura 39.

Na Figura 39, *Setup* ilustra protocolos desenvolvidos para a instalação do V-REP nos computadores utilizados pelos estudantes. Para a primeira vez que utilizam o sistema foi previsto um intervalo de 20 minutos para execução do protocolo e 10 minutos para a segunda aplicação pois é a segunda vez que instalam o V-REP Player.

5.3 PERFIL DOS PARTICIPANTES E AMOSTRAGEM

Ao todo participaram desta pesquisa 58 pessoas dos cursos de graduação e mestrado em Ciência da Computação, bacharelado e mestrado em Engenharia Elétrica e técnico em Eletrotécnica. Sendo estas turmas são oriundas de três instituições de ensino diferentes. A Figura 40 ilustra a distribuição de idades dos estudantes participantes desta pesquisa com média de 26 anos e desvio padrão de 6 anos, o participante mais novo 20 anos e o mais velho 56 anos. Dos 42 participantes que responderam ao questionário do Termo de Consentimento Livre e Espontâneo, 95% relataram ter pouco ou nenhum conhecimento em robótica fixa e 49% relataram ter pouco ou nenhum conhecimento em aplicações 3D (Apêndice D).

Figura 40 – Distribuição normal de idade dos participantes.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

As aplicações foram feitas no contexto de disciplinas de automação industrial, portanto os professores cederam parte da carga horária de suas disciplinas. Devido às diferentes distribuições de aula durante as semanas letivas as etapas do arranjo experimental ocorreram em diferentes semanas. Por este motivo alguns estudantes participaram apenas de uma das etapas reduzindo a amostragem efetiva em algumas situações.

5.4 DESEMPENHO NAS AVALIAÇÕES DE CONHECIMENTO

Conforme indicado na Figura 39, AC1 representa a primeira aplicação da avaliação de conhecimento teórico, com o objetivo de avaliar o conhecimento inicial dos estudantes antes de serem expostos ao material didático no MEH²-RECE. A Tabela 6 sumariza os resultados de desempenho obtidos das avaliações. Sendo N1 a nota de 0 a 10 obtida em AC1, N2 a nota obtida em AC2, e N3 a nota em AC3, a média das variações no desempenho é representada

por D21 (diferença entre N2 e N1), D32 (diferença entre N3 e N2) e D31 (diferença entre N3 e N1) e “n” é o número de estudantes efetivos da amostra. Nas Tabelas os melhores valores serão destacados em verde e os piores em vermelho.

Tabela 6 – Desempenho médio e média das variações

	N1	N2	N3	D21	D32	D31
Média (\bar{x})	4,46	5,14	5,61	0,80	0,26	1,21
Mediana ($\bar{\mu}$)	3,75	5	6,25	0	0	2,5
Desvio Padrão (δ)	1,93	2,03	2,27	2,02	2,39	2,25
Máximo	8,75	8,75	8,75	6,25	7,5	5
Mínimo	1,25	0	1,25	-5	-3,75	-3,75
n	53	47	39	42	29	30

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Observa-se um aumento de desempenho em cada etapa, um acréscimo médio de 0,80 pontos na primeira etapa, de 0,26 na segunda etapa e uma melhora global de 1,21 pontos. Embora 47 estudantes tenham participado da segunda avaliação, destes, somente 42 participaram também da primeira avaliação. Desta forma a amostra para o cálculo de D21, D32 e D31 foi reduzida aos estudantes que participaram de todas as etapas.

Na Tabela 7 observam-se as porcentagens de usuários que tiveram melhora no desempenho, aqueles que não apresentaram alteração e aqueles que pioraram: entre a primeira e a segunda etapa; entre a segunda e a terceira; e a variação entre a terceira e a primeira etapa. Observa-se uma melhora global no desempenho de 62% dos estudantes. Ainda sobre a diferença de desempenho em cada etapa a Tabela 8 contém informações sobre a porcentagem de acertos por questão em cada uma das avaliações.

Tabela 7 – Variação no desempenho por etapas.

	D21	D32	D31
Piora (%)	20	34	31
Inalterado (%)	35	28	7
Melhora (%)	45	38	62
n (100%)	42	29	29

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

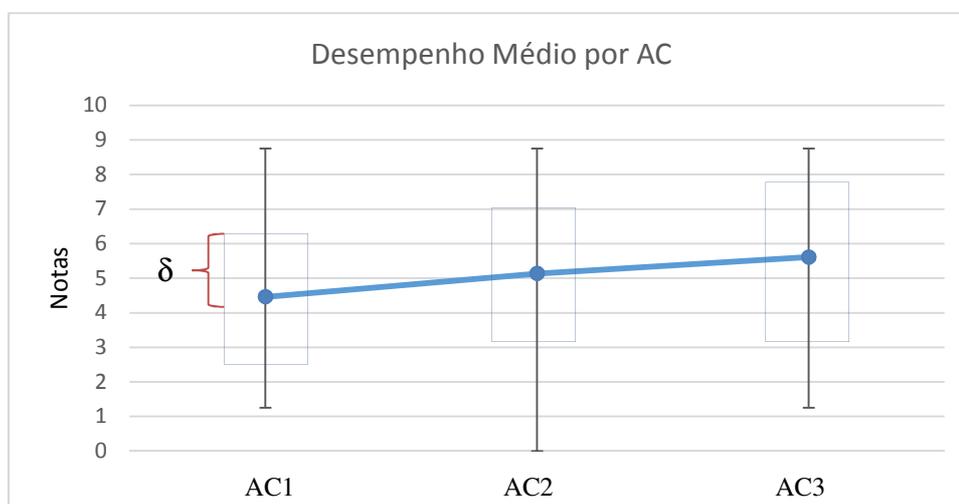
Tabela 8 – Quantidade de acertos por questão em cada avaliação (%).

Questões	1	2	3	4	5	6	7	8
AC1	55	52	34	66	14	55	38	52
AC2	58	66	52	86	10	52	34	66
AC3	75	45	52	86	10	62	41	72

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Observa-se um aumento na porcentagem de estudantes que acertaram as três últimas questões após o uso do V-ROLE e um aumento na porcentagem de acertos das cinco primeiras questões após o uso do MEH²-RECE. Após o uso do V-ROLE a porcentagem de acertos para as cinco primeiras questões permaneceu constante para as questões três, quatro e cinco. A primeira, a sexta e a sétima questões apresentaram aumento de acertos após o uso do V-ROLE. A única questão que teve diminuição de acertos após o uso do simulador foi a segunda questão. A Figura 41 ilustra a média do desempenho com barras de variação de máximos e mínimos para cada avaliação.

Figura 41 – Desempenho nas avaliações de conhecimento.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

5.5 ANÁLISE DA CONFIANÇA NAS RESPOSTAS

Ao responder ao questionário proposto nas avaliações de conhecimento os estudantes foram orientados a pontuarem entre 0 e 10, seu nível de confiança durante a escolha das alternativas. De modo geral a confiança cresceu a cada etapa. A Tabela 9 mostra o nível de confiança por avaliação.

Tabela 9 – Nível de confiança por avaliação.

	AC1	AC2	AC3
Média (\bar{x})	2,6	4,7	5,4
Mediana ($\bar{\mu}$)	2,6	4,8	5,9
Desvio Padrão (δ)	1,94	2,1	1,9
Máximo	7,9	8,8	9,1
Mínimo	0	0	1
n	53	47	39

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

A Tabela 10 mostra o nível de confiança médio por questão em cada uma das avaliações. Observa-se um aumento da confiança média em todas as questões.

Tabela 10 – Nível de confiança por questão em cada avaliação.

Questões	1	2	3	4	5	6	7	8
AC1	3,4	3,5	2,5	2,5	1,6	1,6	1,6	2,2
AC2	4,9	4,9	4,4	4,8	4,3	5,3	4,1	4,9
AC3	5,4	5,6	5,1	5,2	4,9	5,8	4,8	6,9

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Na Tabela 11 observam-se a quantidade de estudantes que apresentaram melhora no nível de confiança, aqueles que não apresentaram alteração e aqueles que apresentaram piora no nível de confiança a cada etapa.

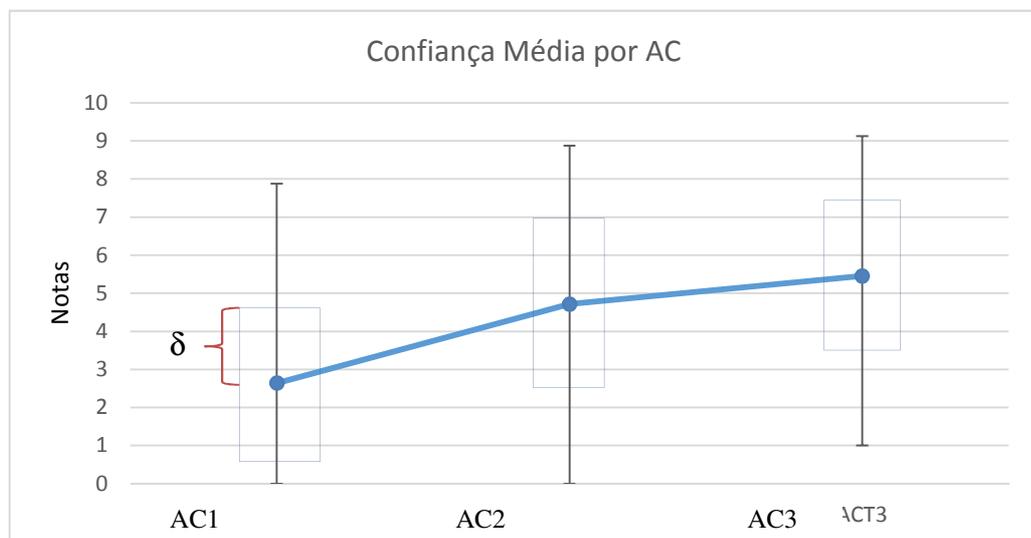
Tabela 11 – Variação no nível de confiança por etapas.

	D21	D32	D31
Piora (%)	12	31	3,5
Inalterado (%)	0	7,0	3,5
Melhora (%)	88	62	93
n (100%)	42	29	29

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Observou-se uma melhora global em 93% dos participantes ao utilizarem os recursos computacionais. A Figura 42 contém informações sobre o nível de confiança médio a cada avaliação com barras de variação de indicando valores máximos e mínimos.

Figura 42 – Confiança média nas avaliações de conhecimento.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

5.6 DESEMPENHO NO CURSO DO MEH²-RECE

Entre a primeira e a segunda AC os estudantes participaram de um *E-Learning* sobre fundamentos de robótica utilizando o MEH²-RECE, onde cada um dos capítulos continha um questionário de avaliação no próprio LMS. Na Tabela 12 pode-se observar o desempenho nos cinco capítulos do curso.

Tabela 12 – Desempenho médio nos capítulos do MEH²-RECE, intervalo de 0 a 10.

	Histórico de Desenvolvimento	Características Construtivas	Aplicações Industriais	Fundamentação Matemática	Tutorial	Final
\bar{x}	6,3	6,7	9,0	6,6	3,6	6,47
$\bar{\mu}$	6,67	6,67	10	6	3,5	6,67
δ	2,73	3,19	1,93	2,73	2,1	1,84
n	51	49	49	40	38	51

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Apesar de terem sido esclarecidos sobre a importância desta primeira etapa para um bom desempenho na segunda etapa, nem todos os estudantes realizaram o curso até o fim. Embora todos tenham cursado o capítulo de Histórico de Desenvolvimento, apenas 38 estudantes completaram o curso. O capítulo com melhor desempenho foi o de Aplicações Industriais. O Tutorial do V-ROLE foi o capítulo com pior desempenho no curso. A Tabela 13 apresenta a distribuição de estudantes em relação ao desempenho em cada capítulo.

Tabela 13 – Distribuição percentual de estudantes com relação ao desempenho nos capítulos.

Notas	Histórico de Desenvolvimento	Características Construtivas	Aplicações Industriais	Fundamentação Matemática	Tutorial
0,5					5%
1,5				5%	18%
1,67		18%			
2				8%	21%
2,5	4%	4%			
3					5%
3,33	33%	4%	6%		
4				15%	21%
5		6%			
6				28%	24%
6,67	35%	18%	16%		
7,5			2%		
8				20%	5%
8,33		16%			
10	27%	33%	76%	25%	
n	51	49	49	40	38

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

5.7 DESEMPENHO NOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS

Os estudantes receberam dois roteiros experimentais para serem preenchidos durante as duas aplicações do V-ROLE. Na Tabela 14 pode ser observado o desempenho médio dos estudantes ao preencher o Roteiro Experimental Simplificado e Completo, respectivamente.

Tabela 14 – Desempenho médio nos roteiros experimentais, com notas de 0 a 10.

	P1	P2
\bar{x}	7,4	8,4
$\bar{\mu}$	7,5	8,7
δ	3,0	2,2
n	40	39

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

A Tabela 15 contém informações sobre a distribuição percentual das notas obtidas nos relatórios experimentais pelos estudantes que participaram das aplicações do V-REP.

Tabela 15 – Distribuição percentual de desempenho nos roteiros.

Notas	P1	P2
0	5%	
1,74		2,6%
2,5	10%	2,6%
3		2,6%
4,35		2,6%
5	12,5%	
6,1		5,1%
7		2,6%
7,5	30%	
7,83		5,1%
8,26		15,4%
8,7		15,4%
9,56		7,7%
10	42,5%	25,6%
n	40	39

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

5.8 DADOS DE USO DO V-ROLE

5.8.1 Primeira aplicação (Roteiro Experimental Simplificado)

A primeira aplicação do simulador foi concebida como um primeiro contato para familiarizar o usuário com o ambiente de simulação e foi prevista uma duração de aproximadamente quarenta minutos. Para isto os estudantes receberam um roteiro

experimental com apenas quatro tarefas a serem desenvolvidas no Modo Exploratório (ME) do V-ROLE, os Modos Demonstrativo e Guiado estavam completos. A Tabela 16 contém informações sobre o tempo médio utilizado e a quantidade de interações em cada um dos Modos de Treinamento nesta primeira aplicação. Pode-se observar que o tempo previsto de quarenta minutos se aproxima do tempo total que, em média, os estudantes utilizaram para finalizar o Roteiro Experimental Simplificado. Dos quarenta estudantes que participaram desta aplicação obteve-se acesso somente a trinta e seis relatórios de uso, devido à um recurso dos computadores usados que apaga arquivos salvos em disco após seu desligamento.

Tabela 16 – Tempo e interações em cada Modo de Treinamento na primeira aplicação (P1).

Modos		Demonstrativo	Guiado	Exploratório	Total
Máximo	Tempo	00:18:22	00:39:01	00:46:26	01:43:49
	Interações	7	58	116	181
\bar{x}	Tempo	00:07:57	00:18:03	00:22:01	00:48:00
	Interações	1	14	34	48
Mínimo	Tempo	00:00:12	00:03:33	00:06:59	00:10:44
	Interações	0	1	3	4
n		36	36	34	

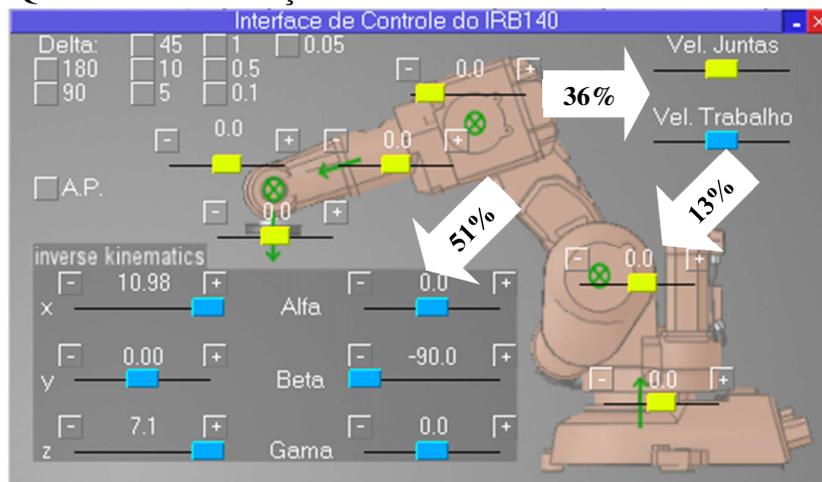
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Ainda, destes trinta e seis, apenas trinta e quatro utilizaram o Modo Exploratório do V-ROLE, os demais pararam no Modo Guiado. Praticamente metade dos estudantes, 47%, não realizaram qualquer interação com a interface do controle durante o Modo Demonstrativo. A Figura 43 contém informações sobre a quantidade de interações na interface de controle do IRB140 no modo demonstrativo. A maior parte das interações ocorreram nos botões de ajuste de cinemática inversa da orientação da garra, poucas foram as interações nos controles de cinemática direta.

Na Figura 44 pode-se observar a quantidade de interações na interface de controle do IRB140 durante o Modo Guiado. No Modo Guiado os estudantes são orientados a utilizarem os controles de cinemática direta, refletindo um aumento na quantidade destas interações e diminuição nas interações de controles desabilitados.

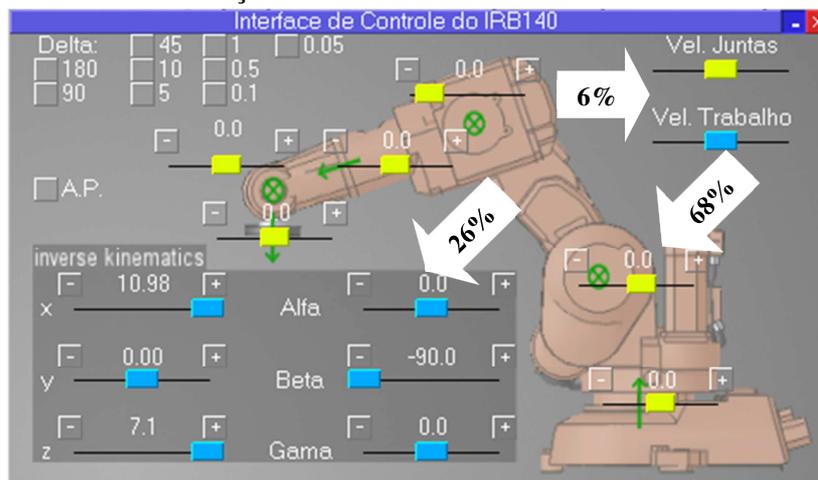
Pode-se observar na Figura 44 que, se comparada à Figura 43, houve diminuição nas interações nos controles de velocidade de simulação, nas interações nos controles de cinemática inversa e aumento de interações nos controles de cinemática direta. Destes 68% de interações nos controles de cinemática direta, 54% deram-se nos botões de “+” e “-“ dos ângulos das juntas, e 14% deram-se nos controles de barras de rolagem dos ângulos das juntas que estão desabilitados no Modo Guiado.

Figura 43 – Quantidade de interações durante o Modo Demonstrativo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 44 – Quantidade de interações durante o Modo Guiado.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Durante o Modo Exploratório estão liberados todos os controles de cinemática direta, portanto, não foi computada a quantidade de interações com a interface de controle, mas sim o desempenho na execução das tarefas. Durante a execução do Modo Exploratório foram computadas as tentativas de validação das tarefas e registradas as tarefas executadas corretamente e aquelas em que os estudantes não haviam ainda atingido o objetivo. O propósito deste registro foi auxiliar o professor na avaliação dos estudantes quanto ao preenchimento do roteiro experimental, uma vez que todas as tarefas preenchidas pelo aluno deveriam estar também corretamente registradas no relatório, além de informações como tempo gasto e número de tentativas.

Apesar de terem sido informados sobre a necessidade de realizar os testes de validação das tarefas à cada etapa, muitos estudantes preencheram corretamente o roteiro experimental sem realizar os testes de validação e por isso não foram registradas no relatório de uso. Ainda

assim utilizando os registros disponíveis verificou-se um média de quatro tentativas erradas, e um número máximo de onze tentativas erradas. Apenas seis dos trinta e quatro relatórios registrados continham todos os registros de execução do Modo Exploratório.

