



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Estudos de Linguagens

Luan Alison Cardoso de Carvalho

**MODELAGEM DE ARQUITETURA DE SOFTWARE DE UM ROBÔ
MANIPULADOR DE BLOCOS INTERATIVO POR CONVERSAÇÃO**

Belo Horizonte

2018

Luan Alison Cardoso de Carvalho

**MODELAGEM DE ARQUITETURA DE SOFTWARE DE UM ROBÔ
MANIPULADOR DE BLOCOS INTERATIVO POR CONVERSAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Estudos de Linguagens – POSLING – do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Estudos de Linguagens.

Área de concentração: Processos Discursivos e Tecnologias

Linha de pesquisa: III – Linguagem, ensino, aprendizagem e tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Vicente Aguiar Parreiras

Belo Horizonte (MG)

2018

Carvalho, Luan Alison Cardoso de.
C331m Modelagem de arquitetura de software de um robô manipulador
de blocos interativo por conversação / Luan Alison Cardoso de
Carvalho. - 2018.
93 f. : il., fotos, tabs.
Orientador: Vicente Aguiar Parreiras

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em
Estudos de Linguagens, Belo Horizonte, 2018.
Bibliografia.

1. Inteligência Artificial. 2. Processamento de Linguagem Natural
3. Robôs. 4. Linguagem. 5. Conhecimento. I. Parreiras, Vicente
Aguiar. II. Título.

CDD: 006.35

Luan Alison Cardoso de Carvalho

**MODELAGEM DE ARQUITETURA DE SOFTWARE DE UM ROBÔ
MANIPULADOR DE BLOCOS INTERATIVO POR CONVERSAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Estudos de Linguagens – POSLING – do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 18 de Maio de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Estudos de Linguagens, aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Vicente Aguiar Parreiras – CEFET/MG – (Orientador)

Prof. Dr. Heitor Garcia de Carvalho – CEFET/MG

Prof. Dr. Jerônimo Coura-Sobrinho – CEFET/MG

Dedico este trabalho à minha mãe, Salete Maria Cardoso, que me ensinou com a vida e o exemplo o que é coragem, laboriosidade e abnegação.

Agradeço às minhas irmãs, Loren Aparecida C. C. Félix Stocler e Lorena Adrian Cardoso de Carvalho pelo apoio, suporte e paciência em tudo.

Ao meu irmão Paulo Henrique Salles de Carvalho, que mesmo a distância é uma fonte de inspiração.

Ao meu pai José Carlos de Carvalho que desde cedo me possibilitou a exercitar a curiosidade e a arte da pesquisa.

Aos amigos Pe. Marcelo do Carmo Ferreira, Tiago Falconieri Monteiro e Guilherme de César Almeida, amigos que a Providência me concedeu e hoje são como membros da família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus Uno e Trino, que me criou e deu inteligência e vontade para, com o *cor inquietum*, buscar a Verdade em cada uma de suas manifestações.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vicente Aguiar Parreiras pela confiança, amizade e apoio nesse trabalho. Devo a ele a capacidade de confiar mais no êxito desse trabalho que a mim mesmo;

Ao Prof. Dr. Heitor Garcia de Carvalho por sua audácia em trazer ao LPLC um objeto de pesquisa tão desafiador e intrigante e suas intervenções e colaborações durante o processo da pesquisa;

Ao Prof. Dr. Jerônimo Coura-Sobrinho, pelos diálogos desenvolvidos durante a disciplina ministrada, que me propiciaram conhecer o admirável mundo novo das pesquisas em Português como Língua Estrangeira. Também pelo aceite ao convite de participar desta banca avaliadora;

Ao Prof. Dr. Renato Caixeta da Silva, por sua empatia ao apontar soluções em momentos em que eu só via barreiras, e pela excelente condução nas disciplinas que foram fundamentais para compreender conceitos chave importantes para a presente pesquisa;

Aos professores do POSLING, que me auxiliaram na incursão ao estudo da linguística e assim abriram as portas para um novo universo de conhecimento, até então desconhecido;

A cada amigo e colega que de algum modo colaborou na confecção desse trabalho no apoio teórico, técnico, ou mesmo emocional. Há um pouco de cada um de vocês nessas linhas também.

RESUMO

Desde o início dos trabalhos em Inteligência Artificial, um dos focos das pesquisas do campo esteve voltado a capacitar os computadores a compreender as informações codificadas em uma língua humana comum, como o Inglês e Português. Após alguns trabalhos iniciais em tradutores automáticos e em programas de conversação como o *chatbot* ELIZA, o trabalho de Terry Winograd apontou a necessidade em fornecer informações extratextuais e contextualização do tema tratado nas sentenças linguísticas para que a máquina pudesse de fato compreender a língua humana. Embora tal trabalho tenha apontado um significativo avanço, o experimento por ele desenvolvido, o robô virtual SHRDLU, caiu em esquecimento sendo abandonado pelo próprio criador. Décadas mais tarde, o projeto foi integrado às pesquisas do grupo INFORTEC na tentativa de ressuscitar o referido projeto. Contudo, embora seja significativo o trabalho desenvolvido por Winograd, constatou-se que, por limitações teóricas sobre as relações entre linguagem, conhecimento e realidade, alguns pontos de ambiguidades semânticas, apontados em trabalhos anteriores, estariam fadados a se repetir caso fizesse apenas uma recriação literal do programa. Propõe-se então, como alternativa, uma nova construção do programa, apontando soluções possíveis para os problemas detectados, considerando os desenvolvimentos técnicos, teóricos e tecnológicos desde a construção do programa original até o presente.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Processamento de Linguagem Natural; robô SHRDLU; Linguagem; Conhecimento.

ABSTRACT

Since the beginning of the research effort in Artificial Intelligence, one of the focuses of research in this field has been aimed at enabling computers to understand information encoded in a common human language, such as English and Portuguese. After some initial work on automatic translators and chatbots such as ELIZA, the work of Terry Winograd pointed out the need to provide extratextual information and contextualization of the topic dealt with in the language sentences so that the machine could actually understand the human language. Although this work has indicated a significant advance, the experiment developed by him, the virtual robot SHRDLU, fell into oblivion being abandoned by the creator himself. Decades later, the project was integrated into the investigations of the research group "Nucleus of Research in Language and Technology - INFORTEC of the Federal Center of Technological Education of Minas Gerais - CEFET-MG in an attempt to resuscitate the mentioned project. However, although the work developed by Winograd is significant, it was found that, due to theoretical limitations on the relations between language, knowledge and reality, some points of semantic ambiguity, pointed out in previous works, would be doomed to be repeated if only a re-creation literal of the program. As an alternative, a "software architecture" is proposed, aiming at a new construction of the computational program, pointing out possible solutions to the detected problems, considering the technical, theoretical and technological developments from the construction of the original program to the present.

Keywords: Artificial Intelligence; Natural Language Processing; SHRDLU robot; Language; Knowledge

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Exemplo de execução do SHRDLU.	24
FIGURA 2	- Modelo de Gramática de Estados Finita.	28
FIGURA 3	- Árvore Sintática para geração de sentença.	31
FIGURA 4	- O <i>continuum</i> da instanciação do texto.	42
FIGURA 5	- Sistema de Polaridade.	43
FIGURA 6	- Exemplo de rede de sistemas utilizada pelo SHRDLU.	45
FIGURA 7	- Amostra de análise do SHRDLU em ambas as versões.	47
FIGURA 8	- Exemplo hipotético de movimentação de bloco pelo SHRDLU.	48
FIGURA 9	- Análise dos passos 11 e 12 do diálogo no experimento de Winograd.	49
FIGURA 10	- Modelo de Mundo de Winograd.	53
FIGURA 11	- Modelagem do SHRDLU.	73
FIGURA 12	- Visão do <i>robotplc</i> em contexto de ação.	74
FIGURA 13	- Constituição do <i>robotplc</i>	75
FIGURA 14	- Organização interna do <i>robotplc</i>	78
FIGURA 15	- CoreNLP: demarcação dos grupos gramaticais	79
FIGURA 16	- CoreNLP: reconhecimento de entidades nomeadas.	80

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	- Aplicação das variáveis de contexto.	39
QUADRO 2	- Variáveis de contexto e suas metafunções correspondentes.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET-MG	-	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
IA	-	Inteligência Artificial
INFORTEC	-	Núcleo de Pesquisa em Linguagem e Tecnologia
LISP	-	<i>List Processor</i>
LPLC	-	Laboratório de Pesquisas em Leitura e Cognição
MIT	-	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
PLN	-	Processamento de Linguagem Natural
UMR	-	<i>University of Missouri-Rolla</i>

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO ESTUDO	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.4.1 <i>Objetivo Geral</i>	17
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
1.5 METODOLOGIA	18
1.5.1 <i>NATUREZA DA PESQUISA</i>	19
1.5.2 <i>ESTRUTURA METODOLÓGICA DA PESQUISA</i>	21
1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	22
2 O SHRDLU E O ROBOTLPCL	23
2.1 O SHRDLU.....	23
2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA UTILIZADA POR WINOGRAD.....	25
2.2.1 <i>Linguística Gerativista de Chomsky</i>	25
2.2.2 <i>Gramática Sistemico-Funcional de Halliday</i>	35
2.3 DO SHRDLU AO ROBOTLPCL.....	46
2.3.1 <i>A análise do sistema</i>	46
2.3.2 <i>O robô físico</i>	52
3 REALIDADE, CONHECIMENTO E LINGUAGEM	53
3.1 A ESTRUTURA DE CONHECIMENTO NO SHRDLU	53
3.2 O CONHECIMENTO HUMANO.....	57
3.2.1 <i>Fenomenologia do Conhecimento</i>	58
3.2.2 <i>O sujeito do conhecimento</i>	60
3.2.2.1 <i>O papel dos sentidos e a informação empírica</i>	63

3.2.2.2 O papel da razão e os conceitos organizadores.....	66
3.3 A REALIDADE.....	67
3.4 A LINGUAGEM	68
3.4.1 <i>Linguagem e conhecimento</i>	69
4 MODELAGEM DO ROBOTLPLC	71
4.1 MODELAGEM DE SISTEMA.....	71
4.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO SOFTWARE	72
4.3 MODELAGEM DO ROBOTLPLC.....	74
5 CONCLUSÃO	82
5.1 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA MODELAGEM PROPOSTA.....	82
5.2 PROPOSTAS DE PESQUISAS FUTURAS	83
5.2.1 <i>Pesquisas com o modelo virtual</i>	84
5.2.2 <i>Pesquisas com o robô físico</i>	85
6 REFERENCIAS.....	86
APÊNDICE A - Histórico das pesquisas sobre PLN no INFORTEC / LPLC.	88

1 INTRODUÇÃO

A ambição de construir com “as próprias mãos” um ser semelhante ao homem é registrada desde tempos imemoriais. Mitos como o de Pigmalião e Galatéia¹, ou a busca pela criação de homúnculos no período do Renascimento, auge da alquimia e das crenças pré-científicas, mostra que em diversos momentos a humanidade queria replicar no mundo um ser que era semelhante a si, porém não gerado pelas vias naturais.

Há quem julgue que tal ambição nasça da vaidade, porém pode ser vista como um reflexo de uma realidade angustiante da grandeza humana. Somos seres únicos, enquanto espécie a habitar o planeta. Somos o *zōon logikon* (transliterando do grego *zōon logikón*) animais dotados da razão e da fala, do pensar e do discursar.

Não muito diferente dos homens do passado, em nossa era há aqueles que procuram replicar, em construtos artificiais, as qualidades que nos diferem dos demais seres vivos. Apoiados na ciência moderna e contemporânea, diversas pesquisas são feitas no campo da Inteligência Artificial (doravante IA), de modo que as características acima mencionadas, o pensar e o discursar, possam ser replicados, ao menos em parte, em dispositivos projetados para atender a determinadas demandas.

Denomina-se Processamento de Linguagem Natural (doravante PLN), o sub-ramo da IA responsável pelo estudo de métodos computacionais para compreensão de informações contidas em expressões da língua natural. Por língua natural, são chamadas as línguas faladas pelos seres humanos, formadas organicamente no decorrer da história da humanidade. Tais línguas diferem das línguas artificiais, que possuem estruturas formais rígidas, criadas para atender a necessidades humanas de escopo bem definido, como por exemplo a linguagem da Lógica Proposicional, as linguagens de programação e a linguagem Matemática.

¹ Personagens da mitologia grega no qual Pigmalião, um famoso escultor, esculpe uma mulher ideal em mármore e a estátua, ganhando vida por intervenção divina, torna-se sua esposa. Fonte: <https://www.infoescola.com/mitologia-grega/pigmaliao-e-galateia/>

A presente pesquisa de mestrado trata da Modelagem de uma arquitetura de software para a construção de um robô manipulador de blocos interativo por conversação e se enquadra como parte dos estudos desenvolvidos no Laboratório de Pesquisas em Leitura e Cognição (LPLC)² nos âmbitos do Núcleo de Pesquisa em Linguagem e Tecnologia (INFORTEC) grupo de pesquisa do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (doravante CEFET-MG).

1.1 Contextualização histórica do estudo

O PLN está contido na IA desde o nascimento dessa última. Através do artigo intitulado *Computing Machinery and Intelligence*, Alan Turing (1950) propõe o chamado jogo da imitação, no qual um indivíduo deveria interagir, apenas através de textos digitados, com dois interlocutores distintos. Caso ele seja incapaz de julgar, apenas pelas respostas dadas, quem é o interlocutor humano e quem é a máquina, essa máquina seria então dita inteligente. Em tal artigo, considerado o fundador da IA, é preciso que a máquina seja capaz de receber sentenças em língua natural e consiga extrair dela as informações passadas pelo jogador.

Nos finais dos anos 60 e início dos 70, no *Massachusetts Institute of Technology* (doravante MIT), Terry Winograd realiza seu trabalho de doutoramento no qual ele procura responder a questão sobre como fazer o computador compreender a linguagem humana. Tal questionamento surge após alguns experimentos fracassados relatados pelo próprio Winograd (1971), como as primeiras tentativas de construção de máquinas tradutoras, ou o programa ELIZA³ que aparenta simular uma sessão de psicoterapia.

Em sua tese, Winograd (1971) aponta para a necessidade de dotar os computadores de uma faculdade além da capacidade de realizar manipulações de símbolos linguísticos e conversões de estruturas em outras mais simples - procedimento denominado *parsing*. Tal faculdade seria o conhecimento sobre o assunto tratado nas sentenças transmitidas ao computador.

² Ver Apêndice A sobre o histórico das pesquisas sobre PLN desenvolvidas no LPLC.

³ O primeiro programa de conversação entre máquina e humano, chamados *chatbot*. Sua aplicação mais famosa foi o programa DOCTOR que simula a atuação de um psicoterapeuta interagindo com o paciente por meio de reconhecimento temático das frases e alterações estruturais para garantir a sustentação do diálogo. Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/ELIZA>

Como parte de demonstração da sua tese, ele desenvolve um programa, o robô virtual SHRDLU⁴ – também chamado nesse trabalho SHRDLU1972 – que simula um robô em um mundo de blocos, de modo que esse robô é capaz de manipular esses blocos caso o seu interlocutor, um humano, requisite a ele em língua natural. Também, segundo Wingorad (1971), ele responderia a perguntas sobre o mundo de blocos, ou sobre as atividades realizadas caso assim o interlocutor o interrogasse. E por fim, ele seria capaz de aprender novas palavras se o interlocutor lhe ensinasse por meio de uma definição, também em língua natural.

Após Winograd defender sua tese, tal trabalho cai em esquecimento, sendo abandonado inclusive pelo seu autor, já que este muda seu foco de pesquisa para as pesquisas em interação homem-máquina. Somente na década de 1990 estudantes da *University of Missouri Rolla* (UMR), buscaram ressuscitar o programa de Winograd, versão aqui chamada SHRDLU1990, modernizando-o, propondo-se a codificá-lo em uma linguagem de programação mais atual, e dar-lhe uma melhor interface gráfica.