5.8.2 Segunda aplicação (Roteiro Experimental Completo)

Na aplicação do Roteiro Experimental Completo (P2) a maioria dos estudantes não executaram os dois primeiros modos de treinamento indo diretamente para o Modo Experimental, alguns fizeram uma rápida revisão de cinco minutos no Modo Guiado. Três estudantes ficaram mais que cinco minutos no Modo Guiado por não terem participado da aplicação anterior. Apesar da melhora na quantidade de registros de uso durante a execução do Modo Exploratório, apenas 47% dos estudantes receberam um *feedback* positivo ao utilizarem o botão “Testar” da Janela de Navegação para tentar validar todas as tarefas. A Tabela 17 contém informações sobre os registros de cada Modo de Treinamento.

Tabela 17 – Tempo e interações em cada modo de treinamento na segunda aplicação (P2).

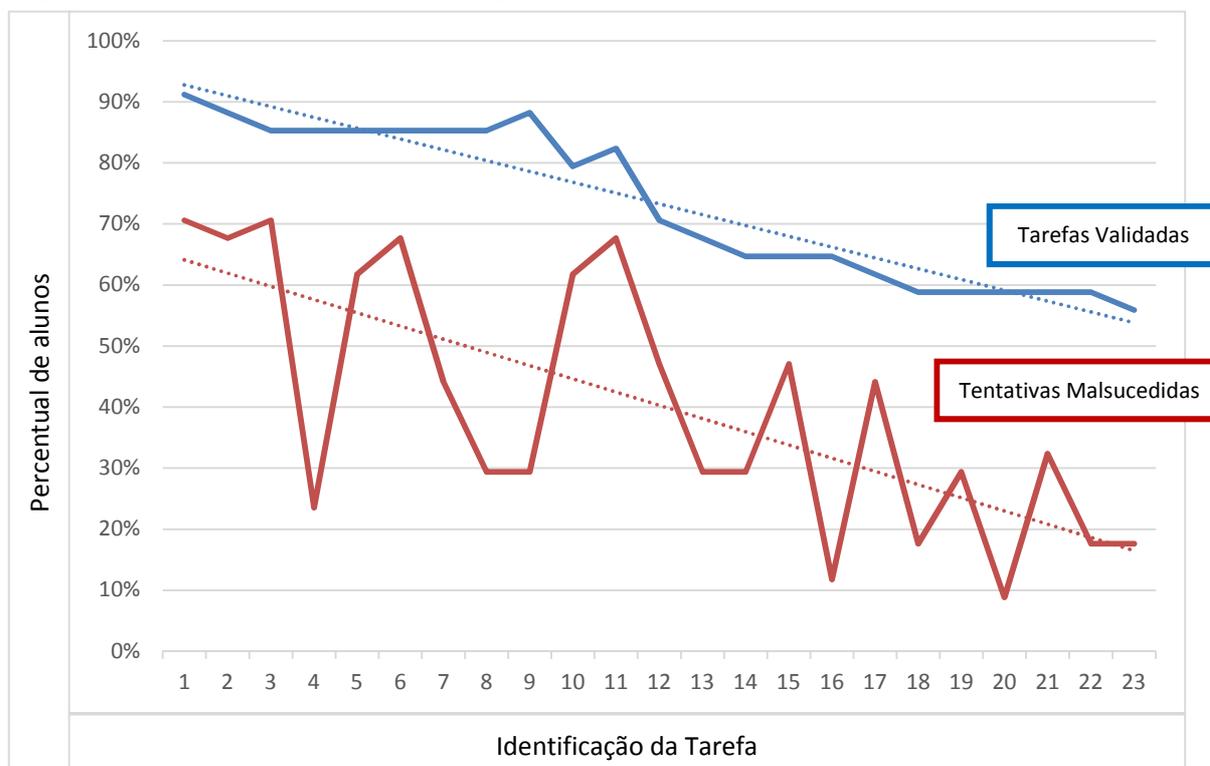
Modos		Demonstrativo	Guiado	Exploratório	Total
Máximo	Tempo	00:09:07	00:21:26	01:18:00	01:48:33
	Interações	5	11	295	311
Médio	Tempo	00:01:30	00:02:39	00:48:17	00:52:26
	Interações	0,24	1,06	64,97	66,27
Mínimo	Tempo	00:00:06	00:00:05	00:08:43	00:08:54
	Interações	0	0	2	2
n		34	34	34	

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Das informações da Tabela 17 é possível observar que em média os aprendizes passaram 92% do tempo utilizado executando as tarefas do Modo Exploratório. A Figura 45 contém detalhes sobre os registros de uso do botão “Testar” durante a execução das tarefas. Na Figura 45 pode-se observar a quantidade de aprendizes que validaram as tarefas em azul, e a quantidade de aprendizes que realizaram tentativas malsucedidas de validação em vermelho. Observa-se uma queda percentual em ambos os gráficos, a linha pontilhada representa uma aproximação linear e para ambos gráficos se tem um coeficiente angular muito semelhante, indicando que os usuários deixam de utilizar o botão “Testar” a medida que avançam no Modo Exploratório. A Figura 46 apresenta a distribuição percentual de alunos que validaram corretamente as tarefas na primeira tentativa. As tarefas 4, 8, 9 e 16 foram as que apresentaram maior percentual de validações bem-sucedidas na primeira tentativa, em cor verde. As tarefas 3, 6, 15 e 17 apresentaram os menores percentuais de acerto na primeira

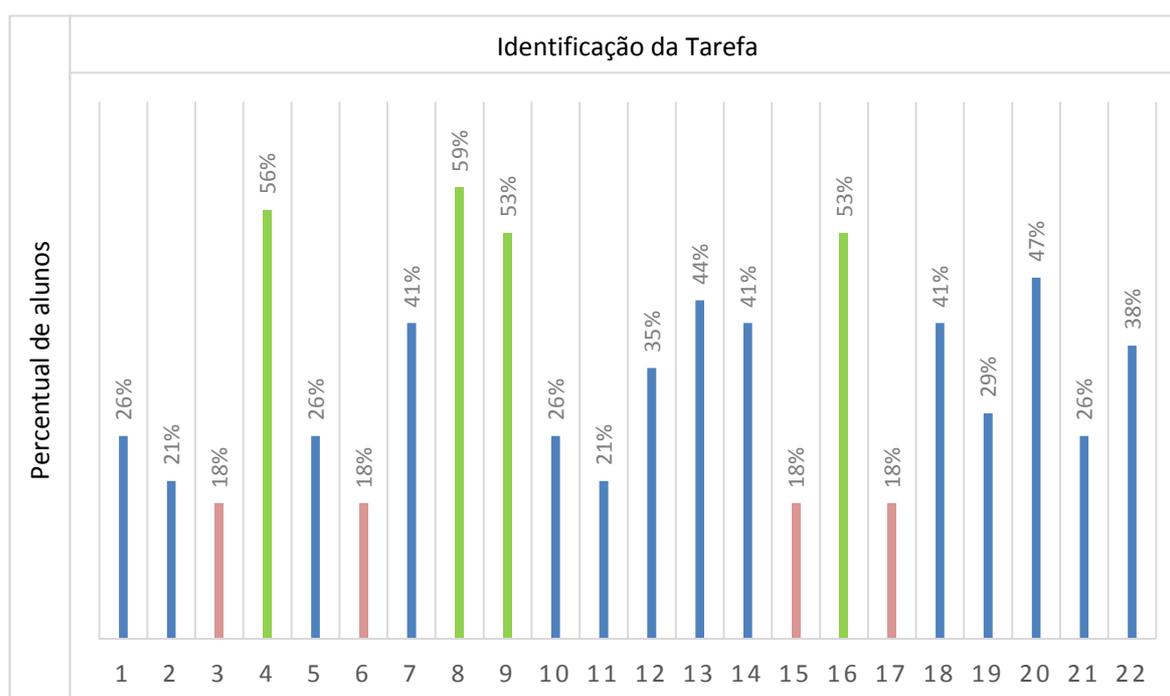
tentativa, em vermelho. A Tarefa 23 não permite mais que uma tentativa, razão pela qual não foi incluída no gráfico da Figura 46.

Figura 45 – Percentual de estudantes que realizaram tentativas de validação das tarefas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 46 – Percentual de estudantes que validaram as tarefas na primeira tentativa.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

5.9 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO

Depois das aplicações do V-ROLE, os estudantes responderam um questionário de satisfação onde foram questionados sobre o nível de dificuldade do roteiro, sobre a utilidade do roteiro como ferramenta de ensino de cinemática, quais foram suas dificuldades, pontos fortes e fracos do sistema. No Apêndice C tem-se o questionário aplicado. Apesar de 40 estudantes terem participado da P2 apenas 36 responderam ao questionário. Na Tabela 18 pode-se observar a porcentagem de estudantes que pontuaram as duas primeiras questões. Para a primeira questão, que pergunta sobre o nível de dificuldade do roteiro, 0 significa muito fácil e 5 significa muito difícil. Para segunda questão, que pergunta sobre a utilidade do roteiro para a aprendizagem da cinemática do robô, 0 significa que o roteiro em nada ajudou na aprendizagem de cinemática do robô e 5 significa que o roteiro foi muito útil nesse contexto.

Tabela 18 – Distribuição percentual de pontuações das questões de satisfação.

n=36	Dificuldade do Roteiro (%)	Utilidade do Roteiro (%)
0	5,56	
0,5		2,78
1,0	8,33	
2,0	19,44	13,89
3,0	50	38,89
4,0	16,67	30,56
4,5		2,78
5,0		11,11

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Observa-se que a distribuição percentual de alunos se concentra nas proximidades da pontuação 3. A Tabela 19 contém a pontuação média para as duas primeiras questões.

Tabela 19 – Pontuação média das questões de satisfação.

n=36	Dificuldade do Roteiro	Utilidade do Roteiro
Média (\bar{x})	2,6	3,4
Mediana ($\bar{\mu}$)	3	3
Moda (m)	3	3
Desvio Padrão (δ)	1,05	1,01

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Os valores médios obtidos apresentados na Tabela 19 estão coerentes com a distribuição apresentada na Tabela 18 e indicam que o Relatório Experimental possui uma dificuldade moderada e que é útil no processo de aprendizagem, de acordo com a avaliação

dos aprendizes. Na terceira questão do questionário de satisfação o aprendiz deve responder qual foi sua maior dificuldade, a Tabela 20 contém as dificuldades reportadas com mais frequência pelos estudantes.

Tabela 20 – Dificuldades reportadas com maior frequência.

n=35	%
Primeiro contato com o simulador	25,7
Visualizar ou interpretar movimentos	17,1
Interpretar as tarefas	11,4
Lentidão	8,6
Precisão	5,7
Outras dificuldades	31,5

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Entre as dificuldades reportadas a mais frequente foi o primeiro contato com o simulador, ou seja, o momento de familiarização com o funcionamento do programa. A segunda dificuldade mais reportada foi a visualização ou interpretação dos movimentos do robô, processo este que requer habilidades de visualização 3D. A interpretação das tarefas representa 11,4% das dificuldades reportadas. Na quarta questão sobre satisfação foi solicitado aos usuários para comentar três pontos fortes do V-ROLE. A Tabela 21 contém os pontos fortes citados com maior frequência.

Tabela 21 – Pontos fortes citados com maior frequência.

n=89	%
Interface ou Janelas de Instruções	21,4
Fácil visualização, realismo ou gráficos	20,2
Fácil de usar ou prático	14,6
Fácil de entender	5,6
Intuitivo	5,6
Didático	5,6
Interativo	4,5
Outros	22,5

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

A Tabela 21 indica que o V-ROLE apresenta a interface como ponto forte, possui bons gráficos que possibilitam fácil visualização, facilidade de uso, e componentes que facilitam o entendimento. A quinta questão sobre satisfação solicitava aos estudantes que indicassem três pontos fracos, a Tabela 22 contém os pontos fracos citados com mais frequência.

Tabela 22 – Pontos fracos citados com maior frequência.

n=51	%
Precisão	17,6
Lentidão	17,6
Travamentos ou mal funcionamento	7,8
Inicialmente confuso	3,9
Outros	47,2

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Os pontos fracos mais citados foram problemas de precisão, lentidão e travamentos devido à configuração das máquinas utilizadas para a aplicação do simulador em uma das instituições de ensino. Também foi citado como ponto fraco a dificuldade inicial que alguns estudantes tiveram em compreender o funcionamento do simulador.

A última pergunta do questionário de satisfação dava a possibilidade de se escrever comentários livres, sugestões, elogios, *bugs*, etc. Obteve-se apenas 22 respostas e destas a maioria repetia as informações contidas nos pontos fracos ou nos pontos fortes. No Apêndice G estão listadas todas as respostas. Por fazerem críticas ou elogios destacam-se sete respostas:

- “ Muito bom o trabalho desenvolvido; “
- “ Surpreso com a eficiência no aprendizado, a falta de ilustrações dinâmicas no ensino tradicional prejudica a evolução mais rápida do conhecimento; “
- “ Valeu como experiência e despertou curiosidade sobre o assunto; “
- “ A parte teórica no MEH²-RECE é muito maçante, poderia ser substituída por vídeos ou aula presencial. ”

5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

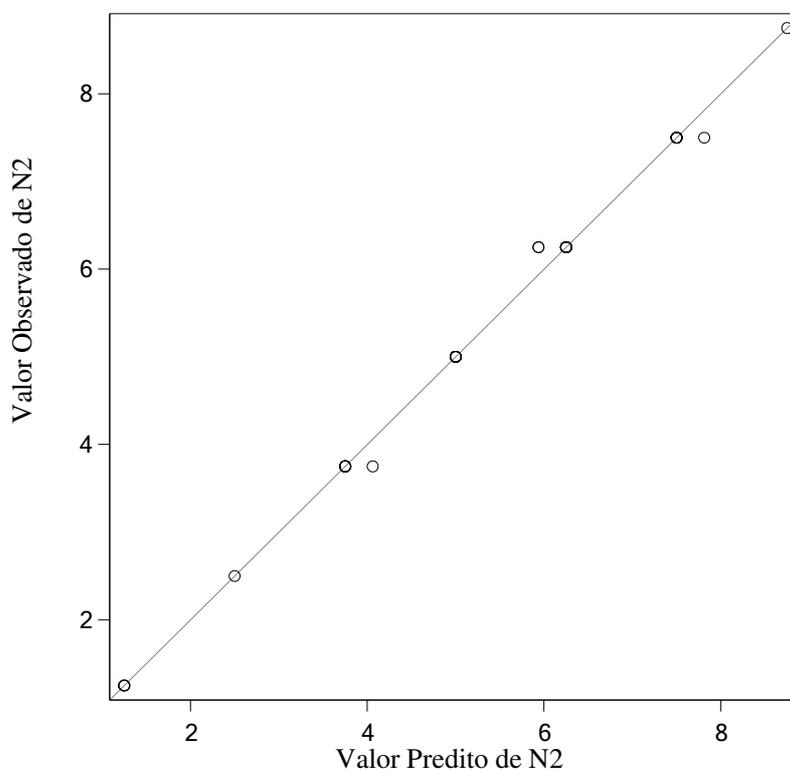
Para realizar as Análises Estatísticas foi utilizado um programa chamado SAS Studio¹. Primeiramente analisou-se a nota obtida em AC2 (N2) como variável dependente e o desempenho no MEH²-RECE como variável independente. Obteve-se um Coeficiente de Determinação $R^2=0,9598$ e um Coeficiente de Confiança de $p=0,0388$, isto significa que é possível afirmar com 96,12% de confiança que 95,98% da variação de N2 pode ser explicada pela variação no desempenho no MEH²-RECE (CAMERON e WINDMEIJER, 1996). Esta análise não estaria levando em consideração o conhecimento inicial dos participantes, portanto foi realizada uma Regressão Linear Múltipla utilizando o desempenho em AC1 (N1) e o desempenho no MEH²-RECE versus N2.

Sempre que uma variável independente é adicionada à uma regressão há um aumento no Coeficiente de Determinação (RAWLINGS et. al. 1998). Para que o aumento em R^2 possa

¹ SAS Studio é a versão web de uma ferramenta de cálculos estatísticos gratuita que foi originalmente desenvolvida por um consórcio de oito universidades liderado pela *North Carolina State University* em 1966. Disponível em: < <https://support.sas.com/downloads/browse.htm?fil=&cat=560> >

ser considerado este deve ser acompanhado de um aumento no Coeficiente de Determinação Ajustado, dado por $Ra^2 = 1 - [(1 - R^2)(N - 1)/N - k - 1]$, onde N é o tamanho da amostra e k a quantidade de variáveis independentes. Levando-se em consideração $N1$ obteve-se $R^2=0,9975$, Ra^2 subiu de 0,7322 para 0,9498 e obteve-se um coeficiente de confiança de $p=0,0466$, portanto é possível afirmar com 95,34% de confiança que 94,98% da variação de $N2$ pode ser explicada pela variação $N1$ e do desempenho no MEH²-RECE. A Figura 47 ilustra o resultado da regressão, observa-se que os dados experimentais (ordenadas) muito se aproximam dos valores previstos pela regressão (abscissas).

Figura 47 – Regressão Linear de $N2$ em função do desempenho no MEH²-RECE e de $N1$.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

O mesmo procedimento de Análise Estatística foi empregado nas notas obtidas em AC3 ($N3$). Primeiramente consideramos como variável independente somente o desempenho no V-ROLE, obteve-se $R^2=0,4268$, $Ra^2=0,2548$ e $p=0,0586$, portanto é possível afirmar com 94,14% de confiança que 42,68% da variação em $N3$ pode ser explicada pela variação de desempenho no V-ROLE. Adicionando $N2$ como variável independente obteve-se $R^2=0,6953$, $Ra^2=0,4342$ e $p=0,0419$, portanto é possível afirmar com 95,81% de confiança que 43,42% da variação em $N3$ pode ser explicada pela variação de $N2$ e pela variação de desempenho no V-ROLE. A Figura 48 ilustra o resultado da regressão. Observa-se que os dados do experimento

Embora todos os onze participantes deste teste final tenham obtido desempenho máximo no roteiro experimental, o mais importante foram as contribuições como avaliadores do sistema quanto a seu objetivo inicial de auxiliar no ensino de robótica. A quantidade de roteiros foi reduzida à apenas cinco, devido à carência de computadores para utilização dos estudantes, assim os roteiros foram entregues em duplas e um trio (Dupla D+1). De maneira geral todos os estudantes relataram estar surpresos com o nível didático e interativo do simulador. A Tabela 23 traz os resultados do questionário de satisfação aplicado.

Tabela 23 – Pontuação média das questões de satisfação no teste final.

	Dificuldade do Roteiro	Utilidade do Roteiro
Dupla A	1	4
Dupla B	3	3
Dupla C	0	4
Dupla D+1	1	5
Dupla E	2,5	2,5
Média	1,25	4,0

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quanto às dificuldades encontradas obteve-se as seguintes respostas:

- “ Dificuldade de encontrar os valores nos eixos X, Y e Z devido à influência das juntas; ”
- “ Reconhecer os eixos X, Y e Z e sua orientação com relação à base do robô; ”
- “ Posicionamento das juntas. ”

Quanto aos pontos fortes obteve-se as seguintes respostas:

- “ Didático, deu para aprender muita coisa; ”
- “ Explicativo, ajuda a entender o robô; ”
- “ Gráficos e didática; ”
- “ Bem detalhado, interativo e de fácil manipulação; ”
- “ Identificação dos eixos. ”

Quanto aos pontos fracos obteve-se as seguintes respostas:

- “ Impossibilidade de digitar o valor angular desejado nas juntas; “
- “ Dificuldades com precisão; ”
- “ Precisão no movimento das juntas. “

Houve somente um comentário livre:

- “ Bem dinâmico e intuitivo, fácil compreensão e guia de ajuda bem prático. ”

6 DISCUSSÃO

A seguir serão discutidos os resultados da Pesquisa Bibliográfica Sistemática (PBS) que serviram como subsídio para criação dos sistemas. Também serão considerados os impactos da aplicação do *E-Learning* e do V-ROLE sobre o processo ensino-aprendizagem.

6.1 REVISÃO DA LITERATURA

Foi realizada uma PBS e a partir de seus resultados foram realizadas mais duas revisões da literatura: Uma revisão para incluir mais simuladores educacionais que não puderam ser identificados pela PBS, inclusões *ad hoc*, e; uma revisão para melhor investigar os métodos de avaliação utilizados em simuladores robóticos educacionais. De um total bruto de 794 artigos chegou-se em apenas 8 trabalhos que aplicavam simuladores robóticos ao ensino de robótica industrial com algum tipo de avaliação do impacto educacional do uso de simuladores no ensino. A partir de uma revisão convencional da literatura obteve-se mais 5 artigos que se enquadravam nos critérios de inclusão da PBS.

Destas revisões resultou a Tabela 4 na qual pode-se observar que os Modos de Treinamento são uma exclusividade do V-ROLE entre os simuladores robóticos educacionais. Atualmente o V-ROLE conta com somente três dos recursos disponíveis no ROLE. O V-REP foi escolhido devido à possibilidade de implementar não somente os recursos educacionais presentes no ROLE, mas também recursos presentes nos demais simuladores identificados nas revisões da literatura.

Nenhum dos métodos de avaliação identificados através da revisão da literatura foram utilizados pois o tempo necessário para que os participantes respondessem aos questionários seria grande se comparado ao tempo de execução dos recursos computacionais apresentado. Todos estes métodos correspondem à questionários de satisfação, usabilidade ou motivação, compostos de 20 a 56 questões. Portanto optou-se por aplicar três vezes uma avaliação de conhecimento utilizando o *design* de pesquisa Pré-Teste-Pós-Teste, e aplicar um breve questionário de satisfação composto de apenas duas questões para avaliar a dificuldade e utilidade do roteiro experimental, e três questões para relatar dificuldades, pontos fortes, pontos fracos e comentários livres.

6.2 ASPECTOS LOGÍSTICOS

Um aspecto importante da aplicação do V-ROLE é a necessidade de entender os aspectos teóricos envolvidos e as bases do funcionamento do sistema através do E-Learning disponibilizado no MEH²-RECE. O MEH²-RECE foi proposto inicialmente como uma aplicação remota e o V-ROLE como uma aplicação presencial. Houve dificuldade em garantir que todos os estudantes estivessem preparados para o uso do simulador, pois toda a turma deveria ter feito o curso em casa. Assim a aplicação do V-ROLE foi adiada em algumas turmas.

Nas turmas do ensino técnico não foi possível aplicar o MEH²-RECE remotamente pois nem todos os estudantes dispunham de acesso à internet ou computadores em suas casas, portanto, foi feito presencialmente. Na turma de Engenharia Elétrica o professor solicitou que a aplicação do MEH²-RECE fosse feita presencialmente para que ele pudesse acompanhar o desempenho dos estudantes.

O professor dos cursos de graduação e do mestrado em Ciência da Computação ofereceu pontos extras na média (26% dos participantes). O professor do curso de Engenharia Elétrica utilizou as aplicações como avaliação para composição da nota do semestre (36% dos participantes), e o professor do curso técnico em eletrotécnica tratou as aplicações como atividades extra, sem nenhuma contrapartida na média final (38% participantes). Sendo o curso técnico em eletrotécnica um curso noturno, frequentado em sua maioria por trabalhadores da indústria, a falta de motivação extrínseca para sua participação comprometeu o desempenho desta turma no uso dos recursos computacionais e consequente desempenho nas AC. Considerando um intervalo que vai de 0 a 10, o desempenho médio nas AC para esta turma foi de 3,6 e somente 54% dos alunos completaram o curso no MEH²-RECE com uma nota média de 1,55 no tutorial do V-ROLE.

Devido às distintas circunstâncias nas quais foram feitas as aplicações não foi possível garantir uniformidade entre as etapas. A principal dificuldade foram as ausências entre as etapas, de forma que dos 58 estudantes que participaram apenas 29 estiveram presentes em todas as etapas da aplicação.

6.3 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

A partir dos dados fornecidos pela Tabela 6 seria possível concluir que o impacto do V-ROLE sobre o desempenho nas avaliações de conhecimento foi menor que o impacto do MEH²-RECE, entretanto deve-se observar também as informações contidas na Tabela 8.

Ainda que, na média, a melhoria de desempenho tenha sido menor entre as duas últimas etapas, a porcentagem de acertos nas três últimas questões aumentou consideravelmente. Com efeito, as cinco primeiras questões da avaliação de conhecimento são essencialmente teóricas e as três últimas envolvem além do conhecimento teórico alguma experiência prática com robôs. Desta forma a quantidade de acertos das cinco primeiras questões não foi influenciada pelo uso do V-ROLE, analogamente a quantidade de acertos das três últimas não foi influenciada pelo uso do MEH²-RECE. Dadas as proporções, explica-se o maior impacto do MEH²-RECE na nota final. Cada etapa contribuiu, de forma complementar, para a construção de diferentes formas de conhecimento. A análise estatística conduzida através de regressões lineares confirmou que um bom desempenho no MEH²-RECE está relacionado a um bom desempenho na AC2 (responsável por 96% da variação em N2) e que um bom desempenho no uso do V-ROLE favorece um bom desempenho na AC3 (responsável por 43% da variação em N3).

Pode-se observar ainda que os melhores valores de média e mediana no desempenho ocorreram após o uso do V-ROLE (N3) (Tab. 6). O valor de máximo desempenho se manteve constante entre as três avaliações, porém D32 possui a maior variação média de desempenho. A variação média geral das notas obtidas a cada avaliação de conhecimento (Tab. 6) foi sempre positiva indicando melhora nas notas individuais da maioria dos estudantes. Segundo a Tabela 7 pode-se observar melhora nas notas de 45% dos participantes após o uso do MEH²-RECE, uma melhora em 38% dos estudantes após o uso do V-ROLE e uma melhora nas notas de 62% dos participantes entre a primeira e a última avaliação. Ainda de acordo com a Tabela 7 é possível verificar que uma parcela dos estudantes obteve um desempenho inferior com relação às etapas anteriores, estes alunos representam uma parcela que necessita de uma intervenção pessoal do professor para esclarecer conceitos que não foram compreendidos corretamente. Isto deixa claro que, por mais que se disponha de recursos computacionais gráficos e estruturados, o acampamento por parte de um professor é indispensável.

Esta falta de *feedback* pode ter contribuído para piora de desempenho em 34% dos participantes após o uso do V-ROLE (Tab. 7). Outro fator que pode ter contribuído para a queda de rendimento nas AC foi o intervalo de tempo entre a exposição ao conteúdo teórico, no MEH²-RECE, e a aplicação da última avaliação após o uso do V-ROLE, que se deu após duas semanas na maioria das turmas. Como pode ser observado na Tabela 6 os valores de desvio padrão, de máximo e de mínimo justificam os valores médios próximos de 5 para o desempenho nas AC e os valores próximos de 0 para as variações de desempenho.

6.3.1 Confiança nas Respostas

A partir das Tabelas 9 e 10 pode-se observar um aumento no nível médio de confiança nas respostas em todas as etapas da pesquisa para todas as questões, porém o aumento da confiança nas respostas nem sempre é acompanhado por um aumento na quantidade de acertos. Na Tabela 8 observou-se uma diminuição na quantidade de acertos das questões 5 e 7 após o uso do MEH²-RECE, porém houve um aumento significativo no nível de confiança para estas mesmas questões (Tab. 10). Isto pode significar que o aluno está mais confiante em uma ideia falsa ou incorreta, para contornar este problema é necessário implementar algum tipo de *feedback* para o aluno, seja este um *feedback* automático através do LMS ou a partir de uma intervenção do professor. O aumento no nível de confiança ocorreu em 88% dos participantes após o uso do MEH²-RECE. Embora tenha ocorrido aumento na confiança média em 62% dos participantes após o uso do V-ROLE, houve diminuição no nível de confiança em 31% dos participantes para esta mesma etapa (Tab. 11). Esta diminuição na confiança pode estar ligada às perdas na retenção de conhecimento devido ao intervalo de tempo maior entre a exposição dos participantes aos conteúdos teóricos e a aplicação da AC3. Considerando a diferença entre a primeira e a última avaliação houve aumento no nível de confiança nas respostas em 93% dos participantes. Comparando-se a Tabela 11 e a Tabela 7 observa-se que a melhora de desempenho após o uso do MEH³-RECE em 45% dos participantes foi acompanhada de uma melhora na confiança em 88% dos participantes. Analogamente a melhoria de desempenho em 38% dos participantes após o uso do V-ROLE foi acompanhada de uma melhora na confiança de 62% dos participantes. Estes resultados comprovam que houve aquisição de conhecimento.

6.4 APLICAÇÃO DO MEH²-RECE E DOS ROTEIROS EXPERIMENTAIS

Durante a aplicação teórica do curso foi possível observar uma diminuição no nível de comprometimento dos participantes. Das Tabelas 12 e 13 é possível verificar um declínio no desempenho e diminuição na participação dos aprendizes. Enquanto o primeiro capítulo contou com a participação de 51 aprendizes, apenas 40 participaram do quarto capítulo e somente 38 do quinto capítulo. Semelhantemente o desempenho médio diminuiu de 6,3 no primeiro capítulo para 3,6 no último capítulo. Apenas 5% dos alunos obtiveram aproveitamento acima do mínimo no último capítulo, todos os demais obtiveram notas abaixo de 6,5 o que pode justificar as posteriores dificuldades relatadas no primeiro contato com o simulador. O capítulo com melhor aproveitamento foi o de Aplicações Industriais, onde 76%

dos alunos obtiveram a nota máxima. Este desempenho pode ser reflexo de conhecimento técnico e da vivência na indústria dos participantes do curso técnico em eletrotécnica e da graduação em engenharia elétrica.

Em média obteve-se um bom desempenho nos roteiros experimentais, como pode-se observar na Tabela 14, as médias foram 7,4 para a versão simplificada e 8,4 para a versão completa do Roteiro Experimental. Na versão simplificada 42,5% dos alunos obtiveram nota 10 e na versão completa 64,09% dos alunos obtiveram notas entre 8 e 10, elevando o desempenho médio dos participantes.

6.5 EXECUÇÃO DO V-ROLE

Alguns participantes foram excepcionais quanto ao tempo utilizado para preencher o roteiro experimental, tanto para mais, quanto para menos. Enquanto alguns levaram cerca de quinze minutos para preencher o roteiro experimental completo outros levaram mais de uma hora e meia. Contudo a média de tempo utilizada para o preenchimento dos roteiros em muito se aproximou daquele considerado no planejamento do *design* de pesquisa. Conforme pode-se observar na Tabela 16, na primeira aplicação do V-ROLE, com o roteiro simplificado, os participantes passaram pouco tempo nos Modos Demonstrativo e Guiado, a maior parte do tempo foi utilizada no Modo Exploratório. Na segunda aplicação, com o roteiro completo, os participantes utilizaram praticamente todo o tempo na execução do Modo Exploratório (Tab. 17). Esta distribuição indica que os Modos Demonstrativo e Guiado são mais importantes no primeiro contato com o V-ROLE, na segunda aplicação os aprendizes já estavam familiarizados com o simulador dispensando as explicações iniciais oferecidas pelo Modo Demonstrativo. Ainda assim alguma atenção é dada ao Modo Guiado durante a segunda aplicação pois este instrui o aprendiz no preenchimento do Roteiro Experimental.

Um aspecto interessante foi a interação dos usuários com a interface de controle do IRB140 nos Modos Demonstrativo e Guiado em seu primeiro contato com o V-ROLE. Conforme observa-se na Figura 43, durante o Modo Demonstrativo a maioria das interações ocorreram nos controles de cinemática inversa do manipulador e nos controles de velocidade de simulação. Poucas foram as interações com os controles de cinemática direta, indicando a necessidade de se modificar a interface gráfica de modo evidenciar os controles de cinemática direta. Durante o Modo Guiado após receberem instruções através das janelas do V-ROLE as interações se concentraram nos controles de cinemática direta (Fig. 44), poucas foram as interações com os controles de cinemática inversa e de velocidade de simulação. Estes dados indicam a importância de uma etapa inicial, com o roteiro simplificado, para favorecer a

familiarização com o ambiente de simulação para que o aprendiz possa ter um bom desempenho ao preencher o roteiro completo.

A queda nos registros de tentativas de validação das tarefas ao longo da execução do V-ROLE (Fig. 45), indicam que houve aprendizado: o aprendiz ganhou confiança em seus resultados e deixou de utilizar o botão testar; o desempenho médio no Roteiro Experimental Completo de 8,4 comprova esta afirmação (Tab. 14). Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da confiança e consequente diminuição no uso do botão testar foi a quantidade de alunos que validaram as questões na primeira tentativa (Fig. 46).

Mais da metade dos alunos validaram na primeira tentativa as tarefas 4, 8, 9 e 16, que correspondem respectivamente a encontrar: a dimensão da garra; o máximo alcance na direção do eixo Y negativo; o máximo alcance na direção do eixo Z positivo e; o valor mínimo de posição angular do cotovelo. As tarefas com menor porcentagem de validação na primeira tentativa foram a 3, 6, 15 e 17 que correspondem respectivamente a encontrar: A dimensão do antebraço; o máximo alcance na direção do eixo X negativo; o valor máximo de posição angular cotovelo e; o valor máximo de posição angular do punho. Observa-se que as tarefas que apresentaram menor porcentagem de acertos antecedem ou estão de certa forma relacionadas àquelas com maior porcentagem de acertos na primeira tentativa. Esta distribuição indica que houve transferência de conhecimento na resolução de problemas entre as tarefas.

6.6 QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO

Os resultados do questionário de satisfação indicam um impacto positivo do V-ROLE sobre os participantes durante o processo ensino-aprendizagem: as avaliações feitas pelos aprendizes (Tab. 19) indicam que a maioria dos estudantes considerou o roteiro experimental adequado e que cumpre seu papel como ferramenta de ensino de conceitos básicos de robótica.

Durante o uso do V-ROLE a dificuldade reportada com mais frequência foi o primeiro contato com o simulador, entender o que fazer e como interagir com o programa e interpretar as tarefas. Estas dificuldades explicam-se em parte pelo baixo aproveitamento no último capítulo do curso no MEH²-RECE, que trata do tutorial do V-ROLE e do roteiro experimental. Neste tutorial os estudantes são familiarizados com os princípios básicos de funcionamento do V-ROLE e com conceitos dos Modos de Treinamento utilizados e sobre o preenchimento do roteiro. Estes conhecimentos são pré-requisitos para um bom desempenho inicial no V-ROLE, sem os quais os estudantes se sentiram inseguros e confusos. Outra

dificuldade encontrada por muitos usuários foi a visualização ou interpretação dos movimentos do robô no espaço tridimensional, esta é uma dificuldade inerente à tecnologia gráfica utilizada para representar o espaço tridimensional em uma superfície plana. Uma possibilidade para diminuir esta dificuldade de visualização é a incorporação de um capítulo sobre conceitos básicos de geometria descritiva.

Devido às limitações técnicas dos computadores utilizados, algumas turmas reportaram lentidão, travamentos da aplicação e falta de precisão nos movimentos, estes foram os pontos fracos mais citados. Em contraste, tem-se como ponto forte mais citado a fácil visualização, os gráficos e o realismo das simulações. Outros pontos fortes muito citados foram a facilidade de uso, a interface, as instruções, a facilidade de assimilação, a didática e interatividade. Este aparente paradoxo entre os pontos fortes e fracos é indicativo das diferentes percepções que os aprendizes demonstraram em relação ao ambiente de simulação. A maioria dos estudantes usaram os comentários livres para reforçarem os pontos fortes e fracos reportados anteriormente, alguns sugeriram a criação de um tutorial em vídeo do V-ROLE, outros fizeram elogios e demonstraram estar satisfeitos com a experiência de uso do simulador.

6.7 ANÁLISE DO TESTE FINAL

O teste final realizado com uma turma de onze estudantes do curso técnico em mecatrônica confirmaram alguns resultados obtidos das aplicações anteriores. Por estarem já familiarizados com os conceitos básicos de robótica e terem bastante experiência em aulas práticas, estes estudantes avaliaram o roteiro experimental como muito fácil e avaliaram o V-ROLE como uma ferramenta muito boa para ensino de cinemática de robôs. Dos participantes deste teste 40% não encontraram dificuldades nem conseguiram identificar pontos fracos. Os demais reportaram dificuldades com o posicionamento das juntas, dificuldades para encontrar os valores máximos e mínimos de alcance do robô em relação aos eixos coordenados e dificuldades de visualização da orientação dos eixos em relação à base do robô. Estas duas últimas dificuldades estão relacionadas à representação gráfica bidimensional do espaço tridimensional. Com relação aos pontos fortes e comentários livres os estudantes citaram a facilidade de uso, os elementos gráficos, o nível de detalhamento, a didática e o impacto positivo do V-ROLE sobre o processo ensino-aprendizagem.

6.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Foi realizado um estudo sobre ementas de cursos de robótica em diferentes instituições de ensino, desta resultou uma proposta de curso básico de robótica fixa. O curso foi estruturado na forma de um *E-Learning* para ser aplicado em uma abordagem *Blended Learning* em conjunto com aulas práticas presenciais no em simulador. Em geral o emprego de recursos educacionais causou um impacto positivo sobre o processo de ensino-aprendizagem de conceitos básicos de robótica fixa. Embora os valores médios de desempenho tenham sido baixos a quantidade de alunos que obtiveram nota maior que 7,0 aumentou a cada etapa. Apenas 17% dos alunos obtiveram nota acima de 7,0 na primeira aplicação da avaliação de conhecimento (AC1), porém após o uso do MEH²-RECE essa porcentagem subiu para 31%, e após o uso do V-ROLE esta porcentagem subiu para 43%. Portanto o impacto dos recursos educacionais não foi tão pequeno quanto sugerem os valores médios. Houve também um impacto positivo da utilização dos recursos computacionais sobre o nível de confiança dos participantes. Entretanto o aumento no nível de confiança nem sempre é algo positivo, pois sem o devido *feedback* por parte do sistema ou uma intervenção do professor, alguns aprendizes podem acabar reforçando uma interpretação incorreta de um conceito. O presente trabalho, portanto, obteve indícios de ser benéfico o uso de recursos computacionais de LMS e simulador 3D para a aprendizagem de conceitos básicos de robótica industrial.

Esta abordagem uniformiza os conteúdos oferecidos para diferentes turmas e permite um melhor aproveitamento das horas de aula em sala. Uma vez que o conteúdo teórico pode ser feito como EAD, as aulas presenciais podem ser utilizadas em exercícios de fixação, trabalhos em grupo e tirar dúvidas sobre o conteúdo teórico. Outra vantagem é a possibilidade de todos os aprendizes terem contato com o robô virtual e realizar tarefas robóticas individualmente ou em duplas, o que nem sempre é possível com robôs físicos devido à pouca disponibilidade de equipamentos. O uso dos recursos computacionais auxilia professores e aprendizes no processo de ensino-aprendizagem: O professor pode utilizar o LMS para acompanhar o desempenho da turma em cada capítulo do curso, em contrapartida os aprendizes desfrutam de flexibilidade de tempo e liberdade para explorar os conteúdos do *E-Learning*. Esta flexibilidade de liberdade de exploração desfrutada pelos alunos pode criar problemas de nivelamento da turma, alguns aprendizes podem estar mais avançados que outros dificultando o agendamento de atividades que exijam pré-requisitos. Pode citar como exemplo o uso do V-ROLE que tem por pré-requisito o tutorial apresentado no capítulo 5 do

E-Learning. Caso o professor agende com a turma uma aplicação do Roteiro Experimental Simplificado, será preciso que todos tenham finalizado o *E-Learning* até aquela data. Caso contrário surgirão diferenças de andamento na turma que podem comprometer o cronograma do curso previamente definido pelo docente.