Desde 2006, o projeto de Winograd passa a ser objeto de pesquisa no CEFET-MG. Percebendo o potencial que o robô tem para a educação transdisciplinar e para estudos na área de linguística, iniciou-se uma série de pesquisas com vistas a, não apenas trazer o programa de Winograd de volta a vida, como também a dar-lhe um corpo físico, criando uma estrutura capaz de comportar o software original. A partir de então, pesquisas desenvolvidas no grupo do LPLC, como a de Marques (2009), Souza (2014) e Jesus (2016), foram feitas no intento de realizar essa proposta. Em seguimento aos trabalhos citados encontra-se o presente trabalho.

1.2 Justificativa

A análise crítica realizada por Marques (2009) e aprofundada por Souza (2014) constatou que o programa original de Winograd (1971) disponibilizado na internet, aparentemente, não é executável em computadores atuais. Igualmente o

⁴ Nome dado ao robô virtual desenvolvido por Winograd, derivado de ETAOIN SHRDLU que são as sequências de letras, em ordem decrescente de uso, mais frequentes em língua inglesa usadas em um linotipo.

programa SHRDLU1990, o projeto ressuscitado pelos estudantes da UMR, embora se diga estar em uma linguagem de programação atual, a linguagem Java, somente a parte de interface gráfica do programa se encontra escrito na mesma linguagem, enquanto o núcleo do programa continua escrito em um dialeto LISP⁵.

Como a análise de performance do SHRDLU1990 demonstrou ser inferior à performance do programa original, descartou-se a ideia de usá-lo como fonte primária de pesquisa. Jesus (2016) propôs em seu trabalho fazer, então, uma tradução do programa original, SHRDLU1972, para a linguagem de programação LOGO⁶, que possui semelhança com a linguagem LISP e é aplicável a fins educacionais.

Neste trabalho optou-se por realizar uma estratégia diversa de seu predecessor. Não se buscou fazer uma simples tradução de código fonte para qualquer outra linguagem, mas escrever um programa próprio baseado nas ideias que formam o SHRDLU.

Tal postura se justifica pelos seguintes motivos:

- a) Defasagem de tempo: ainda que a relevância do trabalho de Winograd (1971) seja grande, a tecnologia e a própria ciência da IA desenvolveram desde a publicação da tese até os dias atuais. Limitações da abordagem utilizada por Winograd, que será mostrado adiante no trabalho, levaram ao desenvolvimento de novos paradigmas dentro da própria IA na busca de solucioná-los;
- b) Problemas inerentes à tradução: As linguagens de programação possuem características próprias, e modos próprios de tratar determinados problemas. Ao traduzir um programa de uma linguagem à outra, determinadas soluções aplicadas em uma linguagem podem não ser tratadas corretamente na outra. Além disso, após o trabalho da tradução, há o trabalho da resolução dos problemas de interesse de pesquisa propriamente ditos, configurando um trabalho duplo; A escrita de um programa inteiramente novo permite que, já na fase de

⁵ Nome designado a uma família de linguagens de programação interpretada desenvolvida para fins de pesquisa em IA no MIT. Seu nome deriva da expressão *LISt Processor* uma vez que a linguagem opera por criação e manipulação de estruturas denominadas Listas.

⁶ Linguagem de programação baseado numa adaptação de um dialeto LISP criado para fins educacionais.

projeto e implementação, tais questões possam ser abordadas e sanadas;

- c) Documentação e acompanhamento histórico de desenvolvimento: O software, sendo de autoria própria, passa a ter toda suas especificações documentadas pelos desenvolvedores/usuários, inclusive correções e evoluções, não sendo necessário recorrer a terceiros para adaptá-los;
- d) Abordagem flexível para finalidades diversas: Além de buscar a implementação alvo, os projetos atuais de software trabalham com a política de reutilização de código. Desse modo, ainda que o objetivo imediato seja a implementação do *robot/plc*, os módulos do programa podem ser reutilizados em pesquisas diferentes.

Tais motivos justificam o empreendimento realizado nessa pesquisa na construção de uma arquitetura que seja capaz de atender as demandas atuais para o LPLC mantendo aberto o caminho para futuras pesquisas na área do PLN.

1.3 Problema de pesquisa

A tese de Winograd (1971) contribuiu para um passo importante nos estudos de PLN. Ao estabelecer que a compreensão da linguagem depende do conhecimento prévio do tema referenciado pelas sentenças linguísticas, seu trabalho favoreceu o processo de identificação de referentes como, por exemplo, em casos de colocações pronominais.

Como aponta Russel e Norvig (2004), porém, tal feito ocorria apenas no escopo limitado do micromundo de blocos. O nível de compreensão adquirido era limitado pelo universo de possibilidades fornecido pelo contexto simulado. Além disso, as sentenças usadas por Winograd (1971) eram as mais simples e diretas possível. Uma estrutura mais complexa com períodos longos na qual o referente não esteja próximo ao referenciado não é apresentada deixando margem a dúvida sobre a desambiguação em situações semelhantes.

As constatações de Marques (2009) apontam para esse sentido. Sua análise de performance do SHRDLU, com base nas duas versões do *software*, revelou que o programa original em si era limitado. Além disso, o software de 1990 apresentou

vários *bugs* que não constam no programa original, conforme relatado na tese de Winograd (1971).

Diante desse cenário, levanta-se como problema de pesquisa a possibilidade de replicação do experimento de Winograd (1971) para estudos sobre PLN. Como seria possível prosseguir com a pesquisa, se o software original não é executável em computadores modernos e a versão mais recente disponível não é funcional? E mais, como buscar solucionar, nesses mesmos softwares, os problemas decorrentes da limitação da própria concepção e projeto do SHRDLU? Os limites encontrados por Winograd (1971) são puramente tecnológicos ou há alguma limitação de cunho teórico na formulação do programa? Como fazer o programa tornar-se viável e funcional?

1.4 Objetivos da Pesquisa

Este trabalho soma-se a outros que vêm sendo desenvolvidos no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG desde 1997 no esforço de expandir as pesquisas em PLN e auxiliar na ampliação da compreensão dos fenômenos linguísticos envolvidos na interação homem-máquina por meio de simulações feitas no robotlplc que é a versão física do SHRDLU, um robô virtual desenvolvido por Winograd (1971), capaz de comunicar-se via linguagem natural. Nesta pesquisa, propusemos uma atualização da arquitetura de software do robô virtual que possibilite replicar o experimento célebre realizado por Winograd (1971) como parte de seu projeto de doutoramento no MIT na tentativa de solucionar os problemas de ambiguidade semântica constatados.

1.4.1 Objetivo Geral

Inicialmente, foi proposto para esse trabalho a modelagem e implementação, para validação da mesma modelagem, de tal *software*. Entretanto, ao aprofundar nas pesquisas referentes aos requisitos que a modelagem exigia, verificou-se que outras pesquisas se fariam necessárias para que a implementação do *software* fosse realizada.

Portanto, esse trabalho delimitou-se como sendo seu objetivo geral propor a modelagem de um novo programa capaz de replicar o experimento de Winograd (1971), considerando as análises críticas feitas pelos trabalhos anteriores citados. Assim, a modelagem visa a ser uma replicação melhorada do experimento.

1.4.2 Objetivos específicos

Tendo em vista alcançar o objetivo geral estabelecido, elencaram-se os seguintes objetivos específicos na execução do trabalho:

- a) Revisão da literatura sobre o tema, em particular atenção ao trabalho de Winograd (1971), Marques (2009), Souza (2014) e Jesus (2016);
- b) crítica teórica do trabalho de Winograd (1971) a luz da Filosofia e de seus contributos para as Ciências Cognitivas, análogo ao trabalho de Dreyfus (1972; 2007;

1.5 Metodologia

Em vista do problema de pesquisa abordado neste estudo e tendo as especificidades do SHRDLU, suas características e limitações como objeto de estudo e com o apoio de outras leituras, a fim de propor uma modelagem para uma arquitetura de software para o *robot/plc* como solução para os problemas elencados, podemos determinar a metodologia empregada no presente trabalho.

Cada pesquisa demanda a definição de uma metodologia específica para abordar o problema a ser investigado, pautando-se em escolhas que contribuem para alcançar os resultados propostos, conforme a natureza do objeto investigado. De acordo com Yin (1984), o pesquisador tem liberdade para utilizar um método específico ou um conjunto de métodos desde que sejam indubitavelmente pertinentes e aplicados com rigor científico.

Como ponto de partida para a aplicação do método deste trabalho, recorreu-se a um levantamento metódico de dados relativos às pesquisas em PLN desenvolvidas pelos alunos de Iniciação Científica no LPLC do CEFET-MG com o *robot/plc* (Apêndice A). Nessa etapa, fez-se também uma minuciosa pesquisa

bibliográfica relativa a um levantamento do “estado da arte” da área para uma compilação dos trabalhos científicos prévios realizados sobre o tema escolhido: arquitetura de software.

Num segundo momento, debrucei-me sobre questões específicas de software, apontados por Marques (2009) e por Souza (2014) em suas pesquisas realizadas no INFORTEC com o *robotplc*, em busca de informações precisas relativas ao processo de investigação, com o objetivo de se esboçar os principais aspectos a serem abordados na arquitetura de software a partir das necessidades de adequação do software do *robotplc* com vistas a avançar as pesquisas sobre PLN no INFORTEC.

A discussão teórica feita no terceiro momento da pesquisa emergiu das análises da questão relativa ao arcabouço conceitual de “conhecimento” subjacente ao desenvolvimento do programa computacional do robô. Enfatiza-se aqui que se atentou ao fato de que cada metodologia de pesquisa traz consigo restrições e limitações ensejando possibilidades de ocorrências de imprevistos a qualquer momento da pesquisa. Isso evidencia a necessidade de o pesquisador certificar-se durante todo o processo de geração e de análise dos dados, da pertinência e relevância dos instrumentos e dos procedimentos metodológicos utilizados por ele.

Assim, a abordagem utilizada nessa pesquisa foi a qualitativa interpretativa, tendo em vista que o que se considera dos fenômenos são suas relações e interações, e não seus atributos quantificáveis. Nela nos interessa entender questões tais como o motivo do robô não saber dizer se consegue ou não empilhar uma pirâmide sobre a outra, qual o significado desse comportamento e suas causas.

1.5.1 Natureza da pesquisa

Prodanov e Freitas (2013, p.60) consideram que o estudo de caso, caracterizado pelo “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento”, é uma ‘instância em ação’ em que o pesquisador seleciona uma unidade de uma classe de objetos ou fenômenos que seja do seu interesse investigar e averigua como essa unidade se relaciona com o todo.

Johnson (1992) também define estudo de caso conforme a unidade de análise que se tome para investigação. Uma unidade pode ser estudada em seu próprio mérito como uma unidade simples ou como um sistema delimitado. Essa unidade pode ser, por exemplo, um aprendiz, um professor, uma turma, uma escola ou uma comunidade.

Yin (1984, p. 23) acrescenta que um estudo de caso é um questionamento empírico que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real. As fronteiras entre fenômeno e contexto não estão aqui claramente evidentes e fontes múltiplas de evidência são usadas.

Assim sendo, esta pesquisa enquadra-se no paradigma do estudo de caso por tratar-se de um estudo do software desenvolvido por Winograd (1971) e aprofunda nos estudos relacionados à linguística e à cognição na busca por compreender suas características e limitações para propor uma nova arquitetura de software para o *robotlplc*.

Os estudos de caso podem ser naturalistas e/ou longitudinais, no que se refere à coleta de dados, cf. Johnson (1992). Quando os dados para a composição do caso são coletados no ambiente natural, ao mesmo tempo em que ocorrem, o estudo de caso é naturalista. Ainda de acordo com Johnson (ibid.), a análise dos dados em estudos de caso é qualitativa, podendo mesmo envolver alguma quantificação, e é descritiva quando descreve um fenômeno.

Esta pesquisa se enquadra nas características de estudo de caso naturalista por se tratar de estudo feito sobre o *robotlplc*, em situação de uso. Quanto à natureza e à análise dos dados, este estudo é ao mesmo tempo aplicado, uma vez que tem um escopo bem definido, ou seja, o robô virtual SHRDLU, e descritivo, pois um dos objetivos foi localizar e organizar e descrever as pesquisas em PLN desenvolvidas no LPLC / CEFET-MG com a finalidade de se conhecer e registrar a evolução das pesquisas sobre PLN no LPLC e, a partir desses registros e análises, propor uma arquitetura de software para o *robotlplc* de forma a possibilitar futuros desenvolvimentos de testes em PLN no INFORTEC.

Ainda que, a modelagem aqui proposta seja aberta para casos mais genéricos ou aplicações diversas ao *robotlplc*, o foco é a resolução dos problemas detectados no mesmo.

1.5.2 Estrutura metodológica da pesquisa

Esta pesquisa teve como foco principal o desenvolvimento de uma arquitetura de software para o protótipo do robô físico construído no CEFET-MG, no Laboratório de Pesquisas em Leitura e Cognição – LPLC, robotlplc. Esse protótipo foi idealizado com o objetivo de operar em um micromundo composto por blocos lógicos – ‘mundo de blocos’ – utilizando-se de seus recursos físicos e computacionais, visando a replicar os testes feitos por Winograd (1972) em um robô virtual no Massachusetts Institute of Technology – MIT.

O trabalho aqui relatado consiste em um estudo de caso, tendo a pesquisa de Winograd (1971), o seu sistema SHRDLU, como objeto de discussão no decorrer desta dissertação. Tal obra é analisada criticamente a partir dos apontamentos realizados por Marques (2009) e Souza (2014) de modo a definir o problema em questão a ser tratado, a saber, as limitações em desambiguação semântica no robô virtual SHRDLU proposto por Winograd (1971).

A partir da descrição do problema, buscaram-se possibilidades de soluções na literatura.

A pesquisa foi realizada em três etapas. Na primeira etapa procedeu-se à revisão das pesquisas em PLN desenvolvidas no Laboratório de Pesquisa em Leitura e Cognição (LPLC) do CEFET-MG com a finalidade de se conhecer e registrar a evolução das pesquisas sobre PLN no INFORTEC.

Na segunda etapa foi feita uma análise crítica com base nos apontamentos de Marques (2009) e Souza (2014) com o objeto de se fazer um levantamento de necessidades de adequação da arquitetura do software do robotlplc para futuras replicações dos testes de Winograd (1972).

A terceira etapa consistiu em se fazer uma discussão teórica sobre o problema da concepção de conhecimento adotada na construção do programa do robô.

Como resultado da pesquisa, apresentamos possibilidades dialógicas entre a Filosofia, sobretudo a Teoria do Conhecimento e a Antropologia Filosófica, procurando, a partir de suas contribuições, apresentar novos aspectos a serem considerados no tocante à inteligência humana de forma a solucionar os problemas inicialmente estabelecidos.

1.6 Organização da dissertação

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos os quais estão dispostos da seguinte forma:

- **Capítulo 1:** é o capítulo presente, contendo a Introdução, no qual são apresentadas as informações iniciais sobre o tema da pesquisa;
- **Capítulo 2:** capítulo no qual é discutido com maior aprofundamento o robô virtual SHRDLU, desenvolvido por Winograd, e suas bases teóricas predominantemente no que toca a Linguística, seguido da exposição da análise crítica realizada pelos trabalhos de Marques (2009) e Souza (2014) quanto ao programa;
- **Capítulo 3:** nesse capítulo é discutida a limitação teórica do programa do Winograd do ponto de vista cognitivo. Seguindo a linha das análises realizadas por Dreyfus (1972) sobre os trabalhos na época da publicação de Winograd (1971) nesse capítulo é mostrado como, a partir da análise filosófica do fenômeno simulado pelo robô virtual, as concepções sobre conhecimento, inteligência, são limitadas e que parte dos problemas constatados por Marques (2009) derivam dessa limitação;
- **Capítulo 4:** é apresentada a modelagem proposta tendo em vista o que fora discutido nos capítulos precedentes. Os modelos apresentados nesse capítulo seguem uma ordem do parâmetro mais geral do fenômeno, sendo apresentadas as sucessivas análises das partes constituintes da arquitetura de software proposta ao *robot/plc* de modo a apresentar os sistemas que devem compor a mesma;
- **Capítulo 5:** contendo a conclusão do trabalho discute sobre o modelo apresentado, suas limitações, implicações e propostas de pesquisas futuras a partir do mesmo.