7 CONCLUSÃO

A automação de processos tem aumentado consideravelmente em todos os ramos da sociedade, conseqüentemente a presença dos robôs tem se tornado cada vez mais comum em indústrias, comércios e residências. Disciplinas que apresentam conceitos de robótica estão presentes em cursos técnicos, graduações e pós-graduações. Aulas práticas com equipamentos reais nem sempre são possíveis devido aos investimentos necessários em infraestrutura e equipamentos. Simuladores robóticos educacionais são uma alternativa interessante por demandarem poucos investimentos em infraestrutura e por apresentarem resultados de aprendizagem similares aos laboratórios reais (TZAFESTAS et. al., 2006).

Este trabalho apresentou uma revisão bibliográfica para identificar as principais características de um simulador e os métodos de avaliação do impacto educacional do uso de simuladores. Identificou-se que os recursos educacionais mais comuns são controles de cinemática direta e tarefas para serem executadas pelos alunos. Identificou-se que o método de avaliação mais utilizado foi a aplicação de questionários de avaliação, motivação e usabilidade. Como não foram encontradas metodologias de avaliação compatíveis ao tempo disponível para execução de cada uma das etapas desta pesquisa, foi desenvolvida uma Avaliação de Conhecimento Teórico e Prático (AC) acrescido de escalas de confiança nas respostas. Com base nos dados obtidos através da Pesquisa Bibliográfica Sistemática foi desenvolvido um ambiente de simulação tendo como base o V-REP, que foi escolhido devido à facilidade de adaptação e por possibilitar a implementação de mais recursos educacionais em trabalhos futuros. Para apresentar o modo de funcionamento e as tarefas do V-ROLE foi escolhida a abordagem didática específica da *Simulation Based Learning* na forma de Modos de Treinamento.

A partir de uma pesquisa em algumas instituições que disponibilizavam o conteúdo programático das disciplinas na internet foi desenvolvido um curso básico de robótica que pudesse ser aplicado desde cursos Técnicos até cursos de Pós-Graduação. O curso foi disponibilizado em forma de *E-Learning* utilizando um *Learning Management System* chamado MEH²-RECE. O MEH²-RECE foi integrado ao V-ROLE através de uma abordagem de *Blended Learning*. O curso completo, MEH²-RECE e em seguida V-ROLE, foi aplicado no contexto de disciplinas de dois cursos técnicos, em uma disciplina da graduação e em uma disciplina da pós-graduação em três instituições diferentes. A partir das AC foi possível avaliar o impacto de cada etapa do curso no processo de ensino, utilizando o *design* Pré-Teste-Pós-Teste.

Os resultados da AC e dos questionários de satisfação indicam que o ambiente de simulação desenvolvido contribui no processo ensino-aprendizagem de conceitos relacionados à robótica, desde alunos do ensino técnico até a pós-graduação. Observou-se uma melhora de desempenho em 45% dos participantes após o uso do MEH²-RECE, em 38% dos participantes após o uso do V-ROLE e uma melhora global no desempenho de 62% dos participantes. A partir destes dados pode-se concluir que o V-ROLE auxiliou no processo de aprendizagem de conceitos teóricos e práticos de robótica. Estes resultados foram confirmados pelas análises estatísticas que concluíram que 43% da variação no desempenho da última avaliação pode ser explicada pelo desempenho no V-ROLE. Esta porcentagem é coerente com a composição da AC, pois 38% da avaliação envolve conhecimentos práticos que podem ser melhor compreendidos após o uso do V-ROLE.

Observou-se também um aumento no nível médio de confiança a cada etapa do experimento, entretanto nem sempre o aumento na confiança foi acompanhado de um aumento no número de acertos. Isto evidencia a necessidade de uma intervenção de um professor que esclareça conceitos que podem ter sido interpretados incorretamente pelos aprendizes. Houve aumento de confiança em 88% dos participantes após o uso do MEH²-RECE e em 62% dos participantes após o uso do V-ROLE. Apesar dos bons resultados nas avaliações após o uso MEH²-RECE observou-se falta de comprometimento no decorrer dos capítulos do curso, resultando em um declínio no aproveitamento dos conteúdos. Dentre os capítulos o pior caso foi justamente o aproveitamento no tutorial do V-ROLE, que teve participação de 75% do aprendizes e aproveitamento médio de 36%. Estes fatores podem ter contribuído para as dificuldades que os participantes tiveram no primeiro contato com o V-ROLE e em saber como preencher o Roteiro Experimental. Apesar das dificuldades citadas pelos alunos a nota média na versão completa do Roteiro Experimental foi de 8,4.

Numa escala de 0 a 5 a dificuldade do Roteiro Experimental recebeu uma pontuação média de 2,6, segundo a mesma escala a utilidade do roteiro recebeu pontuação média de 3,4 indicando uma boa aceitação do mesmo. Devido às configurações de processamento de alguns computadores utilizados para execução do V-ROLE, alguns dos participantes experimentaram problemas de posicionamento das juntas visto que ocorreu aumento no erro de cálculo de posicionamento do robô. A interface gráfica e as janelas de instruções foram os pontos fortes mais citados pelos aprendizes.

Observou-se que os Modos Demonstrativo e Guiado são mais importantes para o primeiro contato dos aprendizes com o ambiente de simulação. Durante a segunda aplicação, após já estarem familiarizados com o V-ROLE, 82% dos participantes passaram diretamente

para o Modo Exploratório, os demais somente fizeram uso dos primeiros Modos de Treinamento por não terem participado da primeira aplicação do V-ROLE. Os dados de uso coletados durante o Modo Demonstrativo indicaram a necessidade de uma reformulação na Interface de Controle do IRB140 de modo a diminuir a quantidade de interações com os controles de Cinemática Inversa, que estão desativados nesta versão do V-ROLE. Constatou-se uma diminuição na quantidade de validações de tarefas através do botão “Testar” ao longo da execução do Modo Exploratório. Uma possível solução é a implementação de um lembrete, na forma de uma janela de diálogo, que avise o aprendiz caso ele esteja passando para a próxima tarefa sem ter feito a validação.

É importante notar que o presente estudo possui algumas limitações, primeiramente, não foi feita avaliação de conhecimento após uso com um robô físico devido à indisponibilidade deste equipamento na maioria das instituições de ensino. Módulos avançados de cinemática inversa e cálculos detalhados não foram inseridos no *E-Learning* pois extrapolavam o nível de conhecimento previsto para o curso. As aplicações ocorreram em diferentes momentos do semestre. Não houve uniformidade quanto a incentivos oferecidos pelos professores aos estudantes, na forma de pontos extras ou como nota para composição da média final do semestre. Não houve um trabalho junto ao professor da disciplina para preparar os alunos para a inserção dos recursos computacionais no curso.

Desenvolveu-se um *E-Learning* de robótica, baseado no Modelo de Espaços de Habilidades, para ser aplicado em conjunto com um simulador, baseado em Modos de Treinamento, em uma abordagem *Blended Learning*, sendo a parte prática no simulador realizada presencialmente nos laboratórios de informática de instituições de ensino. O que se constatou efetivamente, através de questionários, foi um impacto positivo de um *E-Learning* utilizado em conjunto com um simulador robótico educacional no processo de ensino-aprendizagem através do aumento do nível de confiança e do conhecimento demonstrado em avaliações teóricas e práticas pelos participantes.

Devido à limitação na quantidade de participantes, tornou-se inviável a avaliação do impacto educacional dos recursos computacionais através de grupos de controle. Por outro lado, o uso de pré-teste e pós-teste permitiu que todos os estudantes se beneficiem dos conhecimentos e vantagens do uso dos recursos computacionais. O objetivo do *design* de pesquisa utilizado foi de indicar se abordagem apresentada possui impacto positivo no processo de ensino-aprendizagem de robótica industrial e não o de indicar se a abordagem didática utilizada é melhor que outras.

Portanto, conclui-se que um curso de robótica com conteúdos teórico e prático, auxiliado por um LMS e um simulador 3D devidamente estruturados, têm potencial para um impacto positivo na aprendizagem de robótica industrial.

7.1 CONTRIBUIÇÕES

A partir deste trabalho obteve-se as seguintes contribuições:

- Síntese dos trabalhos publicados em inglês em veículos científicos, através de três revisões bibliográficas: uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática e duas revisões bibliográficas convencionais. Os resultados evidenciaram uma carência em publicações que se preocupassem em fundamentar o uso de simuladores em teorias pedagógicas e em abordagens didáticas ou que avaliassem seu impacto no ensino de robótica;
- Desenvolvimento de um *E-learning* de robótica estruturado em um MEH de dois níveis hierárquicos no LMS MEH²-RECE, sendo o último capítulo dedicado ao tutorial do V-ROLE;
- Desenvolvimento de um simulador robótico educacional, gratuito, utilizando uma abordagem didática específica da *Simulation Based Learning*, os Modos de Treinamento, voltado para alunos de disciplinas de robótica, automação industrial ou outras que abordem conteúdos de robótica fixa;
- Manuais de instalação e configuração dos sistemas utilizados, em versões diferentes para os aprendizes e para os professores;
- Constatação do impacto positivo no uso de um simulador no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos relacionados à robótica. Porém, uma constatação definitiva exigiria uma quantidade maior de participantes para viabilizar o uso de grupos de controle;
- Publicação de artigo científico sobre os recursos educacionais e métodos de avaliação relacionados ao uso de simuladores na educação de robótica industrial (TEIXEIRA & HOUNSELL, 2015);
- Publicação de artigo científico sobre o desenvolvimento de recursos computacionais para um curso de robótica industrial (*E-Learning* e V-ROLE) e os resultados obtidos da aplicação do questionário de satisfação (TEIXEIRA & HOUNSELL, 2017a).
- Publicação de artigo científico sobre o impacto educacional da aplicação dos recursos computacionais em um curso básico de robótica industrial (TEIXEIRA & HOUNSELL, 2017b).

7.2 TRABALHOS FUTUROS

A partir da proposta de curso desenvolvida neste documento pode-se elencar os seguintes trabalhos futuros:

1) Extensões:

- Incorporar ao V-ROLE os recursos educacionais encontrados através da revisão da literatura (cinemática inversa, interação com objetos, programação, etc.);
- Realizar uma análise para aprimorar a Interface de Controle do IBR140 de forma a tornar mais intuitivo o uso dos controles de Cinemática Direta;
- Integrar o V-ROLE à um LMS, por exemplo o MEH²-RECE, para que o simulador esteja disponível via internet, possibilitando a realização do curso completo à distância;
- Estruturar as tarefas do V-ROLE em Matrizes de Espaço de Habilidades a partir da integração do V-ROLE ao MEH²-RECE.
- Desenvolver no sistema integrado (LMS + V-ROLE) uma ferramenta de diagnóstico que indique ao professor quais conceitos teóricos ou atividades práticas necessitam de revisão ou de reforço, tanto individualmente quanto para a turma como um todo;
- Realizar aplicações do V-ROLE com grupos de controle para comprovar cientificamente a eficácia do V-ROLE no processo de ensino-aprendizagem através da comparação com outros modelos de ensino.

2) Desdobramentos:

Apesar da verificação de um impacto positivo dos recursos computacionais no ensino de robótica, parte da variação de desempenho nas avaliações não pode ser explicada pela variação de desempenho nos recursos computacionais. Isto pode ser devido aos diferentes estilos de aprendizagem. “Como resultado de fatores hereditários, experiências passadas e exigências de nosso ambiente social presente, muitos de nós desenvolvem estilos de aprendizagem que enfatizam algumas habilidades de aprendizado em detrimento de outras” (KOLB, 1981). A partir de um questionário desenvolvido por Kolb (1981) é possível identificar quatro estilos de aprendizagem: Convergente, Divergente, Assimilador e Acomodador. Com o questionário de Felder e Silverman (1988) é possível identificar dezesseis estilos de aprendizagem resultantes da combinação de quatro dimensões: ativo ou reflexivo; sensitivo ou intuitivo, visual ou verbal, sequencial ou global. Uma pesquisa sobre os estilos de aprendizagem, sua influência sobre a aceitabilidade dos recursos computacionais

e conseqüente impacto nas avaliações de conhecimento contribuirá para um melhor entendimento do assunto.

Outro fator que pode afetar negativamente o desempenho dos estudantes no uso dos recursos computacionais é a falta de preparo dos professores e conseqüente resistência na aceitação de tais recursos (DEMETRIADIS et. al.,2003). Além disso também existe a possibilidade do estilo de ensino (FELDER e SILVERMAN, 1988) dos professores não serem compatíveis com o estilo de aprendizagem dos estudantes. Surge, portanto, a necessidade de identificar o estilo de ensino dos professores e de se aplicar de um curso de preparação para os professores, capacitando-os no uso dos recursos computacionais. A partir do registro do desempenho dos professores no curso de capacitação seria possível quantificar o impacto da capacitação e do estilo de ensino do professor na satisfação e desempenho dos estudantes ao participarem do curso de robótica utilizando os recursos computacionais.

REFERÊNCIAS

- ALLY, M. Foundations of educational theory for online learning. **Theory and practice of online learning**, Athabasca: Athabasca University, v. 2, p. 15-44, 2004.
- ALZAGHOUL, A. F. The implication of the learning theories on implementing e-learning courses. **The Research Bulletin of Jordan ACM**, v. 11, n. 11, p. 27-30, 2012.
- AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences-japanese **Journal for Management Information Systems. Special Issue on Agent-Based Modeling**, v. 12, n. 3, 2003.
- AZEVEDO, C. A. de. **Ambiente para Auxílio à Aprendizagem de Tarefas Robóticas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Grau de Bacharel em Ciência da Computação) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2010.
- AZEVEDO, C. A. de., HOUNSELL M. da S., KEMCZINSKI A., ROSSO JUNIOR, R. S. U. Aplicação do Modelo de Espaço de Habilidades para Conteúdo de Tarefas Robóticas. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE XXXIX, 2011, Blumenau. **Anais...** 2011.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. Birmingham: John Wiley & Sons, 1998.
- BARRIENTOS, A. **Fundamentos de Robotica**. 2. ed. Madrid: McGRAW-HILL, 2007.
- BATISTA M. C., HOUNSELL M. da S. MEH²-RECE – Um Sistema E-Learning com Modelos de Representação de Conteúdo Educacional Integrados. In: **Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE**, 2014, p. 154-165.
- BLÜMEL, E.; HINTZE, A.; SCHULZ, T.; SCHUMANN, M.; STUERING, S. Perspectives on simulation in education and training: virtual environments for the training of maintenance and service tasks. In: 35th conference on Winter simulation: driving innovation. **Proceeding...** 2003. p. 2001-2007.
- BLÜMEL, E.; HAASE, T. Virtual reality platforms for education and training in industry. In: **East European Conference on Advances in Databases and Information Systems**. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 1-7.
- BRATLEY, P.; FOX, B. L.; SCHRAGE, L. E. **A guide to simulation**. Springer Science & Business Media, 2011.
- BUCHINGER, D.; CAVALCANTI, G. A. S.; HOUNSELL, M. da S. Mecanismos de busca acadêmica: uma análise quantitativa. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 6, n. 1, p. 108-120, 2014.
- BUSARELLO JUNIOR S., AZEVEDO C. A. de, HOUNSELL M. da S., KEMCZINSKI A. ROLE – Um Sistema que Exerce um Papel Diferente no Ensino de Robótica. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia– COBENGE XL, 2012, Belém. **Anais...** 2012, p. 1-10.

BUSARELLO JUNIOR, S. **Modos de Treinamento em um Simulador para Ensino de Tarefas Robóticas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Grau de Bacharel em Ciência da Computação) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.

CAMERON, A. C.; WINDMEIJER, F. A. G. R-squared measures for count data regression models with applications to health-care utilization. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 14, n. 2, p. 209-220, 1996.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. **Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1967.

CAO, Y.. Learning Robotics through Developing a Virtual Robot Simulator in Matlab. In: **American Society for Engineering Education**. American Society for Engineering Education, 2011.

CARRIGER, M. S. Problem-based learning and management development—Empirical and theoretical considerations. **The International Journal of Management Education**, v. 13, n. 3, p. 249-259, 2015.

CAVUS, N.; ALHIH, M. S.. Learning management systems use in science education. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 143, p. 517-520, 2014.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**, 2011.

CORTER, J. E.; ESCHE, S. K.; CHASSAPIS, C.; MA, J.; NICKERSON, J. V. Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. **Computers & Education**, v. 57, n. 3, p. 2054-2067, 2011.

COUTINHO, K. R. R.. A Psicologia Da Gestalt: Aplicabilidade a Prática Pedagógica Da Educação De Jovens E Adultos. **Teoria e Prática da Educação**, v. 11, n. 1, p. 33-40, 2008

DAMON, W.; PHELPS, E.. Critical distinctions among three approaches to peer education. **International journal of educational research**, v. 13, n. 1, p. 9-19, 1989.

DAVIDOVITCH, L.; PARUSH, A.; SHTUB, A. Simulation-based Learning in Engineering Education: Performance and Transfer in Learning Project Management. **Journal of Engineering Education**, v. 95, n. 4, p. 289-299, 2006.

JONG, T. de; JOOLINGEN; W. R van; SWAAK, J.; VEERMANS, K.; LIMBACH, R.; KING, S.; GUREGHIAN, D. Self-directed learning in simulation-based discovery environments. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 14, n. 3, p. 235-246, 1998.

DECHARMS, R. Personal causation training in the schools. **Journal of Applied Social Psychology**, v. 2, n. 2, p. 95-113, 1972.

DEMETRIADIS, S.; BARBAS, A.; MOLOHIDES, A.; PALAIGEORGIOU, G.; PSILLOS, D.; VLAHAVAS, I.; TSOUKALAS, I.; POMBORTSIS, A. "Cultures in negotiation": teachers' acceptance/resistance attitudes considering the infusion of technology into schools. **Computers & Education**, v. 41, n. 1, p. 19-37, 2003.

DEVRIES, R. Vygotsky, Piaget, and education: A reciprocal assimilation of theories and educational practices. **New ideas in Psychology**, v. 18, n. 2, p. 187-213, 2000.

DUCKWORTH, E. Piaget rediscovered. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 2, n. 3, p. 172-175, 1964.

EDGAR, D. W. Learning Theories and Historical Events Affecting Instructional Design in Education. **Sage Open**, v. 2, n. 4, 2012.

EVGENIOU, E.; LOIZOU, P. The theoretical base of e-learning and its role in surgical education. **Journal of surgical education**, v. 69, n. 5, p. 665-669, 2012.

Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots, **International Federation of Robotics**. Disponível em: <https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20161.pdf>. Acesso em 21 de abril de 2017.

FANI, T.; GHAEMI, F. Implications of Vygotsky's zone of proximal development (ZPD) in teacher education: ZPTD and self-scaffolding. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 29, p. 1549-1554, 2011.

FAUST, J. L.; PAULSON, D. R. Active learning in the college classroom. **Journal on Excellence in College Teaching**, v. 9, n. 2, p. 3-24, 1998.

FEINSTEIN, A. H.; MANN, S.; CORSUN, D. L. Charting the experiential territory: Clarifying definitions and uses of computer simulation, games, and role play. **Journal of Management Development**, v. 21, n. 10, p. 732-744, 2002.

FRAILICH, M., KOTZER, S., ELRAN, Y., & SCHERZ, Z. A mediated visual-based computerized environment for investigation-based learning about solubility. **The 4th Knowledge Cities World Summit**, p. 105, 2011.

FRASER, B. J. Development of a test of science-related attitudes. **Science Education**, v. 62, n. 4, p. 509-515, 1978.

GAGNÉ, R. M. **The conditions of learning**. 3. ed. Nova Iorque: Holt, Rinehart & Winston, 1977.

GARRISON, D. Randy. Self-directed learning: Toward a comprehensive model. **Adult education quarterly**, v. 48, n. 1, p. 18-33, 1997.

GOODYEAR, P.; RETALIS, S.. **Technology-enhanced learning**. Rotterdam: Sense Publishers, 2010.

GRAHAM, C. R.; DZIUBAN, C. Blended learning environments. **Handbook of research on educational communications and technology**, v. 3, p. 269-276, 2008

HASHEMIPOUR, M.; MANESH, H. F.; BAL, M. A modular virtual reality system for engineering laboratory education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 19, n. 2, p. 305-314, 2011.

HAYS, R. T.; SINGER, M. J. **Simulation Fidelity in Training System Design**. Springer New York, 1989. p. 47-75.

HEIDER, F. **The psychology of interpersonal relations**. 1. ed. London: John Wiley and Sons, 1958.

HMELO-SILVER, C. E. Problem-based learning: What and how do students learn?. **Educational psychology review**, v. 16, n. 3, p. 235-266, 2004.

HOFF, E. **Language development**. Boston: Cengage Learning, 2013.

HOUNSELL, M. da S.; KEMCZINSKI, A.; SILVA, D. D. da. Espaço de habilidades, um modelo de software educativo. In: **Global Congress on Engineering and Technology Education, SP-Brazil**. 2005. p. 1648-1652.

HOUNSELL, M. da S.; SILVA, E. L.; RIBEIRO FILHO, M.; SOUSA, M. P. A. A Model to Distinguish Between Educational and Training 3D Virtual Environments and its Application. **The International Journal of Virtual Reality**, v. 9, n. 2, p. 63-72, 2010.

JARA, C. A.; CANDELAS, F. A.; PUENTE, S. T.; TORRES, F. Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory. **Computers & Education**, v. 57, n. 4, p. 2451-2461, 2011.

JARA, C. A.; CANDELAS, F. A.; TORRES, F.; DORMIDO, S.; ESQUEMBRE, F. Synchronous collaboration of virtual and remote laboratories. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 20, n. 1, p. 124-136, 2012.

KIRAKOWSKI, J.; CORBETT, M. SUMI: The software usability measurement inventory. **British journal of educational technology**, v. 24, n. 3, p. 210-212, 1993.

KOFFKA, K. **Principles of Gestalt psychology**. London: Lund Humphries, 1935.

KOH, C.; TAN, H. S.; TAN, K. C.; FANG, L.; FONG, F. M.; KAN, D.; LYE, S. L. WEE, M. L. Investigating the effect of 3D simulation based learning on the motivation and performance of engineering students. **Journal of Engineering Education**, v. 99, n. 3, p. 237-251, 2010.

KÖHLER, W.; ENGELMANN, A.; ULIANA, S. **A Psicologia da Gestalt nos Dias Atuais**. São Paulo: Editora Ática, 1978.

LEE, J., T.; Z., YAP, H. J.; KINSHEEL, A. Constructivist Game-based Robotics Simulator in Engineering Education. **International Journal of Engineering Education**, v. 29, n. 4, p. 1024-1036, 2013.

LEE, J. Effectiveness of computer-based instructional simulation: a meta analysis. **International Journal of Instructional Media**, v. 26, n. 1, p. 71, 1999.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of psychology**, 1932.
LONN, S. Using learning management systems for course projects: A case study of student collaboration. In: **Annual Meeting of the American Educational Research Association**. 2009. p. 1-13.

LÓPEZ-NICOLÁS, G.; ROMEO, A.; GUERRERO, J. J. Active learning in robotics based on simulation tools. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 22, n. 3, p. 509-515, 2014.

LOPEZ-NICOLAS, G.; ROMEO, A.; GUERRERO, J. J. Simulation tools for active learning in robot control and programming. In: **EAEIE Annual Conference**, 2009. p. 1-6.

LYONS, J. Learning with technology: theoretical foundations underpinning simulations in higher education. Future challenges, sustainable futures. Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education – Ascilite, 2012, Wellington. **Proceeding...** 2012, p. 582-586.

MAHNEGAR, F. Learning management system. **International Journal of Business and Social Science**, v. 3, n. 12, 2012.

MANSOR, M. S. A.; ISMAIL, A. Learning styles and perception of engineering students towards online learning. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 69, p. 669-674, 2012.

MAOR, D.; FRASER, B. J. An online questionnaire for evaluating students' and teachers' perceptions of constructivist multimedia learning environments. **Research in Science Education**, v. 35, n. 2, p. 221-244, 2005.

MATSAS, E.; BATRAS, D.; VOSNIAKOS, G. Beware of the robot: a highly interactive and immersive virtual reality training application in robotic manufacturing systems. **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 606-613.

MATSAS, E.; VOSNIAKOS, G. Design of a virtual reality training system for human-robot collaboration in manufacturing tasks. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, p. 1-15, 2015.

MICHAEL, J. Where's the evidence that active learning works?. **Advances in physiology education**, v. 30, n. 4, p. 159-167, 2006.

MILLER, G. A.; GALANTER, E.; PRIBRAM, K. H. **Plans and the structure of behavior**. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1960.

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

OMAR, N. D.; HASMAWATI, H.; ATAN, H. Student engagement in online learning: Learners attitude toward E-Mentoring. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 67, p. 464-475, 2012.

PANDEY, S. R.; PANDEY, S. Developing a more effective and flexible learning management system (LMS) for the academic institutions using Moodle. **ICAL 2009-Technol. Policy Innov**, p. 249-254, 2009.

PANITZ, T.. Collaborative versus Cooperative Learning: A Comparison of the Two Concepts Which Will Help Us Understand the Underlying Nature of Interactive Learning. **ERIC**, Maryland, 1999. Disponível em: < <https://eric.ed.gov/?id=ED448443>>. Acessado em: 22 abr. 2017.

PARDAMEAN, B. E. N. S.; SUPARYANTO, T.; KURNIAWAN, R.. Assessment of graph theory e-learning utilizing learning management system. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, v. 55, n. 3, p. 353-358, 2013.

PAVLOV, I. P.; ANREP, G. V. **Conditioned Reflexes. An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex.** Translated and Edited by G. V. Anrep. London, 1927.

PIETRA, M. L.; HOUNSELL, M. da S.; KEMCZINSKI, A.. The Skills-Space Model for Educational Content Representation as a Software Realization. In: **Anais: IFIP-WWCE: World Conference on Computers in Education.** 2009. p. 1-10.

PINTRICH, P. R.; DE GROOT, E. V. Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. **Journal of educational psychology**, v. 82, n. 1, p. 33, 1990.

PRINCE, M. J.; FELDER, R. M. Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. **Journal of engineering education**, v. 95, n. 2, p. 123-138, 2006.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. **Journal of engineering education**, v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004.

RAWLINGS, J. O.; PANTULA, S. G.; DICKEY, D. A. **Applied regression analysis: a research tool.** New York: Springer-Verlag, 1998.

REID, D. J.; ZHANG, J.; CHEN, Q. Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 19, n. 1, p. 9-20, 2003.

RICHEY, R. C. **The Legacy of Robert M. Gagne.** ERIC Clearinghouse on Information & Technology, Syracuse University, 621 Skytop Rd., Suite 160, Syracuse, NY 13244-5290, 2000.

RODRIGUES, G. P.; DE MAGALHÃES PORTO, C. Realidade Virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. **Interfaces Científicas-Educação**, v. 1, n. 3, p. 97-109, 2013.

ROGERS, C. R.; FREIBERG, H. J. **Freedom to learn**. 1. ed. Columbus : Charles E. Merrill, 1969.

RYAN, R. M.; CONNELL, J. P. Perceived locus of causality and internalization: examining reasons for acting in two domains. **Journal of personality and social psychology**, v. 57, n. 5, p. 749, 1989.

SAGUINO, T. J. M.; MÁRQUEZ, J. M. A. 3D-RAS: A new educational simulation tool for kinematics analysis of anthropomorphic robotic arms. **International Journal of Engineering Education**, 2011.

SAGUINO, T. J. M.; MÁRQUEZ, J. M. A. Simulation tool for teaching and learning 3D kinematics workspaces of serial robotic arms with up to 5 DOF. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 20, n. 4, p. 750-761, 2012.

SALLUM, S. A. Learning management system implementation: Building strategic change. **Distance Learning**, v. 5, n. 1, p. 68, 2008.

SCHWARZER, R.; BÄBLER, J.; KWIATEK, P.; SCHRÖDER, K.; ZHANG, J. X. The assessment of optimistic self-beliefs: comparison of the German, Spanish, and Chinese versions of the general self-efficacy scale. **Applied Psychology**, v. 46, n. 1, p. 69-88, 1997.

SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: Proceedings of the 30th conference on Winter simulation. **IEEE Computer Society Press**, 1998. p. 7-14.

SICILIANO, B.; SCIAVICCO, L.; VILLANI, L.; ORIOLO, G. **Robotics: modelling, planning and control**. London: Springer-Verlag, 2009, p. xi.

SKINNER, B. F.. **The behaviour of organisms: An experimental analysis**. New York: D. Appleton-Century Company Incorporated, 1938.

STEUER, J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, v. 42, n. 4, p. 73-93, 1992.

SWAAK, J.; JOOLINGEN, W. R. van; JONG, T. de. Supporting simulation-based learning; the effects of model progression and assignments on definitional and intuitive knowledge. **Learning and instruction**, v. 8, n. 3, p. 235-252, 1998.

TEIXEIRA, J. V.; HOUNSELL, M. da S. Educational Robotic Simulators: A Systematic Literature Review. In: **XX Conferência Internacional sobre Informática na Educação - TISE 2015, Santiago** p. 340-350 2015.

TEIXEIRA, J. V.; HOUNSELL, M. da S. Desenvolvimento de um Simulador Robótico Educacional 3D com Modos de Treinamento. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Joinville, **Anais...** 2017a.

TEIXEIRA, J. V.; HOUNSELL, M. da S. Impacto de um E-Learning e um Simulador 3D no Processo Ensino Aprendizagem de Robótica Industrial. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Joinville, **Anais...** 2017b.

TURNER, T. Piaget's Structuralism. Genetic Epistemology. JEAN PIAGET: Le structuralisme. JEAN PIAGET. **American Anthropologist**, v. 75, n. 2, p. 351-373, 1973.

TZAFESTAS, C. S.; PALAIOLOGOU, N.; ALIFRAGIS, M. Virtual and remote robotic laboratory: Comparative experimental evaluation. **IEEE Transactions on education**, v. 49, n. 3, p. 360-369, 2006.

VAN DER VEER, R.; VALSINER, J. **Understanding Vygotsky: A quest for synthesis**. Oxford: Blackwell Publishing, 1991.

VARGAS, H.; SÁNCHEZ, J.; JARA, C. A.; CANDELAS, F. A.; TORRES, F.; DORMIDO, S. A network of automatic control web-based laboratories. **IEEE Transactions on learning technologies**, v. 4, n. 3, p. 197-208, 2011.

VYGOTSKY, L. S. Os Métodos de Investigação Reflexológicos e Psicológicos. **Teoria e método em psicologia**, 1926.

WATSON, J. B. Psychology as the behaviorist views it. **Psychological review**, v. 20, n. 2, p. 158, 1913.

WERTHEIMER, M. **Productive thinking**. New York: Harper, 1959.

WILLIAMS, G. C.; DECI, E. L. Internalization of biopsychosocial values by medical students: a test of self-determination theory. **Journal of personality and social psychology**, v. 70, n. 4, p. 767, 1996

APÊNDICE A - TEORIAS PEDAGÓGICAS

A.1 INTRODUÇÃO

O processo de aprendizagem tem sido objeto de questionamentos desde os primeiros filósofos até os educadores de hoje, culminando no surgimento de diferentes teorias no século XIX (EDGAR, 2012). O Comportamentalismo guiou o entendimento do processo ensino-aprendizagem na primeira metade do século XIX. O condicionamento clássico de Pavlov e o condicionamento operacional de B. F. Skinner lançaram as bases para o entendimento da aprendizagem em nível comportamental, desconsiderando processos internos ao indivíduo tais como pensamentos, crenças e sentimentos.

Surgem então as teorias do cognitivismo, uma vez que as teorias comportamentalistas não eram suficientes para explicar como determinadas interações sociais eram capazes de influenciar a aprendizagem. O Construtivismo e o Instrucionismo foram algumas das teorias cognitivistas desenvolvidas com objetivo de aperfeiçoar o entendimento de como ocorre e de como favorecer o processo ensino-aprendizagem.

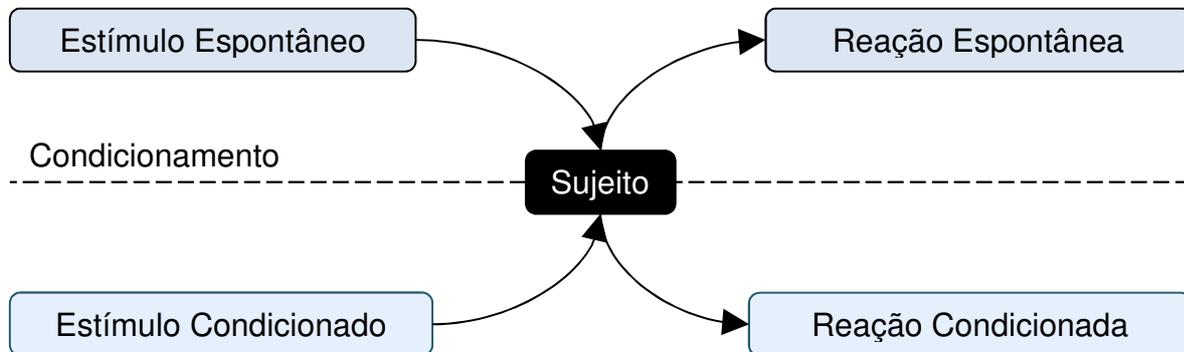
A.2 COMPORTAMENTALISMO

John Broadus Watson ficou conhecido como o fundador do comportamentalismo ao publicar, em 1913, críticas à subjetividade e complexidade presentes na metodologia proposta por Wilhelm Wundt e defendida por Edward Titchener, a saber, a introspecção. Segundo Watson a objetividade e a padronização das condições experimentais se faziam necessárias afim de fazer da psicologia uma ciência comparável à Física e à Química (WATSON, 1913).

Quatorze anos mais tarde Ivan Petrovich Pavlov publica os resultados de seus experimentos em condicionamento de animais por estímulos, por exemplo, o controle da salivação de um cão através estímulos sonoros, metodologia que ficou conhecida como condicionamento clássico (PAVLOV, 1927). Onze anos mais tarde Skinner que o livre arbítrio é uma ilusão e as ações humanas dependem das consequências de ações anteriores. Comportamentos com consequências ruins teriam pouca possibilidade de se repetirem, por outro lado, comportamentos com consequências positivas tornam-se mais prováveis. A isto Skinner chamou Princípio do Reforço (SKINNER, 1938). No Condicionamento Operacional, como ficou conhecido, o comportamento é modelado através de estímulos de reforço para comportamentos desejados e punições para comportamentos que se desejam eliminar. O declínio do Comportamentalismo teve início com as dificuldades em explicar como interações

sociais, crenças e pré-disposições poderiam influenciar o comportamento e aprendizado. A Figura 49 ilustra esquematicamente a abordagem do Comportamentalismo.

Figura 49 – Representação do Condicionamento Operacional de Skinner.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Como pode ser observado pela Figura 49, no Comportamentalismo o sujeito é visto como um sistema fechado, cujos processos mentais internos não estão acessíveis, mas somente os estímulos e as reações por eles encadeadas. Finalmente nos anos cinquenta os comportamentalistas não foram capazes de explicar satisfatoriamente o processo de aprendizagem de fonemas por crianças, processo demasiadamente complexo para ser explicado apenas através do Condicionamento Operacional de Skinner (HOFF, 2013) de forma que os pesquisadores careciam de uma abordagem que levasse em conta os processos mentais envolvidos, o Cognitivismo. Como legado o Comportamentalismo deixou as metodologias de condicionamento e o estabelecimento do rigor e controle experimental na psicologia.

A.3 COGNITIVISMO

O Cognitivismo ganhou força a partir dos anos cinquenta em oposição ao Comportamentalismo, cognitivistas em geral acusavam os comportamentalistas por negligência ao desconsiderarem processos mentais envolvidos na aprendizagem. Desde então muitas teorias pedagógicas foram propostas a partir do ponto de vista cognitivista. Uma das mais conhecidas teorias cognitivistas foi o Construtivismo do qual o mais proeminente autor foi Jean Piaget. Outras teorias desenvolvidas foram a Teoria do Processamento de Informação de Miller, Galanter e Pribram, e; a Teoria do Insight ou Gestalt de Wertheimer, Koffka e Köhler.

A.3.1 CONSTRUTIVISMO

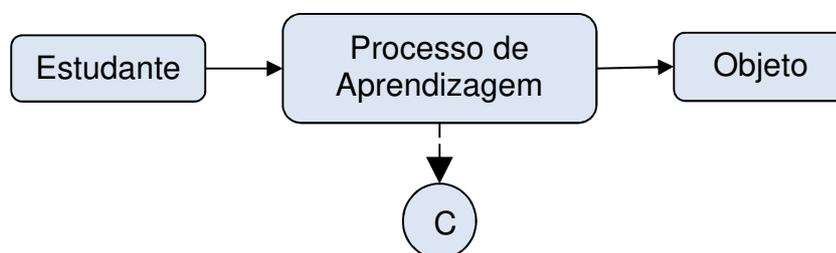
Piaget desenvolveu um modelo de desenvolvimento intelectual baseado em dois processos, o Equilíbrio e a Abstração Reflexiva (TURNER, 1973). A Construção é um processo de interações adaptativas que ocorrem entre um sistema ou entidade que apresenta um nível de organização previamente estabelecido, o sujeito, e o ambiente objetivo que o cerca. Através do processo de Construção formam-se as Estruturas. Há no sujeito um processo de adaptação cujo objetivo é estabelecer um equilíbrio no sistema resultante de si mesmo e o mundo que o cerca. Para tanto é preciso acomodar a Estrutura existente às condições objetivas impostas pelo ambiente, a cada nova acomodação o sujeito assimila a realidade objetiva ao nível estrutural existente. Toma lugar um processo assimilação de novas condições objetivas às estruturas pré-existente sob princípios mais gerais, de maior ordem e abstração suficientes para possibilitar a coexistência das mesmas, dá-se a este processo o nome de Abstração Reflexiva.

Na Assimilação o sujeito realiza operações sobre o ambiente para fazer com que este se adeque à Estrutura existente, de forma que o ambiente se altere em função do Estrutura, um processo complementar à Acomodação. Na Acomodação o ambiente age sobre o sujeito e sua Estrutura, modificando-os. O Equilíbrio busca a conciliação dos processos de Assimilação e de Acomodação. Assim, no processo de Construção e manutenção da Estrutura, a Abstração Reflexiva compreende os aspectos organizacionais e estruturais, enquanto que o Equilíbrio abarca os aspectos adaptativos e funcionais deste mesmo processo (TURNER, 1973). A teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget indica que existem níveis de desenvolvimento apropriados para a assimilação de novos conceitos, que só será possível quando a Estrutura possuir os elementos necessários para acomodar determinado conhecimento. Segundo Piaget (DUCKWORTH, 1964) existem quatro fatores que contribuem para o desenvolvimento intelectual, maturação do sistema nervoso, experimentação, transferências sociais e o Equilíbrio. As características do desenvolvimento encontradas por Piaget o levaram a concluir que o indivíduo é o principal responsável por seu desenvolvimento atuando ativamente no processo. Sobre o papel do indivíduo em seu desenvolvimento Piaget afirma (DUCKWORTH, 1964):

Quando digo "ativo", o digo em dois sentidos. Um deles é a ação sobre coisas materiais. Mas o outro é o de fazer as coisas em colaboração social, um esforço em grupo. Isto leva a uma estruturação fundamental da mente, onde as crianças devem comunicar-se com as outras. Este é um fator essencial no desenvolvimento intelectual. Cooperação é de fato co-operação.