2 O SHRDLU E O *ROBOTLPCL*

Começamos a abordar nosso objeto de pesquisa definindo o fenômeno a ser projetado na arquitetura proposta. Conforme o objetivo proposto, tomaremos por base o experimento realizado por Winograd (1971), e levaremos em conta a crítica realizada por Marques (2009) e o modelo físico projetado por Souza (2014). A fim de realizar tal intento, faremos nesse capítulo a retomada dos trabalhos citados, apontando quais aspectos serão considerados nesta pesquisa.

2.1 O SHRDLU

O robô virtual SHRDLU é um programa de computador projetado e construído por Terry Winograd, como parte de sua tese de doutorado no MIT. Em sua tese, Winograd (1971) questiona a razão de os computadores, em sua época, não conseguirem receber um comando simples em língua inglesa, como, por exemplo, a requisição por uma informação. Ele responde a essa pergunta ponderando que a chave para a compreensão é fornecer ao computador algum conhecimento sobre o assunto.

Em outras palavras, não bastava ao computador identificar as estruturas morfossintáticas da língua em uso, se anteriormente ele não soubesse o assunto em pauta, o tema sobre o qual aqueles textos que ele estava lidando tratavam. Winograd afirma:

Se nós quisermos realmente que computadores nos entendam, precisamos dar-lhes a habilidade de utilizar mais conhecimento. Além da gramática da língua, eles precisam possuir todo tipo de conhecimento sobre o assunto que eles estão discutindo e eles devem raciocinar para combinar fatos de modo correto para compreender uma sentença e respondê-la. (WINOGRAD, 1971, p. 12, tradução nossa).⁷

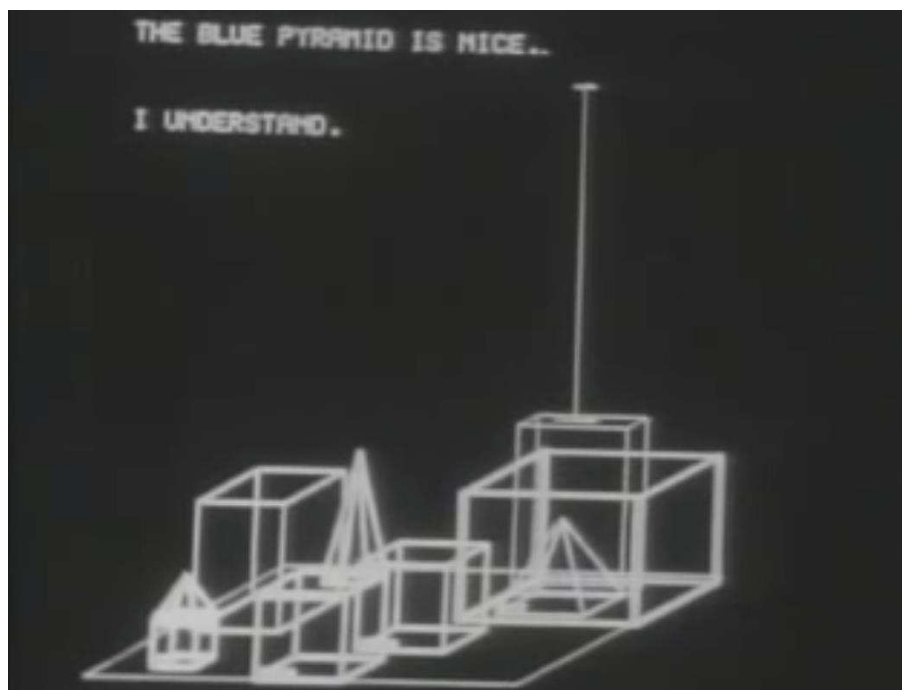
⁷ If we really want computers to understand us, we need to give them the ability to use more knowledge. In addition to a grammar of the language, they need to have all sorts of knowledge about de subject they are discussing, and they have to use reasoning to combine facts in the right way to understand a sentence and respond to it.

Para Winograd (1971), se fosse possível conceder algum conhecimento prévio sobre o tema tratado, o computador estaria apto, assim, a entender a informação expressa em língua natural.

Ele concebe esse conhecimento prévio na forma de pequenos programas escritos em linguagens especialmente projetadas para realizar os processos de análise sintática, análise semântica e raciocínio inferencial. Esses programas trabalham de forma conjunta para que o computador compreenda as sentenças em língua inglesa.

A fim de comprovar a eficácia do seu procedimento, Winograd apresenta um experimento capaz de atestar se sua abordagem permite, de fato, um programa de computador compreender sentenças em Inglês. Tal experimento consiste em um robô virtual simples, composto de um braço e uma garra, com a qual é capaz de manipular um conjunto de blocos, dispostos em uma superfície, como uma mesa. Tanto o ambiente, isto é, a mesa e os blocos, quanto o braço do robô são exibidos por meio de um *display* de vídeo, para que o usuário, ou interlocutor, possa acompanhar a cena, ver os movimentos realizados pelo robô e as sentenças proferidas durante o diálogo.

Figura 1: Exemplo de execução do SHRDLU



Fonte: Yuret (2013)

O usuário comunica-se com o robô por meio de um teclado, digitando sentenças simples na língua inglesa. O robô, por sua vez, analisa a sentença e

responde adequadamente a requisição do usuário expressa na mesma sentença, isto é, para uma pergunta ele elabora uma resposta; para uma ordem, ele executa uma ação e para o ensino de uma palavra nova ele assimila no seu vocabulário e passa a usá-la quando necessário.

O SHRDLU possui o conhecimento sobre o mundo de blocos⁸. Esse conhecimento é dado na forma de uma coleção de objetos, propriedades e relações entre os mesmos. A partir dessas informações, ele é capaz de representar a informação expressa nas sentenças, manipulá-las, realizar deduções, interpretar e executar comandos, responder questões e receber novas informações.

Desse modo, munindo o robô virtual com informações sobre o contexto no qual ele se encontra e sobre o qual será discutido com o usuário no diálogo, Winograd (1971) apresenta seu sistema para compreensão de linguagem natural e o experimento usado para atestar a capacidade do mesmo. Veremos, a seguir, as principais fontes teóricas usadas por Winograd para a construção de seu sistema.

2.2 Fundamentação teórica utilizada por Winograd

Apresentado um esboço geral da tese de Winograd (1971) sobre como conceder aos computadores a compreensão da língua natural, examinaremos agora algumas bases teóricas que ele utilizou para formular seu sistema.

2.2.1 Linguística Gerativista de Chomsky

Das proposições teóricas que marcam grande presença na tese de Winograd (1971), os trabalhos do linguista Noam Chomsky são um dos mais presentes. O sistema de *parsing* sintático, descrito por Winograd (1971) no capítulo 2 de sua tese, fundamenta-se em grande parte nos modelos de gramática apresentados por Chomsky (1957) em *Syntactical Structures*.

Syntactical Structures é considerado o marco fundacional da escola gerativista na Linguística, segundo Kenedy (2013). Nessa obra, Chomsky (1957) apresenta

⁸ Modelo de mundo formado por blocos empilháveis. Esse modelo de mundo é, simultaneamente, o ambiente no qual o robô SHRDLU se encontra e toda realidade conhecida por ele.

algumas noções fundamentais de sua teoria para o estudo da sintaxe, sendo esta parte do estudo da estrutura linguística em geral.

Chomsky (1957) pretende lidar, em seu trabalho, com a estrutura sintática da língua, ou seja, com os princípios e processos que permitem a construção de sentenças em uma determinada língua. Ele toma como postulado que a língua é estratificada em níveis fonético, morfológico e estrutura frasal e que uma teoria linguística deve ser capaz de modelar formalmente a gramática da mesma, de modo a disponibilizar métodos para gerar sentenças.

Outro postulado adotado por ele é a definição de língua como um “[...] conjunto (finito ou infinito) de sentenças, cada uma finita em tamanho e construída a partir de um conjunto finito de elementos” (CHOMSKY, 1957, p.13, tradução nossa).⁹ Ou seja, dada uma determinada língua L, ela será definida como um conjunto de todas as sentenças possíveis. A língua L pode ser finita ou infinita, sendo cada elemento de L, isto é, as sentenças, o resultado da combinação dos elementos de um segundo conjunto P. O conjunto P é formado pelos símbolos constituintes de L. P é finito, ou seja, há um número finito de elementos básicos usados na construção dos elementos de L.

Chomsky (1957) refere-se aos elementos de P ao aplicar seus postulados às línguas naturais como sendo os morfemas ou mesmo o alfabeto. Lyons (1970) coloca como sendo as palavras que compõem o vocabulário dos usuários das línguas naturais. Peter e Norvig (2004), por sua vez, chamam esses elementos, de forma genérica para qualquer modelo formal de língua, de *símbolos terminais*. Para fins de simplificação teórica, trataremos, na linha de Lyons (1970) e Peter e Norvig (2004), P como sendo o conjunto dos símbolos terminais da língua L e, caso L se trate de uma língua natural, então nos referimos ao vocabulário da mesma.

Se tomarmos o Português como um exemplo para L, o seu léxico, correspondente ao conjunto P, é o conjunto de elementos constituintes das sentenças de L. Porém, não basta que os elementos de P sejam arbitrariamente combinados para se formar uma sentença de L. Isso quer dizer que as seguintes palavras combinadas *rapaz cozinha azul de será então flores* não formam uma sentença mesmo que todas as palavras sejam elementos de P.

⁹ [...] a set (finite or infinite) of sentences, each finite in length and constructed out of a finite set of elements.

Para que tenhamos uma sentença, além das palavras disponíveis em P, é preciso um modo determinado de arranjá-las e dispô-las. Sequências de palavras pertencentes a L são classificadas como gramaticais enquanto sequências de palavras não pertencentes a L, como o exemplo acima, são classificadas como não gramaticais.

Para Chomsky (1957), a gramática G da língua L é o *device*, o dispositivo ou recurso, que permite, a partir do conjunto P, gerar sentenças. Uma gramática bem modelada produzirá apenas sentenças e não sequências não gramaticais. O mesmo raciocínio das palavras em relação às sentenças pode ser aplicado aos demais níveis de estratificação da língua, isto é, as letras são combinadas em fonemas e os fonemas em palavras. Essa combinação também não é aleatória. Algumas combinações são parte constituinte de L e outras não. Dentro do escopo desse trabalho, vamos tratar aqui somente das sentenças.

Chomsky (1957) propõe três modelos de gramática para formalizar o processo para geração de sentenças. Apresentaremos os três modelos apresentados por ele, de modo a expor melhor o que ele propõe como uma teoria para descrição da gramática de uma língua.

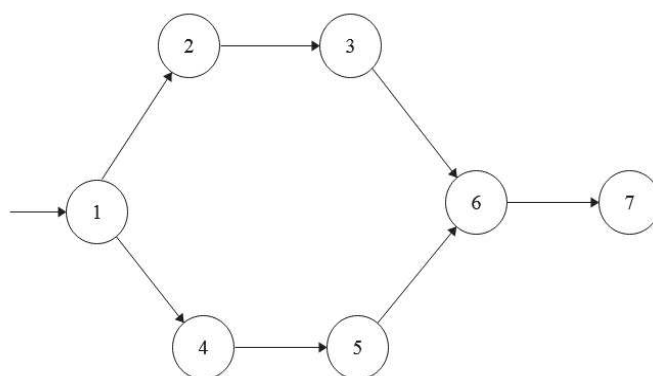
O primeiro modelo de gramática que ele propõe é concebido como uma máquina de estados finita. Tal modelo representa a Gramática como uma máquina constituída de uma quantidade finita, ainda que muito grande, de estados internos possíveis. A máquina assume um novo estado quando condições pré-determinadas ocorrerem provocando uma transição para esse novo estado. A cada transição de estado, um símbolo novo é agregado à sequência em produção, até que, atingindo o estado final, o processo se encerra com a formação completa da sentença.

A ideia desse tipo de modelagem se adequa bem a característica da organização linear das línguas naturais. No processo produtivo de uma sentença simples e construída em ordem direta, a partir da determinação do primeiro símbolo, os símbolos subsequentes sofrem algumas restrições em função dos símbolos anteriores. Por exemplo, se o primeiro símbolo escolhido for um artigo definido no português – o, a, os e as – a próxima possibilidade de escolha sofrerá algumas restrições, como não ser um pronome, já que sequências como *o ele*, *a ela*, *o este*, *a esta*, e semelhantes não são gramaticais. O mesmo para preposições e conjunções. Além disso, flexões de gênero e número farão com que o símbolo subsequente siga a mesma forma, respeitando as regras acerca da concordância nominal.

Após a escolha do segundo símbolo, há nova mudança de estado e, novamente, o próximo símbolo sofrerá algumas restrições em função do que já foi escolhido. Suponhamos que os dois primeiros símbolos gerados sejam *o rapaz*, a partir de agora poderão ser escolhidas preposições como *de*, *com*, *para*, entre outras, e montar sequências gramaticais com elas. Porém artigos, substantivos e pronomes não poderão ser escolhidos para ocupar a posição seguinte na sequência em formação. Assim, de símbolo em símbolos, a gramática de estados finita vai construindo a sentença até que, atingindo o estado final, ela produza o último símbolo da sequência, completando a sentença visada.

Um exemplo genérico de como esse modelo de gramática é concebido pode ser visto na figura 2. Nele temos 1 como nosso estado inicial e 7 como nosso estado final. As setas que ligam os estados são as transições executadas entre eles. Nesse processo, um novo símbolo é adicionado à sequência em formação. Esse novo símbolo determinará qual o próximo estado será assumido pela máquina.

Figura 2: Modelo de Gramática de Estados Finita



Fonte: O autor

Esse modelo é rapidamente rejeitado por Chomsky (1957), que mostra que tal abordagem encontra problemas quando consideramos construções complexas, com várias sentenças interpoladas umas nas outras. Conforme visto, os símbolos gerados nas transições de estado carregam uma dependência entre eles, de modo a garantir que as combinações resultem em uma sentença gramatical e não em uma

combinação aleatória de símbolos. Quando esses símbolos são adjacentes, a abordagem da gramática de estados finitos consegue lidar razoavelmente na produção das sentenças, porém, quando esses símbolos são afastados por outras sentenças inseridas entre eles, como no caso de orações subordinadas, os símbolos interdependentes não se encontram mais adjacentes e isso faz com que a construção de uma máquina de estados finita se torne impraticável para lidar com construções como essas.

O segundo modelo teórico para a formalização da gramática do inglês apresentado por Chomsky (1957) é chamado Gramática de Estrutura de Frase. Nessa abordagem, a gramática é descrita como uma série de regras de substituição simbólica que vai progressivamente substituindo símbolos de estruturas complexas, por seus constituintes, até chegarem às estruturas elementares chamadas de constituintes últimos.

Esse segundo modelo de gramática baseia-se na concepção de que as sentenças são, além de sequências lineares de palavras, estruturas organizadas em unidades sintáticas denominadas sintagmas. Sintagmas são unidades sintáticas formadas de uma ou mais palavras que possuem inter-relação e executam uma determinada função na sentença da qual faz parte. Desse modo, uma sentença é concebida como uma estrutura de sintagmas articulados entre si.

Os sintagmas, por sua vez, são, em última análise, concebidos como constituídos de palavras que devem possuir relação entre si para formar a estrutura que desempenha a função exercida pelo sintagma.

A Gramática de Estrutura de Frase estabelece o processo gerativo de sentenças como um procedimento de aplicação recursiva de regras de substituição, no qual, a partir da estrutura mais complexa, determina seus constituintes imediatos e realiza a substituição do elemento mais complexo para os elementos mais simples, até alcançar a completa análise sintática, ou *parsing*, chegando ao nível dos constituintes últimos da sentença, ou seja, os símbolos terminais, no caso das línguas naturais, as palavras. Vejamos, a seguir, como um modelo simples de Gramática de Estrutura de Frase pode ser modelada e implementada.

Considere o seguinte conjunto de símbolos {S, SN, SV, A, N, V} significando, respectivamente, *sentença*, *sintagma nominal*, *sintagma verbal*, *artigo*, *substantivo* e *verbo*. Com esse conjunto de símbolos, é possível construir um modelo simples de

Gramática de Estrutura de Frase para a língua portuguesa a partir do seguinte conjunto de regras:

$$S \rightarrow SN + SV$$

$$SN \rightarrow A + N$$

$$SV \rightarrow V + SN$$

$$A \rightarrow \{o, a, um, uma, \dots\}$$

$$N \rightarrow \{homem, bola, \dots\}$$

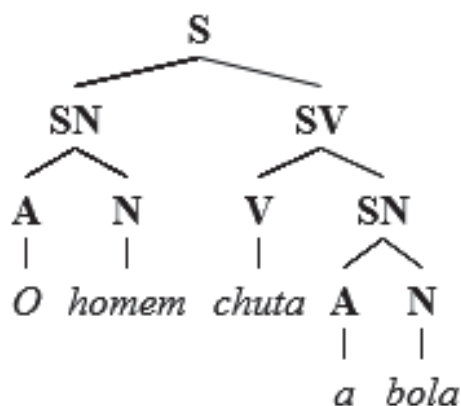
$$V \rightarrow \{chuta, corre, pula, \dots\}$$

Esse conjunto de regras, chamadas regras derivativas, permitem que uma frase simples, como *O homem chuta a bola*, seja gerada a partir de sucessivas aplicações das regras. O seu formato padrão $X \rightarrow Y$ determina que o símbolo a esquerda da flecha deve ser substituído pelo símbolo, ou conjunto de símbolos, à direita.

- 1) S
- 2) SN + SV (aplicou-se a regra I);
- 3) A + N + VP (aplicou-se a regra II);
- 4) A + N + V + SN (aplicou-se a regra III);
- 5) O + N + V + SN (aplicou-se a regra IV);
- 6) O + homem + V + SN (aplicou-se a regra V);
- 7) O + homem + chuta + SN (aplicou-se a regra VI);
- 8) O + homem + chuta + A + N (aplicou-se a regra II);
- 9) O + homem + chuta + a + N (aplicou-se a regra IV);
- 10) O + homem + chuta + a + bola (aplicou-se a regra V);

A partir desse modelo de gramática, é possível construir um diagrama em forma de árvore, no qual todo o processo de derivação seja representado conforme mostrado na figura a seguir:

Figura 3: Árvore Sintática para geração de sentença



Fonte: O autor

Um ponto interessante a se notar, na Gramática de Estrutura de Frase, é que a organização estrutural em sintagmas não se limita a justaposição linear dos sintagmas. Isso quer dizer que, mesmo que a sentença como um todo seja uma organização linear de palavras, suas subestruturas podem estar organizadas em unidades tanto justapostas quanto podem ser aninhadas umas às outras, de modo a termos sintagmas formados por outros sintagmas.

Lyons (1970) compara essa capacidade das estruturas sintagmáticas com a organização de expressões algébricas com uso de parênteses. Expressões algébricas nada mais são que sentenças escritas com o alfabeto matemático. Assim como na produção de sentenças linguísticas, há regras para elaboração de expressões algébricas válidas ($5 + 3$ é uma expressão algébrica válida, enquanto $+ 5 3$ não) e, de modo análogo às sentenças linguísticas, uma expressão algébrica complexa pode ser composta de muitas subestruturas, que também são expressões menores. Os parênteses, na matemática, tem a função de delimitar uma determinada subestrutura cujo resultado da expressão em seu interior é o termo que de fato exerce um papel na expressão principal. Assim em uma expressão $5 * (7 - 3)$, o termo 5 está multiplicando a resultante da expressão algébrica $(7 - 3)$. O valor resultante dessa expressão, no caso 4, é o componente que interessa para expressão principal denotar o seu conteúdo (que é a multiplicação de 5 por 4).

Os parênteses servem para demarcar que, na expressão algébrica, a subestrutura está sendo usada para denotar o valor do número resultante, por isso a

expressão interna precisa ser resolvida prioritariamente. Acontece que, numa expressão altamente complexa, pode-se organizar vários níveis de subestruturas aninhadas e combinadas com outras subestruturas. Igualmente vários sintagmas podem ser alocados internamente uns aos outros e gerar expressões complexas. Por exemplo, na sentença, *Quem tiver algo contra essa união fale agora ou cale-se para sempre* a frase *Quem tiver algo contra essa união* é o sintagma nominal da sentença completa, mas ele mesmo é composto de sintagma nominal e verbal na sua estrutura.

O processo de substituição de símbolos, que Chomsky (1957) chama de derivação, permite que a Gramática de Estruturas de Frase lide com construções complexas, diferentemente da Gramática de Estados Finita, tornando-a mais poderosa e capaz de descrever a estrutura de uma língua natural de modo mais preciso e elegante.

A Gramática de Estrutura de Frases pode ainda receber alguns refinamentos que a torne mais versátil e generalista. O modelo acima demonstrado é dito *livre de contexto*, isto é, o processo de derivação $X \rightarrow Y$ não considera o contexto em que X ocorre para realizar a substituição em Y.

Por exemplo, no caso da sentença acima demonstrada, se o primeiro sintagma nominal (O homem) estivesse na forma plural (Os homens), então o verbo que inicia o sintagma verbal subsequente deveria ser passado para o plural, alterando a desinência para indicar a forma plural, como é o caso no Português, porém como as regras não consideram o contexto então seria necessário escrever uma regra para cada situação, isto é para considerar o caso de singular ou plural, duplicando o tamanho da gramática.

Para resolver tal situação, pode-se reescrever a gramática de modo a considerar o contexto de ocorrência do verbo para que ele considere o sintagma nominal antecedente e verifique o número do sintagma para realizar a concordância entre o verbo e o sujeito.

Embora pareça pouco significativa a diferença entre ambas, é preciso salientar que tratamos de uma fração muito limitada da língua portuguesa em nosso modelo. Um modelo mais completo de gramática incluiria não somente flexões de número, mas também flexões verbais quanto às pessoas do discurso, flexões temporais, entre outras. Uma gramática livre de contexto teria um crescimento exponencial para permitir a construção de sentenças com todas essas variações

possíveis, enquanto um modelo sensível ao contexto modela tal variação de modo mais generalista, considerando nas regras de derivação as determinações para realização de flexões verbais, por exemplo.

Outro ponto a ser registrado é que, em se tratando da linguística gerativa de Chomsky, o termo contexto deve ser aplicado dentro de uma noção formalista. O contexto não remete ao contexto de produção discursiva, como relações sociais ou que tipos de participantes engajam a atividade discursiva. Tal perspectiva é discutida na seção seguinte. Contexto aqui remete ao contexto sintático, ao contexto das relações existentes entre constituintes da sentença de modo a produzir sequências gramaticais.

O terceiro modelo de gramática para descrever a língua inglesa que Chomsky (1957) propõe é chamado Gramática Transformativa. Esse modelo de Gramática não exclui o modelo anterior, ao contrário, ele executa suas operações de transformações em conjunto com a estrutura de frase.

Assim como o modelo anterior, a Gramática Transformativa descreve, além do conjunto de regras que marcam a estrutura de frase e modelam o processo de ocorrência de determinadas estruturas na formação da sentença, um novo conjunto de regras de operações que a Língua em questão permite executar sobre os marcadores de frase para criar novas composições.

Um exemplo, dado por Chomsky (1957), é o recurso da voz ativa ou passiva da língua. Ambas as formas possuem elementos de estrutura de frases semelhantes, bem como quase os mesmos símbolos terminais. As sentenças *João abriu a porta* e *A porta foi aberta por João* estão respectivamente nas vozes ativa e passiva. Aplicando marcadores de frase em ambas as sentenças, pode-se perceber que elas possuem estruturas semelhantes como dois SN, cada um alocado, respectivamente, antes e depois do V. Os dois SN – *João* e *a porta* – permanecem inalterados no seu conteúdo terminal, tendo somente a ordem em que aparecem alteradas em cada frase. Por sua vez, o elemento V é substituído por uma nova forma, com a locução verbal *ser + verbo + particípio passado*, e seguida por um novo elemento, a preposição *por*.

Regras de reescrita em estrutura de frases não são, por si só, capazes de realizar operações de realocação e inserção. Sua função é decompor as unidades sintáticas complexas em unidades mais simples concatenadas. Cada passo de decomposição cria um sub-nível hierárquico, onde o processo de decomposição

pode ser repetido caso ainda não tenha alcançadas as unidades sintáticas básicas, ou seja, os símbolos terminais.

Mesmo quando adicionamos o contexto à reescrita, não estamos realizando uma alteração diretamente na organização estrutural da sentença, mas apenas restringindo as ocasiões em que uma determinada operação de decomposição deve ser realizada. Por outro lado, uma regra transformativa altera a estrutura da frase, criando uma nova e adaptando os símbolos terminais para adequarem-se à essa nova construção.

No exemplo da voz passiva, podemos imaginar numa determinada gramática do Português a seguinte regra:

$$SN_1 + V_{transd} + SN_2 \rightarrow SN_2 + SER + V_{transd} + PART + por + SN_1$$

Por motivos de simplicidade excluímos regras relativas às flexões de pessoa, número, tempo e modo sustentando apenas as características essenciais de uma sentença em português para as vozes ativa e passiva, a saber, um sintagma nominal para o sujeito, um verbo transitivo direto e um sintagma nominal para objeto direto na voz ativa.

Para converter em uma sentença para voz passiva é preciso inverter os sintagmas nominal do sujeito e do objeto; substituir o verbo simples por uma estrutura composta pelo verbo ser, aplicando a ele as características de tempo, pessoa e número; passar o verbo transitivo direto para o particípio; e acrescentar a preposição *por*. Esse seria um exemplo de uma regra Transformativa para possibilitar a formação de sentenças na voz passiva.

Como dito acima, as regras transformativas ocupam-se de reorganizar os componentes das sentenças em determinadas estruturas gramaticais que se queiram construir. Contudo, as operações transformativas não são aplicadas nas sentenças finalizadas. Sentenças completamente geradas já receberam regras transformativas que determinam o tipo de sentença ser produzida, como voz passiva, sentenças declarativas, interrogativas etc. Tais operações construtivas são aplicadas sobre um modelo abstrato de construção sintática chamado, em trabalhos posteriores a *Syntactical Structures*, de estrutura profunda ou *deep structure*. Em contrapartida, as sentenças completamente formadas são categorizadas como estrutura de superfície ou *surface structure*.

A noção de estrutura profunda surge da constatação da similitude entre sentenças sintaticamente distintas, mas com alguns elementos terminais idênticos e um sentido aproximado. No exemplo apresentado das sentenças em voz ativa ou passiva, ambas parecem dizer a mesma coisa de um modo diferente. Podemos caracterizar essa *mesma coisa* da seguinte forma: duas entidades, *João* e *porta*, estão relacionadas pela ação *abrir* exercida por João sobre a porta. A representação abstrata, numa árvore sintática dessa relação seria a estrutura profunda que conteria os elementos essenciais para indicação dessa informação. A partir daí as regras transformativas seriam aplicadas para formular uma sentença na forma que se queira expor essa relação, seja como declaração afirmativa, declaração negativa, pergunta, voz passiva e assim por diante. O produto final seria a sentença em sua estrutura de superfície. Com o recurso da Gramática Transformativa, segundo Chomsky (1957), seria possível descrever as línguas naturais. Para isso é necessário determinar o conjunto de regras de estruturas de frase juntamente com as regras transformativas obrigatórias e opcionais para construção das estruturas possíveis na língua.

Em termos gerais, foram expostos os pontos principais da linguística gerativa de Chomsky presente no trabalho de Winograd (1971). Não é difícil perceber a relevância das teorias das gramáticas de Chomsky para o uso da Linguística Computacional. Todos os seus modelos de gramática, mesmo a Gramática de Estado Finito, consistem em uma teoria aplicável a sistemas computacionais para manipulação de símbolos. O próprio Winograd (1971) chega a afirmar isso, ao dizer-se surpreso pelo fato de pessoas familiarizadas com computadores não pensar nos modelos de gramática como programas, mas em termos de conjuntos de regras, tabelas e padrões.

2.2.2 Gramática Sistêmico-Funcional de Halliday

As teorias de Chomsky se provam úteis para organizar e manipular símbolos linguísticos. Entretanto, segundo Winograd (1971), elas se tornam insuficientes para tratar o componente semântico das sentenças. Para ele, as teorias linguísticas em voga, ao separar o componente sintático do semântico, podiam executar diversos procedimentos de geração de sentenças, mas “a mesma abordagem que funcionou tão bem ao lidar com as máquinas da sintaxe, tem sido incapaz de prover algum,

mesmo o mais rudimentar e insatisfatório, tratamento da semântica.” (WINOGRAD, 1971, p. 61, tradução nossa)¹⁰.

Para solucionar essa deficiência ele recorre a Gramática Sistêmico-Funcional desenvolvida por Michael A. K. Halliday. Tal visão de gramática difere da concepção do gerativismo já que ela pensa a língua não como uma estrutura abstrata de organização de símbolos terminais, mas um sistema de signos para criar e transmitir significados.

Durante a escrita da tese de Winograd, os trabalhos de Halliday se encontravam em início de desenvolvimento. Exporemos um esboço das ideias de Halliday, considerando também os trabalhos mais recentes.

Halliday é considerado como um dos teóricos da corrente funcionalista da linguagem. Tal corrente distingue-se do gerativismo e do estruturalismo por não se ocuparem do estudo da língua pela língua como pretendia Saussure, isto é, como aponta Neves (1997), as escolas funcionalistas apresentam em comum, a preocupação teórica com a língua em uso.

Para eles, o aspecto social da língua, ou seja, a língua como intermédio das relações sociais entre sujeitos, deve ser considerado ao estudar a estrutura organizacional da mesma, uma vez que tais estruturas exercem uma função, isto é, um papel, uma tarefa no ato comunicativo.

A noção de função entre teóricos funcionalistas é variada. Neves (1997), ao apresentar algumas dessas diferenças entre visões, aponta a noção de Halliday dizendo que “[...] a noção de ‘função’ não se refere aos papéis que desempenham as classes de palavras ou sintagmas dentro das estruturas maiores, mas o papel que a linguagem desempenha na vida dos indivíduos, servindo a certos tipos universais de demanda, [...]” (NEVES, 1997 p. 8).

Tal visão mostra a grande diferença entre Halliday e Chomsky. Enquanto este, em sua teoria gramatical, procura afastar todo e qualquer significado em particular no estudo das estruturas de frase e regras transformativas, para aquele toda construção gramatical está relacionada com ações sociais, com os interesses e com as motivações dos agentes sociais, em suma, a língua relaciona com cada instância de realização do sujeito em seu meio social.

¹⁰ The same approach which has worked so well in accounting for the machinations of syntax has been unable to provide any but the most rudimentary and unsatisfactory accouts of semantics

A relação entre língua e vida ou, mais adequadamente, texto e contexto, consiste no cerne da compreensão da gramática como uma rede de troca de significados. Halliday (1989) apresenta essa noção a partir dos estudos antropológicos de Malinowski que, vendo dificuldades em explicar o sentido de algumas expressões linguísticas usadas pelo povo que estudara, utilizou-se de alguns estratagemas, pelos quais ele remetia à situação em que elas foram proferidas. A partir de problemas dessa natureza é que Malinowski elaborou os termos *contexto de situação* e *contexto de cultura*.

Por contexto de situação, entende-se o ambiente imediato no qual a instância linguística foi produzida. Isso quer dizer que se trata da situação em concreto, na qual a língua é utilizada. Tal ambiente está intimamente ligado ao processo de produção de significados expressos na língua, de tal modo que não pode ser separado da compreensão de seu significado. Tomando por exemplo a sentença *façam os exercícios da página 25*, para que tal sentença faça sentido, ela precisa estar imersa em um cenário que a torne significativa. Um cenário que a torna significativa seria um professor em sala proferindo tal sentença para seus alunos. Já em outro cenário, como uma conversa de bar entre amigos, não torna a sentença significativa por si só, a menos que o tema da conversa referencie a uma situação que traga sentido à fala como a anteposição da expressão *Eu disse*. Desse modo, percebe-se que tanto para produzir quanto para compreender o significado das sentenças, é preciso observar o contexto no qual ela foi produzida, isto é, o contexto de situação.