No trecho acima observa-se como o Construtivismo teve papel fundamental no desenvolvimento de abordagens pedagógicas centralizadas no aprendiz, tais como o *Active Learning*, o *Collaborative Learning* e o *Problem Based Learning*, que serão abordados adiante. Apesar de sua aplicabilidade à diferentes áreas do conhecimento o Construtivismo possui limitada aplicação à sistemas baseados em símbolos, tais como os ritualísticos e místicos, ou em sistemas sociais e antropológicos devido ao seu foco nas ciências lógico-matemáticas (TURNER, 1973). A Figura 50 apresenta resumidamente o objetivo do Construtivismo.

Figura 50 – Representação do Construtivismo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Conforme pode ser observado na Figura 50, o Construtivismo procura descrever o Processo de Aprendizagem que ocorre entre o Estudante e seu objeto de estudo.

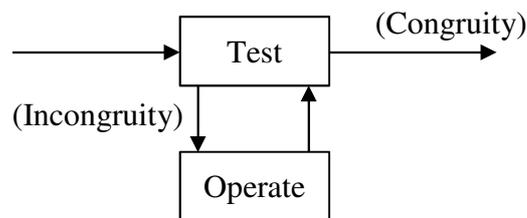
A.3.2 TEORIA DO PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO

A Teoria do Processamento de Informação (TPI) foi desenvolvida a partir das pesquisas de simulação cognitiva e analogias entre a tecnologia de computadores e a mente Miller et. al. (1960) reconheciam que a teoria comportamentalista deixava uma lacuna muito grande no entendimento a respeito do que se daria entre o estímulo e a resposta. Igualmente reconheciam que as teorias cognitivistas, como a teoria de adaptação de Piaget, deixavam uma lacuna relevante quanto ao que acontecia entre a chegada do estímulo à representação internalizada do universo e a concretização de uma ação propriamente dita pelo sujeito. Com efeito, o objetivo da TPI é o preenchimento da lacuna teórica presente no Cognitivismo. Para tanto os autores começam pela definição de Imagem, que abarca todo conhecimento que o sujeito possui sobre si mesmo e sobre o universo, e de Plano, no sentido de uma sequência hierárquica de processos que compreendem uma execução de uma ação, em nível macro de detalhamento ou micro, apesar da possibilidade de analogia entre estes com a definição de estímulo subjetivo e resposta subjetiva, tais analogias são descartadas tal como fora

descartada a teoria comportamentalista como base da TPI (MILLER et. al, 1960). A TPI busca, portanto, entender que interações ocorrem entre a Imagem e o Plano antes, durante e depois da execução de uma ação.

Para dar prosseguimento na análise através do método científico é necessário a definição de uma unidade de análise, da mesma forma que a biologia possui as células, a astronomia as estrelas e a física possui os átomos. O Comportamentalismo havia proposto o reflexo, porém a definição de reflexo era demasiadamente simples a ponto que os pesquisadores comportamentalistas encontravam dificuldades no uso da mesma devido às restrições por ela imposta. A TPI propõe o uso de uma nova unidade de análise chamada TOTE (*test-operate-test-exit*) na forma de um loop interativo de controle (Fig. 51).

Figura 51 – Representação da unidade TOTE.

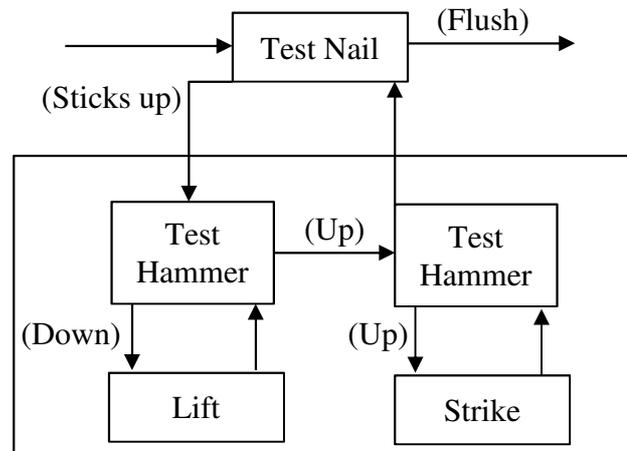


Fonte: MILLER, George A.; GALANTER, Eugene; PRIBRAM, Karl H. Plans and the structure of behavior. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1960.

A unidade proposta pode ser aplicada em qualquer nível, desde interações nervosas até resolução de problemas cotidianos. Como pode ser observado na Figura 51, a entrada do *loop* pode ser um estímulo, uma energia de sinapse ou uma informação, essa entrada gera uma incongruência no sistema que acarreta uma resposta corretiva, é feito um novo teste de congruência que em caso afirmativo finaliza o *loop*. A partir dessa definição o estímulo e a resposta devem ser vistos como partes concomitantes do *loop* de controle e não como um anterior ao outro. A Figura 52 usa o TOTE para descrever o Plano hierárquico da tarefa de pregar com um martelo em diferentes níveis de abstração.

Segundo a TPI o processo de ensino e aprendizagem consiste na verbalização de um determinado algoritmo para que este possa ser assimilado pelo aluno. Para facilitar a assimilação do algoritmo completo, é preciso subdividi-lo em módulos menores. Ensina-se cada habilidade ou fragmento do conhecimento em separado para uni-los posteriormente. O algoritmo completo poderá ser assimilado de forma mais confortável, assim como a tarefa de martelar modelada na Figura 52 pode ser subdividida em módulos TOTE.

Figura 52 – Plano hierárquico da tarefa de martelar um prego.



Fonte: MILLER, George A.; GALANTER, Eugene; PRIBRAM, Karl H. Plans and the structure of behavior. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1960.

Segundo a TPI o papel do instrutor é guiar o aluno durante o processo de assimilação de novas habilidades e conhecimentos, estes foram um dos conceitos utilizados por Robert Mills Gagné no desenvolvimento do Instrucionismo (RICHEY, 2000).

A.3.3 GESTALT

A Psicologia da Forma nasceu aproximadamente na década de 70 do século XIX, quando pesquisadores alemães e austríacos como Ehrenfels (1859-1932) e Krüger (1874-1948), começaram a estudar os fenômenos perceptuais humanos. Em 1890, Ehrenfels começa a divulgar as bases do que hoje chamamos de estudos da Psicologia da Forma (originalmente, Gestaltpsychologie). Em seus estudos concluiu que há duas espécies de “qualidades da forma”: as sensíveis, que são as qualidades próprias do objeto, e as formais, que são construídas a partir de nossas interpretações e concepções. É, portanto, do agrupamento de ambas as qualidades da forma do objeto que advém a percepção (COUNTINHO, 2008).

As pesquisas de Max Wertheimer e Wolfgang Köhler surgiram como uma reação às ideias vigentes na época de que todos os fatos psicológicos consistem de átomos inertes não-relacionados, e que os fatores que combinam esses átomos são associações formadas sob a influência de mera contiguidade. Era pensamento geral que as sensações envolvidas são determinadas individualmente pelos seus estímulos individuais, e deviam variar quando estes sofriam grande variação. No entanto as pesquisas da Gestalt mostraram que se bastavam manter constantes as suas relações para que se mantivessem os padrões de percepção (KÖHLER, 1961). A Gestalt iniciou a pesquisa no campo da percepção e estendeu-se à memória, ao aprendizado e à resolução de problemas. Segundo Max Wertheimer (1959), um

dos fundadores da Gestalt, para resolver uma determinada situação é preciso transitar de um estado inicial de confusão, onde não existe clareza sobre a relação entre as partes e as propriedades de um determinado problema, para um estado de clareza, onde todas as partes se encaixam e a solução se torna evidente. A Gestalt é a transição entre um estado de falta de significado para outro de completo sentido. Segundo Coutinho (2008), estratégias educacionais embasadas na Gestalt potencializam o aprendizado dos alunos e abre novas possibilidades metodológicas para o ensino. A Figura 53 apresenta o processo da Gestalt.

Figura 53 – Representação da Gestalt.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

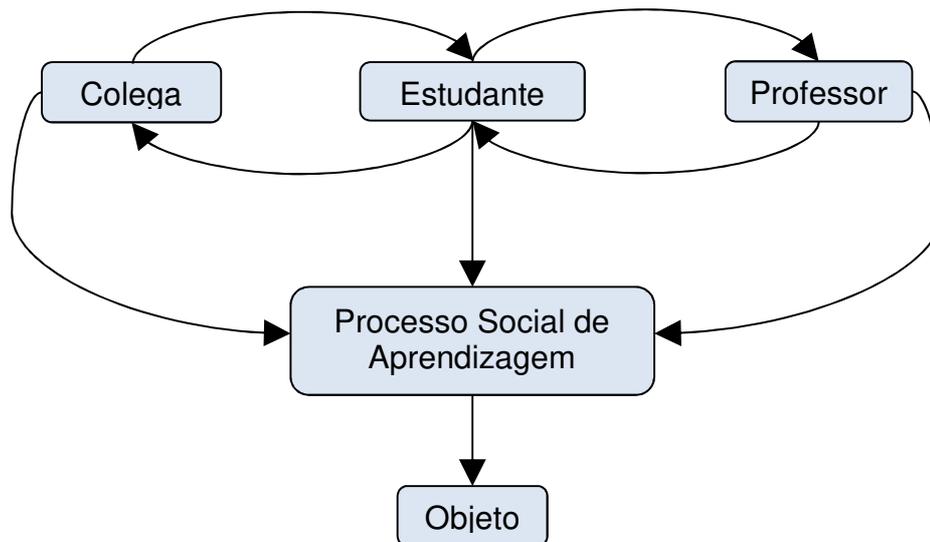
Como pode ser observado na Figura 53, a Gestalt é um processo mental que tem lugar entre o estímulo e a uma reação de percepção ou de entendimento por ele desencadeada.

A.3.4 CONSTRUTIVISMO SOCIAL

Lev Semyonovich Vygotsky, um psicólogo soviético, desenvolveu a teoria do desenvolvimento cultural e biossocial, também conhecida como psicologia histórico-cultural. Vygotsky (1926) baseou seus primeiros trabalhos no Comportamentalismo. O desenvolvimento de nossas reações é a história de nossas vidas. Se nós pudéssemos encontrar a verdade mais importante que a psicologia moderna pode oferecer aos professores esta seria simplesmente: O aprendiz é um aparelho de reações.

A partir de 1934 Vygotsky passa a dar mais crédito à perspectiva conciliatória manifestada por Koffka (VAN DER VEER, 1991). Um representante da Gestalt, que afirmou que o desenvolvimento cognitivo pode ser dividido em duas formas, o desenvolvimento a partir da maturação e o desenvolvimento a partir do aprendizado. Koffka (1935) afirma que enquanto alguns processos não são afetados pelo meio, outros carecem de um ambiente social para se desenvolver, como aprender a jogar cartas, por exemplo. No construtivismo social enfatiza-se a influência do meio social no desenvolvimento cognitivo e no processo ensino-aprendizagem (FANI et. al. 2011) (DEVRIES, 2000). A Figura 54 apresenta resumidamente o conceito de Construtivismo Social.

Figura 54 – Representação do Construtivismo Social.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Conforme pode-se observar na Figura 54, o conceito de Construtivismo Social abrange o meio social no qual o sujeito está imerso, considerando as interações que acontecem entre os pares durante o Processo de Aprendizagem Social.

A.3.5 INSTRUCIONISMO

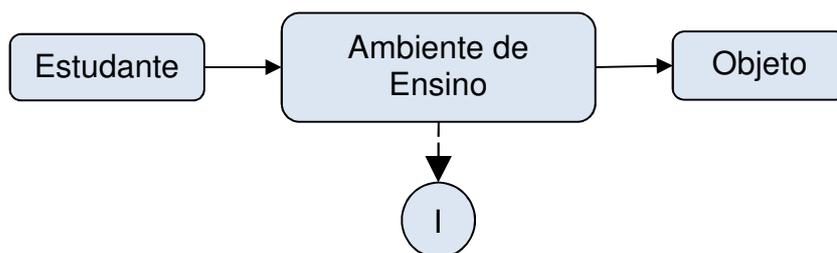
Robert Mills Gagné (1977) desenvolveu uma teoria cujo principal objetivo era propiciar as condições necessárias para a aprendizagem, desde habilidades psicomotoras até conhecimentos factuais. Devido às limitações das teorias pedagógicas, Robert Gagné utilizou uma base teórica eclética para o desenvolvimento do Instrucionismo. Os seus primeiros trabalhos, comumente classificados como comportamentalistas, estão ligados ao Associacionismo, que estuda como as ideias se associam através da experiência. Ainda dentro da tradição associacionista, seu trabalho se classifica com o Funcionalismo, que estuda os processos mentais necessários para as associações. Em 1970 a segunda edição de seu trabalho utiliza o modelo de processamento da informação (TPI) para descrever os processos mentais durante uma sequência de aprendizagem. A terceira edição de 1977 apresenta o Instrucionismo completamente integrado à TPI (RICHEY, 2000).

Gagné faz uso da TPI para descrever processos internos que surgem durante a aprendizagem concluindo que o ato de aprender será sempre resultado de uma cadeia de passos e interações que transformam informações de um tipo em outro. Com o Instrucionismo Gagné propõe que sejam desenvolvidos ambientes que favoreçam os processos internos da

aprendizagem, o autor propõe então um conjunto de Eventos da Instrução (EI) que deem o suporte necessário.

O Design Instrucional (DI) foi desenvolvido para se obter um ambiente que aplique todos os EI de maneira efetiva, no entanto uma discussão sobre o DI foge ao escopo deste trabalho. A Figura 55 apresenta resumidamente o Instrucionismo.

Figura 55 – Representação do Instrucionismo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Conforme pode-se observar na Figura 55, o Instrucionismo procura favorecer a aprendizagem agindo diretamente sobre o ambiente de ensino.

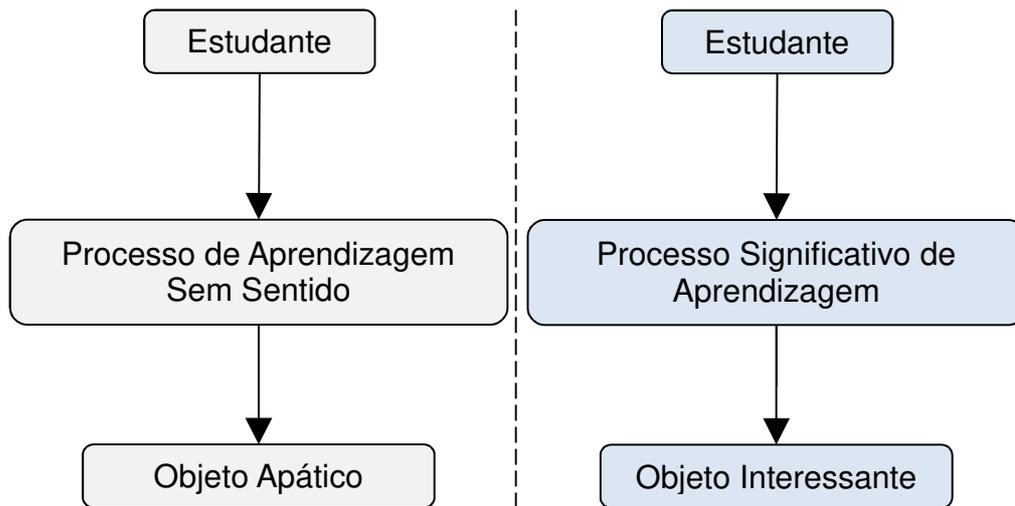
A.4 HUMANISMO

Carl Rogers foi um psicólogo norte americano muito reconhecido por seus trabalhos em psicoterapia e por criar a Psicologia Centralizada no Cliente. Segundo a qual o terapeuta, mais do que agir como um especialista que compreende o problema e decide sobre a maneira de resolvê-lo, deve liberar o potencial que o paciente possui para resolvê-los por si mesmo. Segundo a concepção de Rogers (1969) cada pessoa possui capacidade de se autoatualizar, a qual uma vez liberada, lhe permitiria resolver todos seus problemas. Esta mesma concepção da natureza humana é a proposta do Ensino Centralizado no Estudante, segundo a qual o papel do professor é o de favorecer a motivação e entusiasmo dos alunos em aprender coisas lhes façam sentido. Rogers define dois tipos de aprendizagem, a primeira semelhante à memorização de sons sem nenhum sentido como “baz, ent, nep, arl, lud” e outros semelhantes. Coisas de difícil aprendizado e que por não envolverem nenhum significado serão facilmente esquecidas, uma aprendizagem como essa envolve apenas a mente. Não envolve sentimentos ou significado pessoal, não tem relevância para a pessoa.

O segundo tipo é aquela aprendizagem cheia de sentido, experiencial, na qual o aprendiz está imerso no ato da aprendizagem em seus aspectos sensoriais, cognitivos e afetivos. É a aprendizagem da pessoa por inteiro, combinando o lógico e o intuitivo, o intelecto e os sentimentos, o conceito e a experiência, a ideia e o significado. Segundo Rogers

(1969) a inconstância do mundo moderno exige que estejamos em contínua aprendizagem, portanto a única coisa válida a se ensinar é como aprender, e o papel único do professor é o de facilitar essa aprendizagem. A Figura 56 apresenta resumidamente os estes dois tipos de aprendizagem.

Figura 56 – Representação dos tipos de aprendizagem segundo o Humanismo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

O Humanismo propõe, portanto, uma revolução no ensino, o professor deve ser autêntico, uma pessoa real, capaz de comunicar suas ansiedades e sentimentos, criar uma relação de liberdade responsável com os alunos para que estes participem ativamente do processo de aprendizagem.

APÊNDICE B – PROTOCOLO DE FILTRAGEM DA PBS E *AD HOC*

A partir dos objetivos definidos no contexto desta pesquisa foi realizada uma Pesquisa Bibliográfica Sistemática (PBS) (CONFORTO et. al. 2011) sobre simuladores aplicados ao ensino de robótica e sobre avaliação do impacto educacional destes simuladores ao serem aplicados ao ensino de robótica.

B.1 OBJETIVO

O objetivo primário da PBS é responder à seguinte questão: Quais são as melhores práticas e quais os impactos no uso de simuladores no ensino de robótica?

B.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Afim de atender ao objetivo primário da PBS deve-se responder às seguintes questões:

Q1. Que práticas são utilizadas para validação de simuladores robóticos educacionais?

Q2. Quais são os recursos tecnológicos oferecidos pelos simuladores robóticos educacionais?

B.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Para seleção de forma sistemática foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

IC1. Aplicação de simuladores no ensino de robótica industrial;

IC2. Uso de simuladores ou realidade virtual para laboratórios de robótica;

IC3. Estudos sobre o impacto educacional e motivacional no uso de simuladores robóticos.

E os seguintes critérios de exclusão:

EC1. Aplicação de simuladores no ensino de robótica móvel, ou treinamento de cirurgias auxiliadas por robôs, ou qualquer outra aplicação fora do contexto da robótica industrial fixa.

EC2. Trabalhos sem nenhum tipo de avaliação educacional.

EC3. Trabalhos sem acesso ao texto completo.

B.4 FRASES DE PESQUISA E FONTES DE BUSCA

Para realizar a PBS nos diferentes mecanismos de busca acadêmicos (MBA) foram extraídas palavras chave dos critérios de exclusão. Estas palavras chaves foram agrupadas a partir de operadores lógicos para formarem uma frase de pesquisa a ser utilizada nos mecanismos de busca.