Além do contexto de situação, outro cenário envolve a produção linguística e também é necessário na compreensão dos significados expressos. Tomando novamente a frase *façam os exercícios da página 25* como exemplo, o ambiente imediato que traz sentido para a mesma é o ambiente da sala de aula, onde o professor executa um comando de ação para os alunos realizarem uma atividade por meio do uso de um instrumento determinado, o livro de exercícios. Envolto desse cenário, há um plano de fundo cultural que se desvela no qual várias questões históricas e sociais estão presentes.

O modelo de sala de aula que dá sentido a essa sentença é uma sala de aula escolar moderna ou contemporânea, em sua localização histórica, com um modelo de ensino e aprendizagem centrado no professor, onde ele ensina o conteúdo e comanda o processo de aprendizagem, como no exemplo requerendo aos alunos

que façam os exercícios. Tal modelo ainda encontra apoio no uso do livro didático, material com amplo uso nos ambientes de ensino contemporâneo, mas que seria inviável nas salas das universidades medievais, por exemplo, dado o alto custo de produção de um livro antes da criação da imprensa.

Temos, nesse caso, várias questões culturais que transcendem ao ambiente imediato da produção do fato linguístico, que também condicionam os significados possíveis a serem intercambiados na interação social. O papel do professor no processo de ensino, os recursos materiais disponíveis, a concepção de ensino como processo de transferência entre o detentor de conhecimento e o receptor do conhecimento. Todas essas concepções e significados sociais que também estão presentes na sentença e que transcendem ao ambiente imediato de produção da mesma formam o contexto de cultura.

Tanto o contexto de situação quanto o contexto de cultura colaboram para o processo de produção de signos que é o ato linguístico e, conseqüentemente, para compreensão dos mesmos. Halliday (1989) alega que graças ao conhecimento haurido do contexto de situação os faltantes da língua são capazes de compreender o que está sendo dito, uma vez que pelo contexto os indivíduos tem uma ideia antecipada do que será dito em seguida.

Para compreensão das informações fornecidas pelo contexto de situação, ele apresenta sua estrutura conceitual de análise do mesmo, organizada em termos de três categorias ou variáveis de contexto: o *campo*, as *relações* e o *modo* do discurso.

Por *campo* entende-se a referência ao processo que se desenrola, através da qual os participantes estão interagindo, comunicando-se. É a descrição da natureza da atividade em que se desenvolve o intercâmbio de significados mediado pelo texto.

Por *relações* são designados os papéis exercidos pelos participantes da ação social em curso. Ela descreve quem está participando o processo, qual tipo de relação entre eles, qual o balanço de poder entre eles, isto é, se estão no mesmo nível ou patamar de poder ou um exerce algum tipo de autoridade sobre o outro.

O *modo* caracteriza o papel que a linguagem desempenha na atividade em curso. Ele diz respeito à função que a linguagem exerce no ato interativo, o que implica nas escolhas quanto ao canal, escrito ou falado, se o objetivo é informar, realizar uma ação, convencer, argumentar entre outros.

Em resumo, as variáveis descrevem os elementos contextuais ligados à produção do texto e permitem a compreensão do mesmo. Elas categorizam o processo no qual há o intercâmbio de significados, os participantes e o papel que a linguagem desempenha nesse processo. Retomando a sentença usada como exemplo acima, *façam os exercícios da página 25*, fizemos uma montagem do contexto através do qual ela é construída com sentido. Alocando os valores encontrados na estrutura conceitual desenhada por Halliday, temos:

Quadro 1: Aplicação das variáveis de contexto

Façam os exercícios da página 25	
Variável	Valor
Campo	Aula escolar com uso de livro de exercícios (livro didático);
Relações	Professor e alunos; Relação de poder polarizado no professor; detentor do conhecimento e condutor do processo de ensino;
Modo	Linguagem verbal, canal fônico, comando para execução de atividade;

Fonte: O autor

Os elementos contextuais aparecem mais ou menos explícitos na sentença de modo que podem ser identificados por meio de uma série de elementos léxico-gramaticais. Por exemplo, embora não estejam indicados, sabemos que, no contexto da fala, há ao menos um falante dirigindo-se para um grupo de ouvintes. Tal fato é expresso pelo verbo no modo imperativo *façam* onde a desinência plural evoca a pluralidade dos destinatários: *façam (você(s)) os exercícios da página 25*.

Por sua vez, o uso do imperativo e a ausência de modalizadores de polidez como a expressão *por favor* mostram que o(s) enunciador(es) tem poder sobre os ouvintes podendo dar-lhes ordens diretas sem lhes dar o benefício da escolha de atender ou não a solicitação. Temos aqui a demarcação do status da relação entre locutor(es) e ouvintes na qual há concentração do poder na mão do locutor.

Os exemplos acima demonstram como as estruturas gramaticais expressam um conjunto de significados socioculturais. As desinências de pessoa e o modo verbal, a atividade requisitada pelo falante – fazer os exercícios – a referência à página do livro, todos esses elementos realizam os significados contextuais demarcados pelas variáveis de contexto. A realização dos significados, criados e transmitidos a partir do contexto de situação, em recursos léxico-gramaticais é explicada mediante a organização funcional da língua.

Halliday (1989) estabelece um paralelo entre as variáveis de contexto e três elementos constituintes da linguagem que são as metafunções *ideacional*,

interpessoal e *textual*. Ele considera que a linguagem é funcional, não porque ela é utilizada segundo algum propósito estabelecido, um modo determinado em que os falantes usam a língua. Tal visão propõe a funcionalidade percebida de modo extrínseco à língua. Halliday (1989) propõe que as funções sejam uma característica constitutiva da língua, que está na base de seu estrato semântico.

A metafunção *ideacional* é formada por duas funções: experiencial e lógica. Ela traduz o papel da língua de construir e representar as experiências de realidade dos seus falantes. Halliday e Matthiessen (2004) apontam que a linguagem constrói as experiências humanas uma vez que, a partir dela, podemos nomear, categorizar e abstrair em padrões gramaticais todo complexo de realidade experimentadas: objetos, pessoas com quem nos relacionamentos, pensamentos, sentimentos, fenômenos, processos, tudo é representado na linguagem e por meio da linguagem. Esse papel representativo da linguagem configura a metafunção ideacional.

A metafunção *interpessoal* caracteriza o papel da língua em estabelecer relações e atuar nas instancias sociais. A língua não é somente uma faculdade representativa da realidade, mas também um recurso para que os falantes possam interagir entre si. O processo interativo descrito por Halliday e Matthiessen (2004) consiste em falante e ouvinte estabelecerem uma relação de oferta e demanda entre ambos para o intercâmbio de produtos, serviços ou informações. Assim, a língua é o veículo que intermedia o processo de intercâmbio, porém pode ser o recurso objetivado na troca, no caso da oferta ou requisição de informação.

A metafunção *textual* foca na organização dos elementos léxico-gramaticais no intuito de formar um todo coeso que é o texto. Tal metafunção é responsável por realizar os significados por meio dos diversos recursos que a língua dispõe, tais como organização temática, entonação, o ritmo, o enfoque da informação, entre outros, organizando o fluxo discursivo, dando coerência e coesão ao texto. Halliday e Matthiessen (2004) dizem que em certo sentido a metafunção textual pode ser vista como uma função facilitadora ou condicionante que permite a realização das demais metafunções.

Antes de prosseguir é preciso entender o conceito de texto dentro da linguística sistêmico-funcional. Halliday (1989) e Halliday e Matthiessen (2004) entendem o texto como uma unidade semântica, uma instância linguística dotada de significados que podem ser reconhecidos por quem quer que conheça a língua em questão.

Desse modo, o texto pode ser formado por apenas uma palavra, como a palavra *Pare* em placas de trânsito, ou por uma sequência de palavras como uma oração ou parágrafo. O que determina se uma instância linguística é um texto é se ele carrega significado perceptível para os conhecedores da língua, não a sua extensão.

O texto é essencialmente uma unidade semântica, constituído de significados e codificado em uma instância linguística, ou seja, em signos sonoros ou grafados. Por instância linguística, é designado o fenômeno concreto e particular da língua, isto é, o uso da língua mediante o qual o texto emerge em sua facticidade.

O texto realiza simultaneamente todas as três metafunções da língua. Em todo texto há significados ideacionais, interpessoais e textuais. Tais significados expressam as informações do contexto de situação organizada nas variáveis contextuais do campo, das relações e do modo, respectivamente. Assim, texto e contexto de situação interlaçam de modo que as metafunções da língua realizam os significados contextuais. O quadro 2, a seguir, apresenta a correspondência entre as variáveis de contextos e as metafunções.

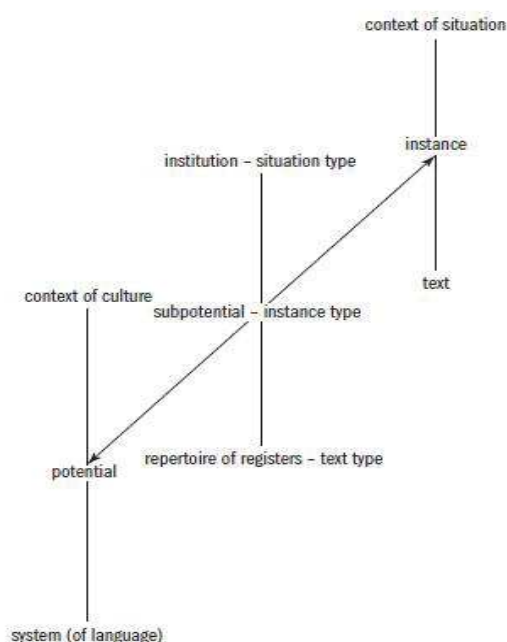
Quadro 2: Variáveis de contexto e suas metafunções correspondentes

Variável	Metafunção
Campo	Ideacional
Relações	Interpessoal
Modo	Textual

Fonte: O autor

O texto é uma entidade concreta, formulado a partir da infinidade potencial da língua. Halliday e Mathiessen (2004) colocam texto e língua como dois polos de um segmento contínuo de instâncias no qual a língua é o ponto de mais alta potencialidade sendo puramente abstrata e o texto sua realização concreta. Entre os extremos da pura potencialidade abstrata e a realização concreta do texto há diversos graus de instanciações de tipos de texto cuja estrutura é resultante das escolhas sistemáticas que darão forma ao produto final que é o texto.

Figura 4: O *continuum* da instanciação do texto



Fonte: (HALLIDAY; MATTHIESSEN; 2014 p. 28)

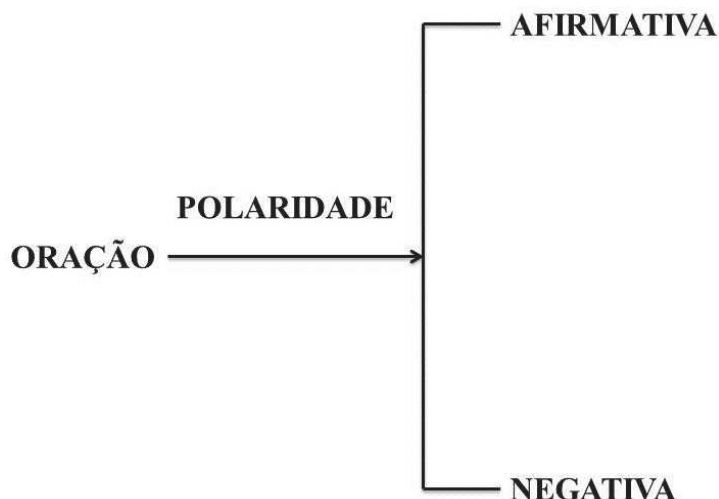
Enquanto uma entidade semântica, o texto deve ser considerado, segundo Halliday (1989), sob duas perspectivas simultâneas: como um produto e como um processo. Na perspectiva de produto, o texto é o objeto resultante de sucessivas escolhas de significados que instancia as representações sociais de um determinado contexto de situação. Como processo, o texto é entendido como atividade de troca de significados entre falantes, um processo interativo no qual eles realizam um movimento através das redes de significados potenciais que constitui a língua.

A língua é um conjunto de recursos para a criação de significados. Tais recursos organizam-se em redes de sistemas por meio das quais o falante realiza escolhas no processo de confecção do texto. Um sistema é “qualquer conjunto de alternativas, junto com sua condição de entrada [...]”¹¹ (HALLIDAY; MATTHIESSEN; 2004, p. 22). Assim, quando falamos em sistema estamos falando de um conjunto de possibilidades mutuamente excludentes que a partir de um determinado valor de entrada imprime uma característica na sentença. Por exemplo, o sistema de polaridade marca o caráter afirmativo ou negativo da sentença. Em tal sistema a oração pode assumir apenas um dos valores possíveis no conjunto:

¹¹ Any set of alternatives, together with its condition of entry[...]

positivo ou negativo. A figura abaixo mostra a representação abstrata de tal sistema da língua.

Figura 5: Sistema de Polaridade



Fonte: O autor

A língua é composta por redes de sistemas pelos quais os falantes percorrem fazendo escolhas e realizando os significados potenciais ao compor o texto expresso nos atos discursivos. Em cada escolha realizada, a estrutura do texto vai se formando e com isso informações semânticas são acrescentadas na oração, expressos por meio dos elementos léxico-gramaticais.

A linguística sistêmico-funcional de Halliday oferece um arcabouço teórico poderoso para análise de sentenças e extração das informações semânticas presentes na mesma. A análise das sentenças por meio das redes sistêmicas da língua, bem como a consideração do papel da língua como veículo de troca de significados deu a Winograd (1971) recursos para expandir os modelos de gramática de Chomsky para que o SHRDLU pudesse compreender informações como a requisição de um bem ou serviço – *PICKUP A PYRAMID* – ou uma informação – *WHAT DOES THE BOX CONTAIN?* – que conforme visto relacionam aos significados interpessoais que demarcam as relações desenvolvidas por meio da língua.

Desse modo, Winograd (1971) elabora um modelo de gramática para seu programa que esboça a gramática da língua inglesa visando a apreender as características semânticas exibidas nas estruturas da língua. Seu programa, unindo

o *parsing* sintático com a análise semântica por meio das características presentes na oração, permite ao SHRDLU participar de um diálogo simples com o usuário atendendo as requisições apresentadas por ele, reconhecendo os elementos do mundo de blocos, ou retomar a questões já apresentadas no decurso do diálogo.

Um exemplo de rede de sistemas usado em seu programa é apresentado na figura 6. Tal rede mostra as características que uma oração pode apresentar a partir da análise de sua estrutura, por exemplo, se se trata da oração principal (MAJOR) ou uma oração subordinada (SEC). Caso seja do tipo MAJOR, ela pode ser uma declaração, uma pergunta, ou uma ordem. Cada tipo de sentença tem implicações diferentes durante o transcorrer do diálogo. Uma ordem implica no desejo do usuário que o SHRDLU realize algo por ele. Ao detectar tal característica numa oração, o programa precisa delimitar o que é que está sendo requisitado e acionar o módulo PLANNER que é o responsável pela execução de ações do robô. Uma pergunta pode conduzir a outro tipo de reação do robô. Pode ser uma pergunta sobre o estado atual do mundo de blocos, ou sobre algo dito anteriormente no diálogo. No primeiro caso a pergunta deve provocar no robô uma leitura da cena para elaborar a resposta correta, enquanto no segundo caso, ele deve procurar pela resposta nos registros da conversa em sua memória.

criar mentiras, uma vez que essa ação pressupõe não só vitalidade como inteligência e vontade. Portanto tal sentença se torna completamente sem sentido quando lidamos com a língua em seu sentido literal. O que permite a nós humanos encontrar algum sentido em tal afirmação é tanto nossa capacidade de criar metáforas, capacidade essa que está relacionada com a própria semiose e criação de signos, quanto com o nosso conhecimento de mundo, que nos permite relacionar termos análogos e encontrar o sentido aproximado da sentença.

O conhecimento de mundo que temos é, portanto, parte fundamental no processo de compreensão dos significados de uma sentença. E para tal Winograd (1971) também fornece ao SHRDLU um modelo formal de conhecimento da realidade do robô virtual e, por implicação lógica, do assunto tratado no diálogo.

2.3 Do SHRDLU ao *robot/plc*

Vistas as principais bases teóricas utilizadas por Winograd (1971) para a construção de seu sistema de compreensão de Linguagem Natural e sua utilização no experimento do robô virtual SHRDLU, discutiremos a seguir as análises e contribuições apresentadas por Marques (2009), Souza (2004) e Jesus (2016), no contexto das pesquisas do LPLC.

Focaremos nessa seção as análises realizadas pelas pesquisadoras supracitadas deixando de lado os detalhes das questões históricas referentes à pesquisa do robô virtual SHRDLU e o desenvolvimento do *robot/plc*, já que tais questões foram abordadas pelas autoras em seus trabalhos.

2.3.1 A análise do sistema

Como parte das pesquisas com o experimento desenvolvido por Winograd (1972), Marques (2009) realizou uma análise crítica da documentação disponível sobre o *software* do robô, bem como testes de diálogos com a versão SHRDLU1990 desenvolvida pelos estudantes da UMR.

No primeiro teste, que consiste na repetição da amostra de diálogo fornecida por Winograd (1971) em sua tese, Marques (2009) compara os resultados obtidos publicados na tese, pressupondo que a versão SHRDLU1972 realmente tenha realizado as respostas descritas, com a performance da versão SHRDLU1990.

A versão do SHRDLU1990 apresentou-se extremamente falha no objetivo de compreensão de sentenças simples do Inglês, não conseguindo executar a amostra do diálogo apresentada na tese de Winograd (1971). O programa apresentou problemas de compreensão devido a erros sintáticos e semânticos. Por exemplo, em sentenças complexas com muitos dêiticos que o sistema precisa procurar o referente dos entes representados na sentença, o sistema se perde e não consegue encontrar uma resposta adequada como mostrado na figura abaixo:

Figura 7 Amostra de análise do SHRDLU em ambas as versões

1.7-P: Is at least one of them narrower than the one which I told you to pick up? C: YES, THE RED CUBE.	Ok	+	+	+	+	..	+	SHRDLU1972 faz tudo, inclusive inferências da memória da ação em 1 e da situação original de 5 blocos e propriedades. O SHRDLU1990 responde que não entende mas não produz pergunta para resolver as ambiguidades. Por um problema de sintaxe, onde o programa não consegue seguir os dêiticos, a pergunta não faz sentido para o SHRDLU1990. Ele não consegue identificar o que é que ele não entende devido ao grande número de dúvidas.
1.7-P: Is at least one of them narrower than the one which I told you to pick up? C: I DON'T UNDERSTAND.	-	..	..	..	..	...	+	

Fonte: (Marques, 2009, p. 60)

Como a amostra acima aponta, o robô de 1990 se perde no processo de análise para identificar os elementos referenciados e não é capaz nem de apresentar ao usuário o ponto em que ele não compreendeu, ou seja, qual foi o termo que ele não conseguiu encontrar o referente.

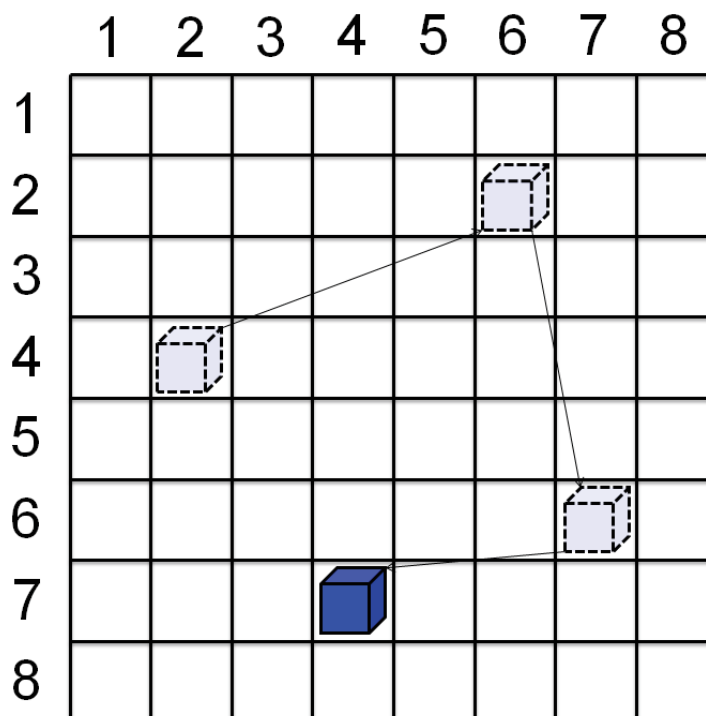
Além dos problemas de execução do SHRDLU1990, Marques (2009) ainda apresenta algumas características compartilhadas por ambos os *softwares* que, não sendo propriamente dito um erro de execução, demonstra limitações existentes no SHRDLU que não coadunam com a proposta de um robô físico.

Um exemplo disso é o fato que o cenário inicial do mundo de blocos é sempre o mesmo. O programa inicializa os blocos na mesma posição e nas mesmas condições, por exemplo, se um bloco está empilhado em cima de outro ou está disposto diretamente sobre a mesa. Se o robô tem a necessidade de que o cenário esteja em uma configuração pré-determinada, então não podemos afirmar que o robô de fato apresenta uma inteligência sobre o mundo externo à consciência nem tem a capacidade linguística de representar e comunicar sobre ele.

Para exemplificar melhor esse problema consideremos a superfície de apoio dos blocos, isto é, a mesa, seja mapeada como um plano quadriculado como num tabuleiro de xadrez no qual os blocos são posicionados em espaços identificados por linhas e colunas. Um determinado bloco B1 possui sua posição inicial localizada

no espaço C_2L_4 , ou seja, Coluna 2 e Linha 4. Durante o processo de diálogo o usuário solicita ao robô que faça várias movimentações com o bloco conforme mostrado na figura a seguir:

Figura 8: Exemplo hipotético de movimentação de bloco pelo SHRDLU



Fonte: O autor

Conforme a figura o robô movimenta B1 pelas posições C_2L_4 , C_6L_2 , C_7L_6 , até colocar por último em C_4L_7 . Uma vez que ele conhece necessariamente a posição inicial de B1, ele não precisa “ver” onde o bloco está localizado na mesa, apenas memorizar os deslocamentos realizados através de soma e subtração dos índices de C_mL_n . Tal situação nos revela uma característica limitante no sistema de Winograd (1971): o SHRDLU não enxerga o mundo de bloco. Ele apenas opera “mentalmente” as mudanças realizadas no mundo a partir do cenário inicial pré-definido.

Sua ausência de visão nos leva a um segundo problema sobre como o robô interage com o ambiente no qual está imerso e como adquire informação e produz conhecimento a partir dessa interação. Um exemplo simples surge na amostra de diálogo fornecida por Winograd (1971). Nos passos 11 e 12 do diálogo, conforme apresentado na figura 9 ele discorre sobre um tema do mundo de blocos, que é a possibilidade de se empilhar duas pirâmides. No passo 11 ele pergunta se tal feito é possível, e o SHRDLU responde que não sabia de tal informação. Já no passo 12,

ao solicitar que empilhe uma pirâmide sobre outra o SHRDLU responde de imediato que não é capaz.

Figura 9 Análise dos passos 11 e 12 do diálogo no experimento de Winograd

1-Testes realizados por Winograd e refeitos nesta pesquisa. A primeira linha de cada teste refere-se ao resultado com o SHRDLU1972 e a segunda com o SHRDLU1990 e está escrita em negrito	Sucesso-2	Substantivos-3	Verbos-4	Memória-5	Inferência-6	Planejamento-7	Texto-8	9- Comentário
...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.11-P:Can a pyramid support a pyramid? C: I DON'T KNOW	Ok	+	+	+	..	..	+	A "propriedade" parece não constar da descrição original. O programa não sabe se uma pirâmide pode ficar sobre outra, mas na pergunta seguinte ele demonstra que sabe que uma pirâmide não pode servir de apoio a outra.
1.11-P:can a pyramid support a pyramid? C: I DON'T KNOW .	Ok	+	+	+	..	..	+	
1.12-P: Stack up two pyramids. C: I can't	Ok	+	+	+	+	..	+	A inferência é sobre uma ação e parece ter sido explicitada na descrição de "pirâmide"
1.12-P: stack up two pyramids. C:I CANT .	Ok	+	+	+	+	..	+	

Fonte: (Marques, 2009, p. 62, adaptado)

Nota-se que entre um passo e outro o sistema mudou seu conhecimento sobre o mundo circundante, isto é, a possibilidade de pirâmides serem empilhadas. Essa mudança não pode ser resultante da tentativa frustrada do robô empilhar, pois não sabendo se seria possível ou não realizar a tarefa, o robô precisaria dar o assentimento para o comando, o OK como em outras partes do diálogo, e posteriormente informar que não havia conseguido concluir a solicitação. Isso nos leva a considerar que comandos diferentes provocaram acessos a informações diferentes dentro da estrutura de conhecimento prévio do robô.

Além da ausência de visão, Marques (2009) aponta a dificuldade de inserção de vocabulário no robô. Além da característica apontada por ela, que um usuário comum não consegue fazer essa inserção com facilidade, voltamos ao problema de limitação de conhecimento do SHRDLU pela falta de interação com o ambiente externo a ele. Os exemplos de novos conceitos e novos vocabulários são apenas nomes para conjuntos e de objetos e relações já conhecidos *a priori* pelo robô, não há verdadeira aquisição de informação devido à falta de percepção do ambiente.

Uma terceira característica relevante que Marques (2009) aponta é o nível de simplicidade das respostas linguísticas apresentadas pelo SHRDLU. Assim diz ela sobre o sistema:

Ele responde ao diálogo com respostas muito parecidas umas com as outras, e não produz sentenças elaboradas como as que ele compreende, confirmando o que disse seu idealizador que não pretendia fazer um programa para geração de sentenças e sim para interpretação; (MARQUES, 2009, p. 80)

Essa terceira característica confronta com a noção de diálogo apontada pela mesma autora. Um diálogo propriamente dito, segundo Marques (2009) é uma atividade na qual os participantes se fazem compreender mutuamente. As respostas padrão do SHRDLU não fornecem informações suficientes para o interlocutor compreender o alcance do conhecimento do robô, suas dificuldades específicas ao executar um comando, qual dificuldade em compreender uma sentença, entre outros problemas que um falante humano tentaria demonstrar caso quisesse fazer-se entendido.

Posteriormente à análise do sistema feita por Marques (2009), outros trabalhos com a versão do SHRDLU1990 foram desenvolvidos no LPLC. A partir dessas pesquisas, Souza (2014) aponta que a versão de 1990 consistia numa replicação do programa original, traduzido do dialeto MAC-LISP para COMMON-LISP, ambos dialetos da linguagem LISP, com uma interface gráfica em JAVA sobreposta aos módulos originais da versão de 1971.

Com base nesse fato e somado ao fato de o robô físico desenvolvido no LPLC ter seu programa de controle escrito em linguagem C++, Souza (2014) sugere a reescrita dos módulos de PLN do sistema do SHRDLU para a mesma linguagem a fim de replicar o diálogo experimental de Winograd (1971) na plataforma física construída.

Em outra perspectiva, Jesus (2016), em seu trabalho, objetiva transcrever o programa original de Winograd para a linguagem LOGO. Ela supõe que devido a linguagem LOGO ser aparentada da linguagem LISP a transcrição do programa seria efetiva e resolveria os problemas de impossibilidade de execução do software original coma vantagem de permitir cobrir os problemas de ambiguidades semânticas destacados por Marques (2009).

Além disso, ela demonstra em seu trabalho o potencial do uso de sistemas de PLN em práticas educacionais. Ela menciona que o uso do LOGO em sala de aula tornou possível o processo de aprendizado de Inglês como segunda língua e tornou a aquisição de vocabulário pelos alunos mais significativa que uma abordagem puramente expositiva.

Os três trabalhos acima apontam para as seguintes limitações no sistema do SHRDLU:

- a) Baixa percepção do ambiente – O robô não apresenta visão do ambiente. Seu único contato com o ambiente externo à sua consciência é por meio da entrada de texto, que serve como entrada para informação textual;
- b) Problemas de ambiguidade – Como mostrado por Marques (2009) o SHRDLU1990 apresenta problemas graves em encontrar referentes dos termos dêiticos, ou compreender o uso de verbos que não sejam exatamente sobre o mundo de blocos o que causa muitas vezes o travamento do sistema;
- c) Aprendizado limitado – Sua aquisição de novos conhecimentos, quer sejam estados do mundo de blocos, quer informações abstratas dado pelo usuário apresenta limitado. No primeiro caso sua deficiência decorre da falta de sensores para ler o mundo. No segundo sua capacidade de agregar novos conceitos limita-se aos conhecimentos que ele possui *a priori*;
- d) Conhecimento linguístico limitado – Tanto o SHRDLU1990 quanto o SHRDLU1972 possuem um conhecimento linguístico parcial, limitando-se ao aspecto interpretativo. Sua capacidade dialogal é baixa devido às frases genéricas que o sistema produz em resposta. O robô não executa um papel realmente de interlocutor como Marques (2009) demonstra na crítica de Popov.

O sistema do SHRDLU apresenta, portanto, limitações que precisam ser superadas. Tais limitações não se restringem às limitações tecnológicas da época de Winograd, uma vez que, no projeto de ressurreição executado pelos pesquisadores da UMR, as limitações tecnológicas já haviam sido há muito superadas e, contrariamente ao esperado, o programa por eles desenvolvido obteve resultado inferior ao original. Esse fato nos leva a considerar que, ao invés de simplesmente traduzir o código do programa proposto por Winograd (1971) é preciso reconsiderar o seu experimento e replicá-lo em uma arquitetura que atente previamente para os problemas elencados.

2.3.2 O robô físico

Concomitantemente com as pesquisas no SHRDLU, foi desenvolvido no LPLC um robô físico para replicação do experimento proposto por Winograd (1971), isto é, um robô manipulador de blocos que recebe comandos em língua natural. Souza (2014), em sua pesquisa, apresenta os passos para o desenvolvimento do mesmo e sua proposta de adequações para executar o experimento de forma satisfatória.

3 REALIDADE, CONHECIMENTO E LINGUAGEM

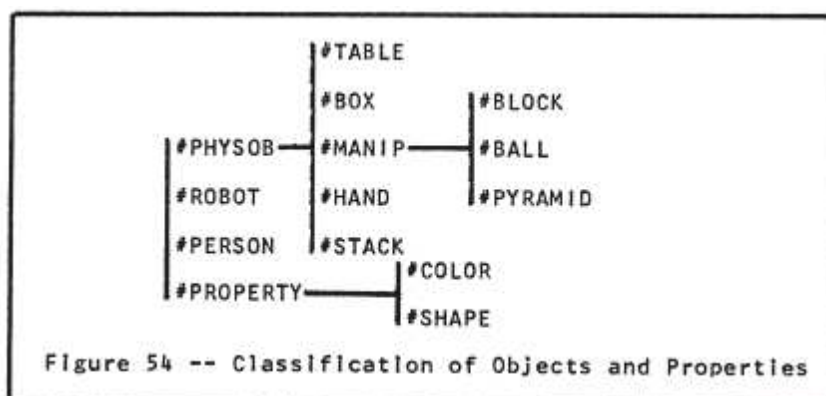
No capítulo anterior vimos algumas características do robô virtual SHRDLU conforme nos foi apresentado por Winograd (1971) e pelas críticas e sugestões oferecidas por Marques (2009), Souza (2014) e Jesus (2016). Nesse capítulo discutiremos alguns aspectos filosóficos que tocam aos problemas anteriormente apresentados e como esses aspectos influenciam na formação do modelo de software aqui proposto.

3.1 A estrutura de conhecimento no SHRDLU

No capítulo anterior apresentamos as características do sistema SHRDLU. Como apresentado, Winograd (1971) afirma que a chave para fornecer aos computadores à capacidade de compreender a língua humana é muni-lo de conhecimento prévio sobre o objeto em discussão. Para realizar tal feito ele utiliza um sistema formal para notação de objetos, propriedades e relações nos quais objetos são representados por nomes antecidos de dois pontos (:) enquanto propriedades e relações são representados por nomes precedidos da cerquilha (#). Desse modo é possível representar conhecimento expresso em sentenças da forma *a bola é azul* por (#AZUL, :BOLA) e *Pedro comprou a casa* por (#COMPRAR, :PEDRO, :CASA).