Utilizando-se operadores AND e OR para os critérios de inclusão e NOT combinado com outros operadores para agrupar os critérios de exclusão. A primeira parte da frase (Robot* OR "Industrial Manipulator") foi pensada para retornar artigos relacionados com aplicações robóticas industriais. O segundo agrupamento de palavras chave (Simulator OR Simulation OR "Virtual Reality") tem objetivo de restringir a busca ao contexto de aplicações de simuladores ou realidade virtual. A terceira parte (Education* OR Training OR Teaching OR Learning OR Evaluation OR Assessment) tem como objetivo retornar artigos com aplicações educacionais e com avaliação do impacto do uso de simuladores no ensino de robótica. Estes três primeiros grupos foram obtidos a partir dos critérios de inclusão e do objetivo da PBS, o último agrupamento (Mobile OR Vehicle OR Surgical OR Surgery OR Chirurgical OR Medic*) deriva dos critérios de exclusão e tem por objetivo excluir dos resultados o máximo de artigos que não se enquadram nos objetivos deste trabalho por discutirem aplicações médicas, robótica móvel e outras aplicações fora do contexto da robótica industrial fixa. Utilizando a frase resultante em alguns mecanismos de busca percebeu-se que entre os resultados algumas aplicações médicas apareciam com bastante frequência, foram identificados ainda os termos Gait, Da Vinci trainer, Rehabilitation e Vinci.

Na expressão foi utilizado o coringa “*”, símbolo utilizado para procurar por diferentes ocorrências que contenham uma determinada raiz, Robot*, por exemplo, corresponde a Robotics, Robots ou Robot. À época da execução deste protocolo de PBS nem todos os MBA davam suporte ao uso de operadores lógicos e concatenação através de parênteses. Desta forma foram necessárias algumas adaptações na execução da PBS em diferentes MBA, preservou-se, no entanto, a mesma estrutura semântica nas diferentes versões adaptadas para cada MBA. Para atender os propósitos desta PBS foram utilizados os seguintes MBA: ACM Digital Library (ADL), Google Scholar (GS); IEEE Explore (IEEE), Science Direct (SD), Scopus, Springer Link (SL) and Web of Knowledge (WOS) (BUCHINGER et. al., 2014).

B.5 RESULTADOS

A busca, organização e seleção dos resultados deram-se no período compreendido entre maio e junho de 2015. A frase de busca foi aplicada pesquisa somente por título, esta estratégia foi adotada com o intuito de reduzir a quantidade de resultados espúrios retornados pelos MBA ao utilizarmos outras opções de busca. Contudo, alguns MBA não davam suporte ao uso de frases ao realizar busca por títulos, desta forma obteve-se um total bruto de 794 artigos dos sete MBA utilizados. Para auxiliar na filtragem foram utilizadas planilhas para

classificar os resultados obtidos pela WOS e alguns mecanismos de busca textual do Mendeley™ para filtrar os resultados obtidos pela PBS. Esta pré-filtragem utilizou (Robot * or "Industrial Manipulator") como frase reduzindo o total de 794 para 413 artigos.

B.2.1 Primeira Etapa de Filtragem

Durante este passo fez-se a leitura do título, resumo e palavras chave para identificar os artigos que poderiam ser excluídos baseando-se no EC1 e EC2. Ao fim deste processo 334 artigos foram eliminados baseando-se no EC1.

B.2.2 Segunda Etapa de Filtragem

A leitura da introdução e da conclusão foi realizada para aplicação dos critérios de exclusão nos artigos remanescentes da etapa anterior. Um total de 69 artigos foram eliminados, 30 baseando-se no EC1, 26 baseando-se no EC2 e 13 tomando-se por base o EC3. É importante notar que esta contagem não leva em consideração a duplicação de alguns resultados em diferentes MBA. Dos 13 resultados eliminados pela EC3 obtém-se apenas 6 artigos ao considerarmos resultados duplicados.

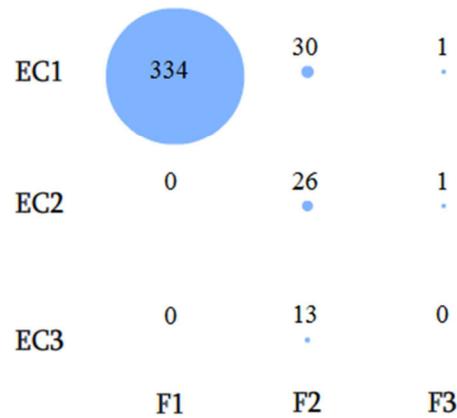
B.2.3 Terceira Etapa de Filtragem

Uma leitura completa foi realizada nos dez artigos remanescentes afim de assegurar a elegibilidade com respeito aos critérios de exclusão. Nesta etapa foram eliminados dois artigos, um pela EC1 e outro pela EC2. Ao fim do processo apenas oito artigos foram selecionados para comporem as análises e dados da PBS.

B.2.4 Análise da Seleção

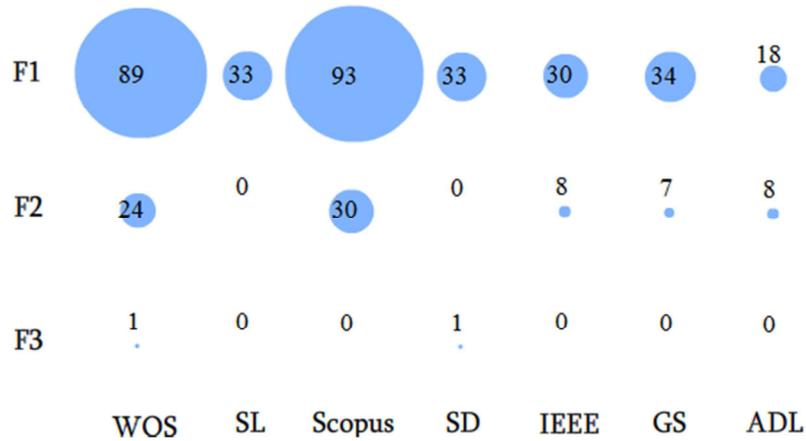
As próximas figuras ilustram diferentes detalhes do processo de filtragem. Pode-se observar que a maioria dos artigos foram excluídos na primeira etapa de filtragem baseando-se no EC1 (Fig. 57). Cerca de 80% dos artigos foram excluídos na etapa F1 (Fig. 58). Esse expressivo número de artigos excluídos mostram a importância do processo de filtragem, os MBA não foram capazes de retornar apenas os artigos desejados. O Springer Link, por exemplo, ao tempo desta pesquisa não dava suporte ao uso de frases na busca por títulos (Fig. 59). O WOS, apesar de permitir o uso de frases, retornou muitos resultados que forma excluídos em F1, por exemplo, muitos dos resultados retornados atenderam à frase de pesquisa mesmo sendo sobre aplicações médicas.

Figura 57 – Trabalhos excluídos em função dos critérios de exclusão e etapas de filtragem.



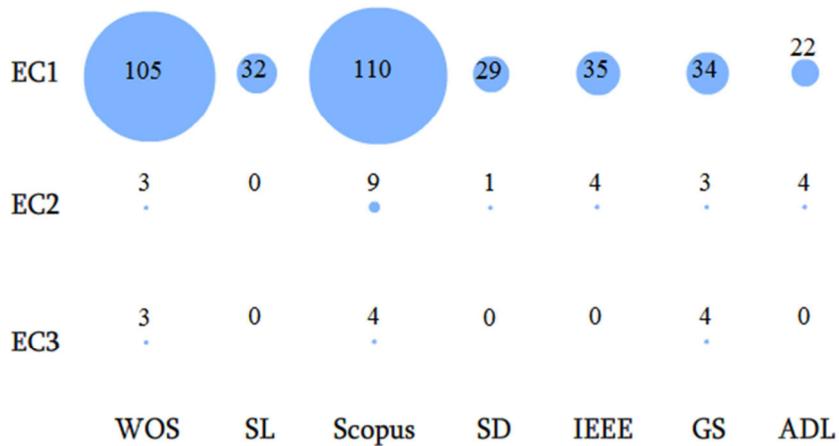
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 58 – Trabalhos excluídos em função das etapas de filtragem e MBA.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Figura 59 – Trabalhos excluídos em função dos critérios de exclusão e MBA.



Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

B.2.5 Artigos Selecionados

Seis dos oito artigos foram selecionados pelo IC1, tratando-se do desenvolvimento de simuladores para cursos de robótica. Apenas dois dos artigos selecionados abordaram o desenvolvimento de um simulador para treinamento, a saber, os artigos publicados por Matsas et. al. (2013 e 2015). A Tabela 24 indica os trabalhos selecionados listando seus autores, ano de publicação e o critério de inclusão adotado.

Tabela 24 – Trabalhos selecionados pela PBS.

Ref.	MBA	IC	Ano
Lopez-Nicolas et. al.	GS IEEE Scopus WOS	1	2009
	ADL Scopus WOS	1	2014
Cao	Scopus	1	2011
Sanquino et. al.	Scopus WOS	1	2011
	Scopus WOS	1	2012
Lee et. al.	Scopus WOS	1	2013
Matsas et. al.	GS Scopus	2	2012
	Scopus	2	2015

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

B.2.6 Artigos *Ad Hoc*

Afim de aumentar extensão desta revisão da literatura foi realizada uma revisão convencional da literatura no GS e no SD. A busca utilizou as frases ““Educational Robotics”, “Virtual Laboratory”, “Simulated Laboratories” e “Learning Outcomes”, foram lidas as dez primeiras páginas dos resultados ordenados por relevância. Este processo resultou na adição de mais cinco artigos. A exemplo da Tabela 24, a Tabela 25 indica os artigos selecionados *ad hoc*.

Tabela 25 – Inclusão de trabalhos *ad hoc*.

Ref.	MBA	IC	Ano
Tzafestas et. al.	GS	1	2006
Hashemipour et. al.	GS	1	2011
Vargas et. al.	GS	1	2011
Jara et. al.	SD	1	2011
	GS	1	2012

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE C – AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO TEÓRICO-PRÁTICO



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
COORDENADORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO - CEPG

O que você sabe sobre Robótica?

Data: ____/____/____

Nome Completo: _____ Idade: _____ anos

Curso: _____ Semestre: _____

Questão 1. Quanto às características construtivas de manipuladores industriais pode-se afirmar que:

- a) Por robô manipulador industrial se entende uma máquina de manipulação automática, programável e multifuncional com três ou mais eixos;
b) Robôs de 4ª geração possuem controle adaptativo, capacidade de auto reprogramação se baseando em seus sensores;
c) A maioria dos robôs industriais possuem 6 graus de liberdade, no punho esférico se concentram os três últimos, cujos movimentos se denominam *Roll, Pitch* and *Yaw*;
d) Todas as alternativas estão corretas.

Avalie sua confiança ao responder:

0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------------

Questão 2. Quanto aos fundamentos matemáticos da robótica pode-se afirmar que:

- a) Baseia-se em sistemas de coordenadas, em matrizes de transformação homogênea e formulações algébricas;
b) A Cinemática Direta obtém os parâmetros das juntas do robô em função da posição da garra;
c) A Cinemática Inversa obtém a posição da garra em função dos parâmetros das juntas do robô;
d) Todas as alternativas estão corretas.

Avalie sua confiança ao responder:

0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------------

Questão 3. Com relação à anatomia de um robô é correto afirmar:

- a) No robô serial os elos são unidos entre si por juntas de maneira que os elos formem um loop fechado;
b) Um braço robótico é geralmente formado por quatro elos, a saber, a base, o braço, o antebraço e o punho;
c) As juntas são utilizadas para unir os elos de um manipulador, são sempre rotacionais em robôs industriais;
d) Todas as alternativas estão corretas.

Avalie sua confiança ao responder:

0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------------

Questão 4. Com relação aos sistemas de coordenadas é correto afirmar:

- a) Com apenas dois sistemas de coordenadas, um fixado na base, e outro fixado na garra, é possível modelar completamente um manipulador que possua cinco elos e quatro juntas;
b) Os sistemas de coordenadas são utilizados para a partir de um ponto de referência chamado de origem do sistema possam ser atribuídas coordenadas a um ponto arbitrário;
c) Apenas o sistema de coordenadas esférico é utilizado em modelagem geométrica de robôs por melhor se ajustar ao volume de trabalho da maioria dos manipuladores;
d) Todas as alternativas estão corretas.

Avalie sua confiança ao responder:

0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------------

Questão 5. Com relação aos diferentes tipos de juntas robóticas é correto afirmar que:										
a) A junta rotacional (R): É composta por duas juntas, uma rotacional e uma prismática;										
b) A junta prismática ou linear (L): Funciona com a combinação de três juntas de rotação, realizando a rotação em torno de três eixos, possuindo então três graus de liberdade;										
c) A junta planar (P): É composta por duas juntas prismáticas, realiza movimentos em duas direções. Correspondendo a dois graus de liberdade;										
d) Nenhuma das anteriores.										
Avalie sua confiança ao responder:										
0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza

Questão 6. Qual o papel dos limites das juntas de um robô:										
a) Garantir que o robô não colidirá consigo mesmo;										
b) Garantir que o robô não colidirá com a superfície sobre a qual foi fixado;										
c) Restringir as posições de alcance do robô;										
d) Nenhuma das anteriores.										
Avalie sua confiança ao responder:										
0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza

Questão 7. Com relação ao ponto central da ferramenta acoplada ao punho de um robô pode-se dizer:										
a) Todos os ângulos das juntas influenciam na posição final do ponto central da ferramenta;										
b) Todos os ângulos das juntas influenciam na orientação final da ferramenta;										
c) A obtenção dos ângulos das juntas a partir da posição e orientação final da ferramenta é chamada Cinemática Direta;										
d) Nenhuma das anteriores.										
Avalie sua confiança ao responder:										
0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza

Questão 8. O Volume de Trabalho, definido pela união dos pontos de máximo alcance do robô em todas as direções, de um robô antropomórfico com braço articulado pode ser representado por um:										
a) Cubo (como uma caixa);										
b) Cilindro (como uma lata);										
c) Esfera (como uma bola);										
d) Cone (como uma casca de sorvete).										
Avalie sua confiança ao responder:										
0-Chutei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-Certeza

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO, ROTEIROS E GABARITO

APRESENTAÇÃO

Título do Projeto: Ambiente para Auxílio à Aprendizagem de Tarefas Robóticas

O(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar de um estudo que fará a identificação e implementação de um ambiente de aprendizagem de tarefas robóticas em um simulador 3D. Os dados serão coletados na forma de um questionário após a execução de uma tarefa com tempo total aproximado de 100 minutos para o experimento. As pessoas que estarão acompanhando o estudo serão um estudante de mestrado (Jônatas Venancio Teixeira) e o professor responsável (Marcelo da Silva Hounsell). **O(a) senhor(a) poderá se retirar do estudo a qualquer momento sem necessitar dar nenhum tipo de explicação.** Solicitamos entretanto, a vossa autorização para o uso dos dados coletados para a produção de textos científicos (monografias, artigos científicos, etc) e garantimos a sua privacidade que será mantida através da não-identificação do seu nome em nenhum momento nem a disponibilização dos dados a outras pessoas. Agradecemos a vossa participação e colaboração.

JÔNATAS VENANCIO TEIXEIRA, MARCELO DA SILVA HOUNSELL

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, minhas respostas serão coletadas na forma de um questionário. Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso _____ .

Assinatura _____ Data: _____ .

Questionário Demográfico

Gênero: () Masculino, () Feminino Idade: _____

Sigla/Nome do Curso : _____ Fase: _____

Grau de conhecimento em **aplicações 3D** (jogos, CAD, simuladores, etc..)?

() Avançado, () Experiente, () Intermediário, () Pouco, () Nenhum

Grau de conhecimento em **robótica** fixa?

() Avançado, () Experiente, () Intermediário, () Pouco, () Nenhum

Roteiro Simplificado de Cinemática Direta

Nome: _____

(Horário de início: _____, Horário de finalização: _____)

- 1) Identifique abaixo os valores máximos e mínimos dos ângulos das juntas do robô (uma junta do robô equivale a uma articulação – como cotovelo, punho, etc)

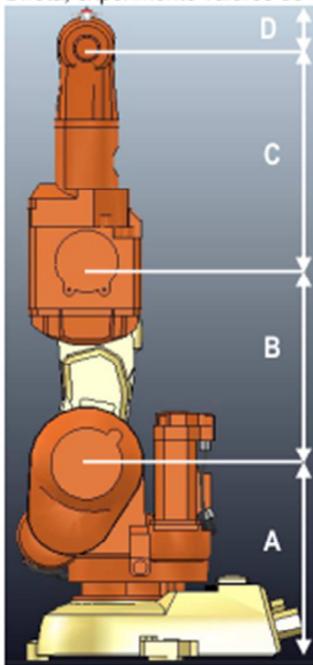
Ângulo	Máximo
Segunda Junta (base-braço)	

Ângulo	Mínimo
Terceira Junta (braço-antebraço)	

- 2) Identifique abaixo quais os valores máximos e mínimos que o robô alcança no Espaço Euclidiano, ou seja, nos eixos X, Y e Z.

Eixo	Máximo
Y	

- 3) Identifique abaixo os valores (em mm) das dimensões do robô (Sugestão: através da janela de Cinemática Direta, experimente valores de 90° para cada junta):



B = Braço	
-----------	--

Roteiro Completo de Cinemática Direta

(Horário de início: _____, Horário de finalização: _____)

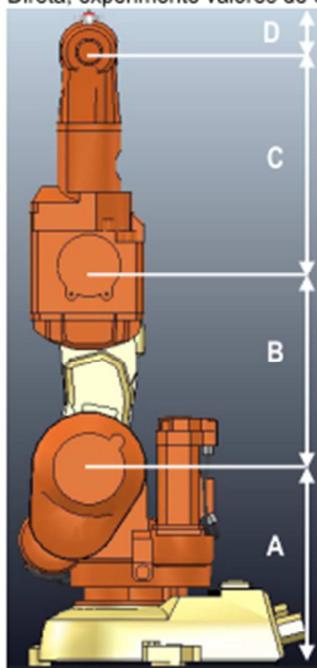
- 1) Identifique abaixo os valores máximos e mínimos dos ângulos das juntas do robô (uma junta do robô equivale a uma articulação – como cotovelo, punho, etc)

Ângulo	Mínimo	Máximo
Primeira Junta (base)		
Segunda Junta (base-braço)		
Terceira Junta (braço-antebraço)		
Quarta Junta (rotação-antebraço)		
Quinta Junta (elevação-garra)		
Sexta Junta (rotação-garra)		

- 2) Identifique abaixo quais os valores máximos e mínimos que o robô alcança no Espaço Euclidiano, ou seja, nos eixos X, Y e Z .

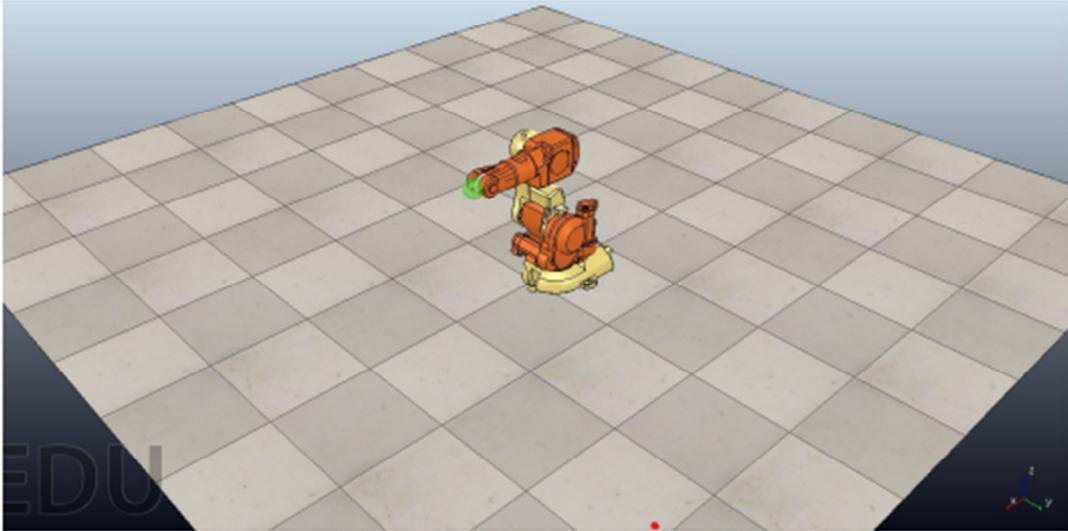
	Mínimo	Máximo
X		
Y		
Z		

- 3) Identifique abaixo os valores (em mm) das dimensões do robô (Sugestão: através da janela de Cinemática Direta, experimente valores de 90° para cada junta):



A = Base	
B = Braço	
C = Antebraço	
D = Garra	

- 4) Desenhe uma área hachurada para representar em cada imagem abaixo o espaço de trabalho do robô (Espaço de trabalho é uma forma de representar todo o volume onde o Ponto Final da Garra- PFG – consegue alcançar).



Questionário de Satisfação

- Qual o nível de dificuldade que você atribuiria ao **roteiro**(0 - baixo a 5 - alto)? _____
- O quanto que você acha que **roteiro** lhe **ensinou** a entender e conhecer a cinemática de um robô articulado (0 - nada a 5 - muito)? _____
- Qual foi sua maior **dificuldade**? Por que?

- Comente três (3) pontos **fortes** do ROLE.

- Comente três (3) pontos **fracos** do ROLE.

- Comentário livre (*bugs*, elogios, confusões, surpresas, omissões, beleza, etc..).

Gabarito Roteiro Experimental de Cinemática Direta**(Horário de início: _____, Horário de finalização: _____)**

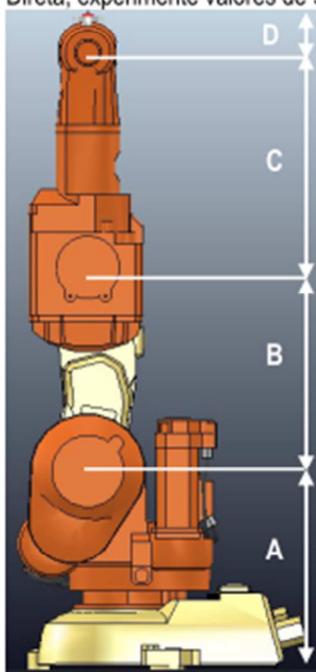
- 1) Identifique abaixo os valores máximos e mínimos dos ângulos das juntas do robô (uma junta do robô equivale a uma articulação – como cotovelo, punho, etc)

Ângulo	Mínimo	Máximo
Primeira Junta (base)	0 (-180)	360 (180)
Segunda Junta (base-braço)	-110	90
Terceira Junta (braço-antebraço)	-50	230
Quarta Junta (rotação-antebraço)	0 (-180)	360 (180)
Quinta Junta (elevação-garra)	-120	120
Sexta Junta (rotação-garra)	0 (-180)	360 (180)

- 2) Identifique abaixo quais os valores máximos e mínimos que o robô alcança no Espaço Euclidiano, ou seja, nos eixos X, Y e Z .

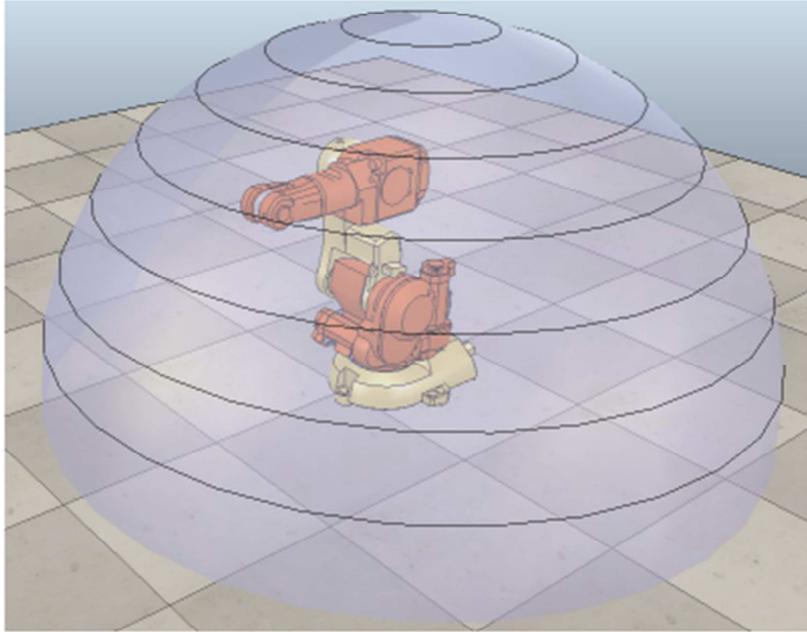
	Mínimo	Máximo
X	-2.83	14.58
Y	-8.7	8.7
Z	0	11.5

- 3) Identifique abaixo os valores (em mm) das dimensões do robô (Sugestão: através da janela de Cinemática Direta, experimente valores de 90° para cada junta):



A = Base	3.5
B = Braço	3.6
C = Antebraço	3.8
D = Garra	0.6

- 4) Desenhe uma área hachurada para representar em cada imagem abaixo o espaço de trabalho do robô (Espaço de trabalho é uma forma de representar todo o volume onde o Ponto Final da Garra- PFG – consegue alcançar).



APÊNDICE E – TAREFAS DO MODO EXPLORATÓRIO

Conforme apresentado em 4.4.3 o V-ROLE possui duas versões do Modo Exploratório, uma versão simplificada com 4 tarefas e uma versão completa com 23 tarefas. O enunciado de cada uma destas tarefas será apresentado a seguir. As tarefas comuns às versões simplificada e completa estarão marcadas com o símbolo ■, as demais tarefas pertencem exclusivamente à versão completa.

- 1) Encontre a Dimensão do Primeiro Elo - Base
Posicione o manipulador de forma que a dimensão do Primeiro Elo seja mostrada na coordenada do eixo z positivo. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento. Lembre-se de utilizar a opção A.P. e deslocamentos entre 0.1 e 1 para obter valores exatos de posicionamento.
- 2) Encontre a Dimensão do Segundo Elo - Braço
Posicione o manipulador de forma que a soma das dimensões dos dois primeiros Elos seja mostrada na coordenada do eixo z positivo. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento. Lembre-se de utilizar a opção A.P. e deslocamentos entre 0.1 e 1 para obter valores exatos de posicionamento.
- 3) Encontre a Dimensão do Terceiro Elo - Antebraço
Posicione o manipulador de forma que a soma das dimensões dos três primeiros Elos seja mostrada na coordenada do eixo z. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento. A obtenção da dimensão do antebraço requer procedimentos análogos a da dimensão do braço.
- 4) Encontre a dimensão do Quarto Elo - Garra
Posicione o manipulador de forma que a soma das dimensões dos quatro Elos seja mostrada na coordenada do eixo z. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento. A obtenção da dimensão da garra requer procedimentos análogos a da dimensão do antebraço.
- 5) Encontre o Máximo Alcance em X Positivo
Posicione o manipulador de forma que o valor mostrado na coordenada do eixo x positivo seja o maior possível. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 6) Encontre o Máximo Alcance em X Negativo
Posicione o manipulador de forma para o valor mostrado na coordenada do eixo x negativo seja o menor possível. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 7) Encontre o Máximo Alcance em Y Positivo
Posicione o manipulador de forma que o valor mostrado na coordenada do eixo y positivo seja o maior possível. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 8) Encontre o Máximo Alcance em Y Negativo
Posicione o manipulador de forma que o valor mostrado na coordenada do eixo y negativo seja o menor possível. Após posicionar clique "Testar" para verificar o posicionamento.

- 9) Encontre o Máximo Alcance em Z Positivo
Posicione o manipulador de forma que o valor mostrado na coordenada do eixo z seja o maior possível. Após posicionar clique "Testar" para verificar o posicionamento.
- 10) Encontre o Mínimo Alcance em Z Positivo
Posicione o manipulador de forma que o valor mostrado na coordenada do eixo z seja o menor possível. Após posicionar clique "Testar" para verificar o posicionamento.
- 11) Encontre o Valor Máximo da Primeira Junta
Utilize Deltas variados e posicione a primeira Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 12) Encontre o Valor Mínimo da Primeira Junta
Utilize Deltas variados e posicione a primeira Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 13) Encontre o Valor Máximo da Segunda Junta
Utilize Deltas variados e posicione a segunda Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 14) Encontre o Valor Mínimo da Segunda Junta
Utilize Deltas variados e posicione a segunda Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 15) Encontre o Valor Máximo da Terceira Junta
Utilize Deltas variados e posicione a terceira Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 16) Encontre o Valor Mínimo da Terceira Junta
Utilize Deltas variados e posicione a terceira Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 17) Encontre o Valor Máximo da Quarta Junta
Utilize Deltas variados e posicione a quarta Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 18) Encontre o Valor Mínimo da Quarta Junta
Utilize Deltas variados e posicione a quarta Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 19) Encontre o Valor Máximo da Quinta Junta
Utilize Deltas variados e posicione a quinta Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.
- 20) Encontre o Valor Mínimo da Quinta Junta
Utilize Deltas variados e posicione a quinta Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.

21) Encontre o Valor Máximo da Sexta Junta

Utilize Deltas variados e posicione a sexta Junta em sua posição angular máxima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.

22) Encontre o Valor Mínimo da Sexta Junta

Utilize Deltas variados e posicione a sexta Junta em sua posição angular mínima. Após posicionar clique em "Testar" para verificar o posicionamento.

23) Identificando o Volume de Trabalho do Manipulador

Movimente o Robô livremente a fim de identificar o lugar geométrico definido pela união dos pontos de máximo alcance do Robô em todas as direções, conhecido como volume de trabalho, escolha uma das três opções clicando sobre sua imagem.

APÊNDICE F – CÓDIGOS DO RELATÓRIO DE USO DO V-ROLE

Os Quadros de 2 a 6 apresentam a correspondência dos códigos gravados nos relatórios de uso e a Interface de Controle do IRB140. O Quadro 6 apresenta a correspondência dos códigos e as tarefas do Modo Exploratório.

Quadro 2– Códigos correspondentes às opções de valores de Delta.

Valor de Delta	Código	Valor de Delta	Código	Valor de Delta	Código
180	5001	10	5004	0,5	5006
90	5002	5	5005	0,1	5007
45	5003	1	5006	0,05	5008

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 3 – Códigos correspondentes aos controles de Cinemática Direta.

Controle	Código	Controle	Código	Controle	Código
Junta 1-	3001	Junta 3-	3005	Junta 5-	3009
Junta 1+	3002	Junta 3+	3006	Junta 5+	3010
Junta 1 rolagem	1001	Junta 3 rolagem	1003	Junta 5 rolagem	1005
Junta 2-	3003	Junta 4-	3007	Junta 6-	3011
Junta 2+	3004	Junta 4+	3008	Junta 6+	3012
Junta 2 rolagem	1002	Junta 4 rolagem	1004	Junta 6 rolagem	1006

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 4 – Códigos correspondentes aos controles de Cinemática Indireta.

Controle	Código	Controle	Código	Controle	Código
X -	4001	Z -	4005	Beta -	4009
X +	4002	Z +	4006	Beta +	4010
X rolagem	2001	Z rolagem	2003	Beta rolagem	2005
Y -	4003	Alpha -	4007	Gama -	4011
Y +	4004	Alpha +	4008	Gama +	4012
Y rolagem	2002	Alpha rolagem	2004	Gama rolagem	2006

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 5– Códigos correspondentes de outros controles.

Controle	Código	Controle	Código	Controle	Código
Alta Precisão	5010	Vel. Juntas	6001	Vel. Trabalho	6002
Home do IBR140	6003				

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 6 – Códigos correspondentes às Tarefas do Modo Exploratório.

	Tarefa	Código		Tarefa	Código		Tarefa	Código
1	validada	-1	9	validada	-17	17	validada	-33
	malsucedida	-2		malsucedida	-18		malsucedida	-34
2	validada	-3	10	validada	-19	18	validada	-35
	malsucedida	-4		malsucedida	-20		malsucedida	-36
3	validada	-5	11	validada	-21	19	validada	-37
	malsucedida	-6		malsucedida	-22		malsucedida	-38
4	validada	-7	12	validada	-23	20	validada	-39
	malsucedida	-8		malsucedida	-24		malsucedida	-40
5	validada	-9	13	validada	-25	21	validada	-41
	malsucedida	-10		malsucedida	-26		malsucedida	-42
6	validada	-11	14	validada	-27	22	validada	-43
	malsucedida	-12		malsucedida	-28		malsucedida	-44
7	validada	-13	15	validada	-29	23	validada	-45
	malsucedida	-14		malsucedida	-30		malsucedida	-46
8	validada	-15	16	validada	-31		malsucedida	-48
	malsucedida	-16		malsucedida	-32			

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE G – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO

G.1 APLICAÇÃO ÀS TURMAS DO ENSINO TÉCNICO, GRADUAÇÃO E MESTRADO

Ao responder ao Questionário de Satisfação presente no Roteiro Experimental Completo, os aprendizes citaram as seguintes dificuldades:

“Acesso e primeiro contato com o sistema;
 Alcances diferentes na segunda junta;
 Entender o que era pra fazer no programa;
 Precisão nos movimentos;
 Coletar os ângulos;
 Utilizar o sistema no início;
 Interpretar tarefas;
 Entender o movimento das juntas;
 Interpretação dos movimentos do punho, definição da imagem;
 Confusão entre valores máximos e mínimos;
 Interpretar as variações das juntas com o movimento desejado;
 Entender os eixos cartesianos na base do robô;
 Tempo;
 Visualização 3D;
 Entender os movimentos;
 Interface;
 Dificuldade de interpretar as tarefas;
 Atribuir valores;
 Assimilar nomenclatura do robô;
 Movimentar o robô;
 Entender como lidar com o software;
 Cálculo das dimensões do robô;
 Lentidão;
 Encontrar as posições máximas x, y e z;
 Mudar o sentido do braço durante o movimento;
 Compreender as funções;
 Entender o funcionamento do controle das juntas, faltou clareza na explicação;
 Precisão do software;
 Entender inicialmente o que deveria ser feito;
 Entender o funcionamento pois pulei alguns modos;
 Problemas com lentidão;
 Entender o funcionamento dos comandos;
 Dificuldade com lentidão.”

Aos serem questionados a respeito dos pontos fortes os usuários citaram:

“Leve, simples, funcional;
 Gráficos, opções de controle e animação;
 Simulação fiel, fácil controle, visual adequado;
 Realismo, fácil aprendizagem, tutorial bem definido;
 Fácil visualização e entendimento, prático;
 Interface prática, tutorial, realismo da simulação;
 Interface e manipulação do robô;
 Visual facilita o entendimento, botão de teste permite diferentes alternativas, boa visão da aplicabilidade de robôs;
 Visualização dos movimento, comandos e ações na mesma tela, muito intuitivo;
 Interface, simulação, menu explicativo seguindo o roteiro;
 Didático, fácil manipulação, interativo;
 Fácil de usar, interface gráfica, método de ensino;
 Facilidade, didática e gráficos;
 Visualização, dinâmica, autoexplicativo;

Alcance do robô, movimentos, agilidade;
 Depois que entende é fácil, prático e dinâmico;
 Visualização, coordenadas visíveis, velocidade de simulação;
 Didático, gráficos, prático;
 Modo exploratório, gráficos, janelas de ajuda;
 Autoexplicativo, interativo, intuitivo;
 Bem explicado, intuitivo, gráficos;
 Interface amistosa, relativamente fácil de entender;
 Prático, fácil utilização, fácil assimilação;
 Instruções e teste;
 Interface amigável, objetividade, prático
 Visual, interação;
 Fácil aprendizado, prático, interativo;
 Fácil entendimento, fácil manuseio e boa precisão de movimento nos ângulos;
 Informações interessantes, exercícios intuitivos e simulação;
 Didático, bons gráficos, bons comentários;
 Intuitivo, educativo, amigável. ”

Aos serem questionados a respeito dos pontos fracos os usuários citaram:

“Alguns menus e funções complexas, travamentos, muitos clicks na movimentação;
 Identificação das juntas, espaço de visualização pequeno;
 Dificil entendimento do roteiro experimental;
 Dificuldade no ajuste dos ângulos, falta de atalhos no teclado para movimentação,
 falta avisos de erro e dicas;
 Travamentos, inicialmente confuso;
 Poluição visual, falta botão de ajuda, dificuldade no ajuste dos ângulos;
 Qualidade do tutorial, software offline, precisão nos movimentos;
 Confuso o inverse kinematics;
 Precisão, definição da imagem, instabilidade do software;
 Não vi nenhum;
 Limitações de comando, precisão, gráfico;
 Fechamento do aplicativo, falta de precisão;
 Transição manual entre estágios;
 Não há pontos fracos;
 Demora um pouco pra pegar a manha;
 Falta implementar o programa com manipulação de objetos;
 Lento, legenda das tarefas poderia ser mais simples;
 Lentidão, problemas de precisão nos limites das juntas;
 Baixo nível teórico e de cálculo;
 Lento, difícil identificar o botões que se podem usar, botões + e -;
 Lento;
 Falta clareza nas explicações, lentidão;
 Precisão e lentidão;
 Não identifiquei pontos fracos;
 O texto deixa muito fácil o alcance do objetivo;
 Didática complexa, falta aplicação prática, software pesado;
 Lento;
 Lento. ”

Foram obtidos os seguintes comentários livres:

“Bug ao inserir nome e matricula;
 Travamentos no modo exploratório;
 Apenas um incidente de travamento, simples e de fácil utilização e instalação;
 Muito bom o trabalho desenvolvido;
 Instalação fácil;
 Falta de acentuação do texto;
 Achei muito boa a técnica;

Surpreso com a eficiência no aprendizado, a falta de ilustrações dinâmicas no ensino tradicional prejudica a evolução mais rápida do conhecimento;
 Alguns textos a serem corrigidos;
 Dificuldades na tela de login;
 Legal, gostei;
 Valeu como experiência e despertou curiosidade sobre o assunto;
 Beleza;
 A parte teórica no MEH²-RECE é muito maçante, poderia ser substituída por vídeos ou aula presencial;
 Lentidão nos comandos;
 Alguns comentários não foram claros, demorou pra entender, faltou cinemática inversa;
 Interface poderia ser mais amigável;
 Vídeos seriam mais práticos para ensinar a mexer no programa;
 Travamentos ao utilizar o programa, necessita de alta configuração;
 Bug de precisão no limite das juntas rotacionais;
 Programa lento na máquina usada;
 Programa lento na máquina usada. ”

G.2 TESTE FINAL – CURSO TÉCNICO EM MECATRÔNICA

Quanto às dificuldades encontradas obteve-se as seguintes respostas:

“ Dificuldade para encontrar os valores nos eixos X, Y e Z devido à influência das juntas;
 Reconhecer os eixos X, Y e Z e sua orientação com relação à base do robô;
 Posicionamento das juntas;
 Não houve dificuldades;
 Não houve dificuldades. ”

Quanto aos pontos fortes obteve-se as seguintes respostas:

“ Didático, deu para aprender muita coisa;
 Explicativo, ajuda a entender o robô;
 Gráficos e didática;
 Bem detalhado, interativo e de fácil manipulação;
 Identificação dos eixos. ”

Quanto aos pontos fracos obteve-se as seguintes respostas:

“ Impossibilidade de digitar o valor angular desejado nas juntas;
 Não há pontos fracos;
 Dificuldades com precisão;
 Precisão no movimento das juntas;
 Não há pontos fracos. ”

Houve somente um comentário livre:

“ Bem dinâmico e intuitivo, fácil compreensão e guia de ajuda bem prático”