Além do sistema formal de notações, ele ainda estabelece um modelo simplificado de mundo organizado em forma de um sistema de entidades, propriedades e relações conforme visto na figura 10:

Figura 10: Modelo de Mundo de Winograd



Fonte: (WINOGRAD, 1971, p. 261)

Esses conhecimentos estão presentes *a priori* no robô e dão a ele um nível de conhecimento básico para identificar as entidades do mundo de blocos, operá-las dentro do quadro possíveis de relações, e reconhecer os termos linguísticos a ele relacionados. Além disso, a partir das observações de Marques (2009), induzimos que as informações acerca da posição inicial das instâncias concreta dos blocos também se encontram disponíveis *a priori* e, conforme apresentado, o conhecimento sobre as mudanças que ocorrem no mundo não advém de uma leitura das peças e a experiência do sucesso ou fracasso ao realizar uma ação, mas por meio de cálculos lógico-matemáticos das propriedades dos objetos presentes na simulação virtual.

Esse conhecimento prévio alocado no robô o permite, portanto, reconhecer os signos linguísticos e relacioná-los aos conceitos presentes nessa estrutura conceitual e compreender a qual objeto o usuário se refere ao dizer *red pyramid* e a que tipo de comportamento o usuário espera do robô ao usar verbos como *pick-up* ou *grasp*. Entretanto, como explicado anteriormente, introduzir novos vocabulários e, mais precisamente, novos conceitos se torna algo inviável nessa estrutura simplificada de conhecimento. Toda forma de conhecimento do robô já se encontra estabelecida previamente em seus módulos de modo que todo novo conhecimento se limita a composição a partir dos elementos pré-existentes. Se alocarmos o robô num mundo onde, por exemplo, existam esferas, não podemos esperar que ele compreenda o que são esferas uma vez que ele não recebeu uma programação prévia sobre esferas.

Em outras palavras, a aquisição de vocabulário pelo SHRDLU é limitada pela ausência de interação com o ambiente externo à sua consciência, de modo que seu processo de significação se perde devido à ausência de experiência.

Essa limitação teórica não se restringe ao trabalho de Winograd. Dreyfus (1972; 2007) argumenta que ela está presente desde os primeiros trabalhos de IA. Segundo ele, os trabalhos nos anos iniciais padeciam de uma limitação conceitual devido a uma extensão muito restrita do que os estudiosos em IA chamavam de *inteligência*, *comportamento inteligente*, *compreensão* e outros termos semelhantes.

Em suas abordagens, ao tentar formalizar o comportamento inteligente em métodos de resolução de problemas, ou realizar atividades tipicamente humanas como jogar xadrez ou traduzir textos, os pesquisadores e seus sistemas conseguiam, com certa facilidade, realizar progressos enquanto lidavam com o aspecto mecânico do raciocínio, ou seja, comparar símbolos, buscar dados em uma

lista ou base de dados e procurar soluções para problemas simples recorrendo a métodos de força bruta. Porém ao tentar realizar passos mais complexos na direção de um comportamento equivalente à inteligência humana média, as pesquisas começaram a estagnar, apresentando poucos resultados.

Dreyfus (2007) aponta que tais programas de pesquisas estavam condenados ao fracasso, uma vez que sua concepção de inteligência limitada à combinação do racionalismo, conceitualismo, representacionismo, formalismo e atomismo lógico, tais sistemas apresentavam uma carência grave em sua estrutura, o que conduzia ao problema de representar informações relevantes e significantes, apontado por filósofos existencialistas como Heidegger e Merleau-Ponty.

Em seu livro *What Computers can't do*, Dreyfus (1972) alertava para os problemas que os programas de computador desenvolvidos nas pesquisas de IA em sua época enfrentavam na tarefa de exibir comportamentos inteligentes, similares à inteligência humana. Apesar de eles manipularem dados e informações com grande desempenho e serem capazes de executar alguns procedimentos de raciocínio, como comparação lógica, análise estatística, dedução de teoremas e tomadas de decisão, como nos programas para jogar xadrez e damas, tais programas ainda não podiam, apropriadamente, serem chamados de inteligentes.

Uma compreensão geral sobre o problema que as pesquisas desse período da história da IA apresentavam, e da qual o trabalho de Winograd também está em parte sujeito, é apresentado no argumento do quarto chinês, elaborado por Searle (1980). Segundo ele os programas de IA seriam análogos a um sujeito não falante de chinês trancado em um quarto, todo em chinês, com diversos livros contendo as regras de manipulação de símbolos chineses, de modo a produzir resultados corretos. O sujeito receberia caixas com mensagens em chinês, por uma entrada – *input* – de dados e entregaria as caixas e mensagens em uma saída – *output* – de dados.

O argumento aponta que, mesmo que as respostas sejam sempre corretas, não se pode dizer que o sujeito em questão saiba chinês, tenha domínio da língua, ou sequer tenha ideia do que ele esteja de fato fazendo. O comportamento inteligente vai além da produção de saídas corretas para determinadas entradas.

Dreyfus (1972), em suas análises de alguns casos de programas até então desenvolvidos, mostra que os pesquisadores de IA, na ausência de darem às máquinas qualidades que as concederiam o almejado comportamento inteligente,

eles inserem previamente no programa da máquina informações pré-processadas e já devidamente organizadas para a realização do procedimento principal do programa desenvolvido, seja um jogo de xadrez ou um programa para resolução de teoremas lógicos. Assim ele diz sobre o *General Problem Solver* :

Uma vez que perspicácia é necessária para resolver problemas complexos e uma vez que aquilo que Minsky exige nunca foi programado, nós não deveríamos estar surpresos em descobrir que nesse trabalho de Newell e Simon essa reconstrução perspicaz do problema é sub-repticiamente introduzida pelos próprios programadores. (DREYFUS, 1972 p. 27, tradução nossa)¹²

Semelhantes estratégias foram adotadas por outros pesquisadores em seus distintos programas, sem considerar aspectos cruciais do comportamento inteligente, do processo de compreensão da capacidade dos seres humanos ordinariamente entender as demandas da realidade que o toca.

Como apontado acima, também essa estratégia é adotada por Winograd (1971). Ao colocar uma representação prévia do mundo de blocos, e definir um modelo estático de conhecimento sobre o mesmo micromundo, ele, por um lado, fornece ao SHRDLU o conhecimento que ele necessita para entender alguns comandos básicos em língua natural, como demonstrado em sua tese, por outro limita as possibilidades do robô de conhecer e responder sobre o mesmo mundo de blocos.

Um exemplo dessa limitação em perceber e reconhecer a realidade circundante, apontamos no capítulo anterior sobre a incapacidade de o robô dizer se é possível ou não empilhar uma pirâmide sobre a outra. O SHRDLU não consegue julgar tal possibilidade nem com o conhecimento que ele possui *a priori*, nem aprende tal informação *a posteriori*.

Outro exemplo, hipotético, dessa deficiência em demonstrar conhecimento genuíno vem de fazer inferências semânticas sobre os objetos conhecidos. Se perguntarmos para uma criança a diferença entre uma caixa e um bloco ela dirá que a *caixa é oca*, ou que *se pode colocar objetos dentro dela*, ou qualquer expressão semelhante. O SHRDLU não poderia responder a essa questão simples, embora ele

¹² Since insight is necessary in solving complex problems and since what Minsky demands has never been programmed, we should not be surprised to find that in the work of Newell and Simon this insightful restructuring of the problem is surreptitiously introduced by the programmers themselves.

reconheça o comando *put [...] in the box*. Em resumo, o SHRDLU se encontra como o sujeito do quarto chinês, que embora produza um conjunto limitado de respostas certas, ele sequer sabe o porquê de estarem certas.

A constatação dos limites da inteligência do programa do Winograd (1971) nos apresentada por Marques (2009) e contextualizadas por Dreyfus (1972; 2007), conduz-nos a investigar o tipo de relação que há entre conhecimento, linguagem e realidade, de modo que nossa arquitetura proposta possa solucionar os problemas encontrados nas pesquisas anteriormente apresentadas.

3.2 O conhecimento humano

O conhecimento humano é alvo de investigações desde os primeiros passos da investigação filosófica. Hessen (1999) aponta que desde Platão e Aristóteles podemos rastrear traços de reflexões epistemológicas, ou seja, sobre o conhecimento humano, ainda que misturados em outros temas. A preocupação com tal fenômeno se dá justamente por ser essa faculdade nosso elemento distintivo dos demais animais. Somos definidos como *homo sapiens*, isto é, o hominídeo que sabe.

A faculdade do conhecimento é, portanto, identitária na espécie humana. Constitui no diferencial do ser humano com toda sorte de ente que povoa o universo. Em outro sentido, por ser característica diferenciadora dos seres humanos, é somente essa forma de conhecimento que temos ciência e que se torna, invariavelmente, modelo nas reflexões e pesquisas de Inteligência Artificial.

Ainda que se queira estender aos animais e outros organismos a qualidade *inteligente* a seu comportamento por desempenhar certas funções análogas aos humanos, como a comunicação entre animais de um bando ou enxame, podendo ser mais refinadas e eficientes que as do homem em certos aspectos, tal qualificação só se aplica ao ampliarmos bastante a extensão do conceito *inteligência*, abarcando conceitos relacionados como eficiência e eficácia na execução de uma tarefa. Essa ampliação, contudo, se mostra indevida conforme nos aponta o argumento do quarto chinês, no qual por mais eficiente e eficaz fosse o comportamento do sujeito, ele não inteligia, não compreendia a realidade que se desvela no seu entorno.

Desse modo, tendo o conhecimento humano como único fenômeno real (de conhecimento) que podemos tentar apreender, nós o tomaremos como base da nossa compreensão para, posteriormente, replicarmos, na medida do possível, no *robot/plc*.

3.2.1 Fenomenologia do Conhecimento

Seguindo o procedimento de Hessen (1999), nos aproximaremos do fenômeno do conhecimento no intuito de conhecer melhor o objeto em questão. Tal procedimento, denominado por ele de fenomenológico, busca apreender a essência geral do objeto em análise conhecendo o procedimento em sua estrutura geral.

Quando pensamos no fenômeno do conhecimento, institivamente se apresenta para nós a concepção do indivíduo capaz de conhecer. O conhecimento se faz mediante a pessoa que conhece, o *sujeito cognoscente*. Assim, impossível é falar em conhecimento sem se levar em conta que em tal fenômeno é imprescindível à presença de uma subjetividade, um ente cuja consciência se volta para fora de si.

Esse voltar-se para fora de si, não é aleatório ou arbitrário, porém é intencionado a algo distinto da consciência. Esse algo é o que se denomina *objeto* do conhecimento. Segundo Hessen (1999) essa dualidade está presente em todo ato de conhecimento. Sujeito e objeto estão, em termos epistemológicos, separados um do outro. Quando dizemos separados em termos epistemológicos, isso quer dizer que os papéis de sujeito e objeto no ato cognoscitivo são distintos. Tal proposição não implica que sujeito e objeto sejam entidades distintas, ontologicamente falando. De fato, como podemos perceber, os sujeitos cognoscentes detêm a capacidade de intencionar a consciência para si mesmo, na busca do autoconhecimento. Nesse sentido, o mesmo ente é sujeito e objeto do conhecimento.

“No conhecimento defrontam-se consciência e objeto, *sujeito e objeto*.” (HESSEN, 1999 p. 20). A relação entre ambos, estabelecida mediante esse contato, é o que Hessen define como conhecimento. O conhecimento se dá a partir do enfrentamento do sujeito e objeto, no qual um e outro assumem papéis específicos não intercambiáveis.

Os papéis de sujeito e objeto estabelecem a sua separação e irreversibilidade. O papel do sujeito consiste em apreender o objeto do

conhecimento enquanto o papel do objeto consiste em ser apreensível e apreendido. O sujeito apreende o objeto extraindo dele suas propriedades determinantes de modo que o sujeito é modificado pelo objeto, recebendo deste uma *imagem* formada a partir de suas determinações.

A imagem é o produto resultante do contato entre sujeito e objeto numa relação de conhecimento. Aqui imagem não se refere a uma representação visual, mas a uma replicação das determinações do objeto no sujeito. Pela imagem o objeto se torna conhecido pelo sujeito. A imagem é a construção lógica que o sujeito realiza mediante as propriedades extraídas do sujeito. Uma vez que esta imagem esteja de acordo com o objeto do conhecimento, é dito que o conhecimento é verdadeiro ou correto, ao passo que havendo discordância entre imagem e objeto, tem-se um conhecimento falso, ou incorreto.

Sujeito, imagem e objeto são os elementos que compõem o ato cognoscitivo, identificados pelo método fenomenológico como nos aponta Hessen (1999). A partir dessa constatação, ele nos apresenta uma série de questões pertinentes a Teoria do Conhecimento, bem como diversas posturas filosóficas e epistemológicas que são tomadas a partir dessas questões. Como não é o enfoque discutir cada uma dessas questões, apenas sinalizaremos quais posições são adotadas nesse trabalho e uma breve justificativa desse posicionamento.

Quanto ao problema da possibilidade do conhecimento, adotaremos uma postura *dogmatista*, isto é, de uma certeza axiomática que o conhecimento humano é possível e da apreensão do objeto pelo sujeito, contrariando as diversas formas de ceticismo. A razão de adotarmos tal postura é que não estamos fazendo um estudo epistemológico em si, apenas nos orientando por estudos anteriores realizados por diversos pensadores. De tal modo, assumimos, por uma questão prática, que o conhecimento é possível, não sendo necessário demonstrar tal possibilidade.

Quanto ao problema da origem do conhecimento, assumimos uma posição oscilante entre o intelectualismo e o apriorismo. Ambas, consideradas tentativas de síntese entre o empirismo e o racionalismo, apresentam como dupla a fonte do conhecimento: a razão e suas operações e as informações sensoriais. Contudo, os pressupostos de ambas as posições divergem diametralmente. Enquanto o intelectualismo pesa sobre a experiência concreta, o apriorismo aponta os conceitos *a priori* como elemento preponderante no sistema do conhecimento. Novamente, não sendo o escopo do presente trabalho apontar uma solução para os problemas

de tais posicionamentos, iremos nos direcionar por aquilo que está de comum acordo entre ambos.

Quanto aos problemas seguintes levantados por Hessen, iremos retornar a eles num momento posterior. Cumpre, agora, fazer um detalhamento de cada um dos elementos constitutivos do conhecimento de modo que tal análise possa iluminar as dificuldades encontradas no programa original do SHRDLU, bem como a construção de uma proposta de nova versão.

3.2.2 O sujeito do conhecimento

Ao debruçarmos sobre o fenômeno do conhecimento, o primeiro elemento que se apresenta é o indivíduo cognoscente, ou seja, o sujeito capaz de conhecer algo. Como mencionado anteriormente, o único espécime que temos ciência dessa capacidade é o homem, tendo, portanto, a inteligência humana se tornado modelo de nossa investigação.

A definição clássica do aristotelismo de homem como animal racional serve como ponto de partida de nossa investigação. Esta definição apresenta, de modo sintético, as dimensões que formam o indivíduo humano, dimensões essas que tem papel relevante na formação do conhecimento.

Quando se fala animal, uma série de qualidades relevantes, do ponto de vista do conhecimento, está embutida nesse conceito. Em primeiro lugar, tratamos de um ser corpóreo, um ser que se realiza na existência por meio de um corpo. A esse fato, Mondin (1980) aponta que o corpo tem como uma das principais funções a mundanização do homem. Isto quer dizer que pelo corpo o homem é um ser-no-mundo (expressão que tem grande peso na filosofia heideggeriana) que vive e atua no mundo e nas relações com o mundo em torno de si.

Pelo corpo, ainda afirma Mondin (1980), é determinada a autoconsciência, a percepção de si. E se o corpo é fonte de autoconsciência, pela via da contradição, também se estabelece a alteridade ou o não-eu. Assim, tudo que é algo e simultaneamente está fora do corpo não faz parte do sujeito. A esse algo fora do corpo, o sujeito humano interage sendo por ele afetado e atuando sobre ele por meio de seus membros.

Nesse vínculo interativo, diversas trocas de informações são realizadas entre o sujeito e o ambiente no seu torno. Em geral, toda essa interatividade é

intermediada pelo corpo, a menos que a atividade na qual o sujeito se engaja seja prioritariamente teórica. Ainda assim, mesmo a realização de tais atividades, o componente corporal não é completamente dispensável. Sinais elétricos percorrendo os neurônios enquanto o sujeito realiza atividades abstratas são a demonstração que mesmo os processos tidos como puramente racionais também se dão por meio do corpo.

Como parte da função mundanizante do sujeito, o corpo precisa de faculdades que o permitam a realizar-se enquanto ser-no-mundo. Para perceber o mundo ao seu redor o corpo é dotado de sensibilidade, manifesta em diversos órgãos dos sentidos. Para alterar o mundo, mover-se, expressar-se entre outras ações, há os membros, a voz, a face. Assim o corpo age como interface entre o mundo e a consciência subjetiva.

Corporeidade, sensibilidade, mobilidade, imaginação e memória são qualidades implícitas ao conceito animal presente na definição de humano. Além disso, há o conceito racional a ser explorado.

Conforme nos apresenta Lima Vaz (2009), desde os tempos do classicismo grego a compreensão do ser humano perpassa sua caracterização em uma dupla dimensão. Para além da dimensão da animalidade, o homem verticaliza-se, transcende os limites da *physis* e forma o universo da razão, da ciência, dos valores éticos e estéticos, da técnica, da política, entre outros. Sua capacidade de compreender o mundo e lê-lo por diversos prismas o deixa numa posição única no cosmos. Ele diz:

Em primeiro lugar, é exaltada a superioridade do homem sobre os outros animais [...] que se manifesta na estação vertical e na marcha, e no olhar voltado para o alto, mostrando a aptidão do homem para a contemplação dos astros [...]. Celebra-se, em seguida, a habilidade das mãos humanas, obreiras da *téchne*, e exalta-se a prerrogativa da linguagem, manifestação do pensamento (*logos*). (LIMA VAZ, 2009 p 23-24)

Por ser o portador do *logos*, o ser humano verticaliza a realidade física em um universo de símbolos, valores, relações e propriedades. O mundo físico é, então, assimilado pelo *nôus* – mente, espírito, intelecto – e admitido ao universo simbólico do qual o ser humano está imerso.

Essa dimensão verticalizada é propiciada pela faculdade do intelecto e da vontade, faculdades essas que conferem ao sujeito humano a capacidade de entender sobre os fatos e deliberar sobre as ações.

A nota racional presente na definição de homem aponta para três aspectos distintos do mesmo conceito. O primeiro aspecto é a faculdade intelectual, como nos mostra Santo Tomás de Aquino, ao dizer que “os homens, ao contrário,[...] chegam ao conhecimento da verdade inteligível, procedendo de um elemento a outro, e por isso, são chamados racionais” (I. q.79 a.8 rep.). Nessa afirmação, Santo Tomás nos apresenta que o modo pelo qual o intelecto humano opera é por meio de um conhecimento discursivo, ou seja, por meio da agregação ou separação de conceitos na forma de juízos os quais são julgados verdadeiros ou falsos segundo a adequação ou não do intelecto ao objeto remetido. Esse movimento necessário à inteligência para formular o conhecimento é o raciocínio. Por isso é dito conhecimento racional.

Um segundo aspecto ligado ao caráter racional é a faculdade de deliberação e tomadas de decisões sobre as ações. Além da capacidade de raciocínio sobre objetos, relações, propriedades, conceitos e juízos altamente abstratos, a razão humana também atua sobre o agir humano, na medida em que percebe, deduz, estabelece e delibera sobre objetivos a serem alcançados e os meios de atingir tais objetivos. Esse caráter da razão está ligado também à faculdade da vontade que também é uma potência – ou função – da razão, no sentido que somente os seres dotados de racionalidade são capazes de agir voluntariamente e, portanto, com liberdade de decidir pelos meios mais adequados aos fins estabelecidos (I. q.82 a.1).

Um terceiro aspecto da razão, assim como o anterior, é voltado para a ação, mas tem um caráter produtivo e/ou técnico. A essa dimensão, está ligado o saber voltado para a produção e o desenvolvimento criativo. Frequentemente associado às artes e ao saber técnico, essa dimensão do saber envolve a capacidade do sujeito de transformar os objetos no entorno e de aperfeiçoar a si mesmo no cumprimento de determinadas tarefas, refletindo sobre os processos que envolvem a obtenção de certos produtos. É o saber próprio do artesão, do artífice e do artista. A essa forma de saber, critérios como eficiência e eficácia seriam apropriados, já que mediante o produto da ação pode ser avaliada a adequação do mesmo produto ou do processo de sua produção.

Os três modos do saber correspondem à mesma faculdade, a razão, e operam de forma concomitante. Nesse tocante, não é possível separar apenas uma e atribuir todo o qualitativo de inteligente a uma única atividade. Aquele que é capaz de contemplar o mundo circundante e dele extrair as leis que o regem é inteligente; aquele que é capaz de reger a si mesmo com maestria, tomando as melhores decisões mesmo diante dos grandes dramas da vida, é inteligente; aquele que é capaz de extrair belas formas da pedra, pintar figuras impressionantes, tirar sons melódicos de determinados objetos, erguer pontes e prédios, projetar máquinas, também é uma pessoa inteligente. Ou, melhor dizendo, essas coisas só são realizáveis na medida em que há indivíduos inteligentes para compreender o mundo e interagir com ele.

Essa perspectiva é apontada por filósofos clássicos, como São Tomás de Aquino ou Aristóteles, mas é com o existencialismo contemporâneo que essa perspectiva será ressaltada. Como Dreyfus (2007) sinalizou, a redução da inteligência como processos puramente formais de raciocínio foi o motivo do esgotamento breve dos programas de pesquisa em IA na sua primeira fase. E com base nessa perspectiva que as abordagens daquilo que Dreyfus (2007) chama de IA heideggeriana irão imergir, considerando o processo de inteligência não apenas os raciocínios formalizados, mas estes integrados com métodos para percepção do universo factual que envolve os agentes cognitivos (humanos ou artificiais).

3.2.2.1 O papel dos sentidos e a informação empírica

Como visto anteriormente, a análise do fenômeno do conhecimento humano nos revela que o processo de conhecimento e aprendizado do sujeito envolve tanto os sentidos do corpo e as informações empíricas, quanto o uso da razão e de suas operações puras.

Os sentidos tem como papel a captação dos dados externos à consciência que revelam a existência de objetos dispostos em determinada situação factível. Isso quer dizer que os sentidos captam o que está ocorrendo com os objetos no entorno do sujeito, de modo a dar-lhe substrato para reconhecer esse universo, suas entidades e situações.

Os sentidos operam, com frequência, de uma forma passiva, sendo bombardeados com informações: sons, reflexos luminosos, pressão, calor, entre

outros – sendo estes enviados para aquilo que Dreyfus (1972) chama de “consciência periférica”¹³, na qual podem ser percebidas vagamente as impressões que o ambiente nos envia sem com isso voltar nossa atenção completa para tal.

Ao julgar uma informação relevante, esse fragmento do mundo circundante atrai a atenção do sujeito, o qual devota seu foco, voltando para essa parte da realidade circundante todos os sentidos necessários para perceber com exatidão o contexto no qual esta imerso. É o caso do jogador de xadrez que percebe entre as diversas peças espalhadas pelo tabuleiro aquela que possibilita a melhor jogada, ou quando, ao atravessar a rua, usamos nossos sentidos para perceber o movimento dos carros e ignoramos em parte o restante do cenário.

A esse voltar a atenção, podemos dizer que se faz um uso ativo dos sentidos, ou seja, a manutenção dos sentidos na fonte das percepções que interessam naquele contexto, mesmo que os órgãos do sentido em si continuem trabalhando passivamente, isto é, apenas captando aquilo que é capaz de receber do ambiente externo.

A designação *sentidos* aqui empregada refere à função que executa. Ou seja, o sentido da visão é o sentido que nos fornece a percepção visual das coisas, sendo essa percepção gerada pelo estímulo luminoso, captado pelas células da retina, e enviada como pulso nervoso a área do cérebro responsável pela função para ser formada a imagem percebida.

A função visão capta, então, os estímulos luminosos diversos e forma as percepções relativas a cores, formas, textura, relevo e outros. Essa resultante pode atuar tanto na consciência em si mesma, como na consciência periférica do sujeito, conforme a intencionalidade do mesmo.

O que foi dito para a visão vale para os demais sentidos. Um aspecto a se notar é que as sensações formadas pelo sujeito em sua consciência já são resultantes de um processamento gerado pelo cérebro, porém de modo à parte da consciência. O que os órgãos receptivos apreendem são apenas fenômenos físicos: luminosidade, som, temperatura e pressão, ou químicos como odores e sabores, porém todos esses fenômenos são transformados em algo mais complexo, unificado em uma única sensação: objetos, localização espacial, calor ou frio, doce, amargo entre outros. E essas sensações são re combinadas em novas percepções e

¹³ Tradução nossa para *fringe consciousness* expressão usada frequentemente por Dreyfus (1972)

significadas. Um objeto, aproximando rapidamente, é algo que devo estar em alerta, logo devo voltar minha consciência para ele. Essa percepção nova é aplicável da mesma forma ao atravessar a rua ou ao explorar uma região selvagem com potenciais animais perigosos.

Nesse nível de processamento que vai da captação do fenômeno físico até as unificações em percepções complexas e a reunião dessas percepções na formulação de possíveis cenários ou *frames* de situações está a limitação das pesquisas realizadas pela IA simbólica, modelo no qual é enquadrado o SHRDLU.

Com a ausência de contato com o ambiente externo, a consciência leva o agente inteligente a não ser capaz de definir a relevância de uma alteração no estado do mundo. Segundo Dreyfus, ao deparar com esse problema “os programadores de IA no MIT nos anos sessenta e início dos anos setenta limitaram seu programa ao que eles chamaram micromundo [...]” (DREYFUS, 2007 p.1139 tradução nossa¹⁴) na tentativa de reduzir o número de situações possíveis e assim tornar enumerável e manipulável o conjunto de estados possíveis para construção de algoritmos de resolução de problemas baseados em árvores de busca.

Porém, como mostrado anteriormente, a internalização completa do micromundo, leva um programa a esgotar-se rapidamente nas possibilidades produzidas pela representação prévia, sem com isso o agente ser capaz de apreender e aprender sobre novos objetos, mesmo que estejam dentro do mesmo escopo de sua representação prévia.

Um último aspecto sobre a questão dos sentidos e da informação empírica aqui exposta é que embora em sentido estrito, a informação empírica recebida pelo ambiente seja composta somente de dados físico-químicos, aquilo que a mente humana opera são conceitos extraídos a partir de percepções complexas, como objetos cotidianos – mesa, caixa, blocos, sirene, música, alarmes entre outros – e que essas representações, ainda que tenham sido tratadas pela mente de algum modo fora da consciência propriamente dita, são construções realizadas pelas funções do sentido. Isso demonstra que já há uma certa ordenação dessas apreensões físico-químicas antes mesmo de adentrarmos naquilo que é próprio da razão.

¹⁴ the AI programmers at MIT in the sixties and early seventies limited their programs to what they called micro-worlds[...]

3.2.2.2 O papel da razão e os conceitos organizadores

Enquanto os sentidos captam as informações sobre os objetos e formam as representações compete à razão organizar essas representações de modo a formar aquilo que chamamos conhecimento. Em sentido próprio, conhecer é a capacidade de abstrair do objeto em particular suas propriedades universais e necessárias. Assim só se conhece o objeto “triângulo” quando para além de toda e qualquer representação em particular, é concebido uma “figura de três lados e três ângulos”, pois essas são algumas de suas propriedades universais e necessárias.

A abstração de propriedades e associação das mesmas ao conceito formulado para o objeto se dá por meio da formulação de juízos. Conforme já dito, a razão humana opera discursivamente. Isso significa que associamos uma propriedade a um objeto atribuindo ao mesmo uma predicação de conceitos. Portanto o conceito *extensão* é associado ao conceito *corpo* por meio de um juízo formulado como *corpos são extensos* ou *corpos tem extensão* ou ainda *corpos ocupam lugar no espaço*.

Além da ação de associar conceitos para a formulação de juízos, com o auxílio da informação das representações sensíveis, a razão é capaz de elencar quais propriedades são ou não essenciais aos objetos. Por exemplo, para um bloco cúbico é essencial que ele seja um corpo, extenso, de seis faces quadráticas. Porém não é essencial que ele seja branco, azul ou preto. Essa capacidade de discernir tais propriedades permite que, por um lado, a inteligência delimite as características inerentes a um objeto, e por outro, que ela possa transitar de um conhecimento a outro por análises das suas características acidentais.

A partir desse discernimento entre características acidentais e essenciais, a inteligência é capaz de montar raciocínios que permitem inferir novos conhecimentos. Por exemplo, na situação retratada no capítulo anterior sobre a pirâmide poder servir de apoio para outra pirâmide – ou qualquer outro bloco – se perguntarmos ao *robot/plc* se ele consegue empilhar uma pirâmide sobre a outra apenas com a informação do mundo externo no nível da percepção sensível bastava para responder sim ou não. Porém se a pergunta fosse *por que você não consegue empilhar uma pirâmide sobre outra*, o robô precisaria além da averiguação das informações empíricas, de inferir conhecimentos novos até a formar a ideia de

equilíbrio e a relação com a superfície de apoio de um corpo e a característica puntiforme do topo da pirâmide.

Mondin (1980) expõe de modo sintético essas três atividades do intelecto, denominando-as *aprendizagem*, que outros manuais de lógica filosófica chamam *simples apreensão*, *juízos* e *raciocínio*. Por meio dessas três atividades é formada toda a rede de conhecimento humano. Assim ele diz:

Por meio dessa faculdade, o homem consegue tirar, a partir dos dados que lhes são fornecidos pelos sentidos, ideias gerais, juízos universais, sistemas de informação. Obtém isso com três operações distintas: aprendizagem, juízo e raciocínio. Na aprendizagem, o intelecto abstrai a ideia universal; no juízo, associa ou mesmo separa duas ideias; no raciocínio, extrai uma nova ideia das ideias precedentes. (MONDIN, 1980 p. 77)

Quanto à parte do juízo propriamente dito, ou seja, atribuir verdadeiro ou falso a uma associação de duas ou mais ideias, por exemplo, $a = b$, e partes do raciocínio, relações lógicas entre juízos tais como condicionais – se...então... – os sistemas computacionais operam com facilidade. Contudo, conforme dito, o papel da simples apreensão, ou aprendizagem no vocabulário de Mondin (1980), e a construção de proposições, ou seja, a elaboração de conteúdos judicativos baseados no que é apreendido, é falho no SHRDLU.

3.3 A realidade

Segundo a exposição fenomenológica de Hessen (1999), o conhecimento é uma relação entre sujeito e objeto, no qual o sujeito – a sua consciência cognoscente – é determinada pelo objeto, através da atividade da consciência de recolher as determinações do objeto em si e formar sobre si a imagem deste mesmo objeto. Tomamos por pressuposto que o conhecimento é possível e admitimos que a natureza do conhecimento seja dupla, ou seja, depende dos dados empíricos e da razão. Em face disso, exporemos algumas questões relativas aos objetos e a realidade circundante ao sujeito.

Admitida a relação entre sujeito e objeto e também o papel das informações empíricas e da ação da razão, Hessen (1999) explicita um problema epistemológico ao que toca o papel do objeto (e toda realidade externa ao sujeito). Esse problema refere-se à preponderância das partes na relação de conhecimento, ou seja, se na relação o peso maior está no sujeito ou no objeto. Quanto a isso, adotamos a postura *realista* que admite que a preponderância se encontra sobre o objeto, que

determina – e modifica – o sujeito. Sem entrar no mérito das argumentações favoráveis ao realismo e suas diversas formas, essa postura é adotada em virtude do próprio experimento que tentamos replicar: um robô imerso em um micro-mundo de blocos, e que dialoga com um parceiro humano sobre o mundo de blocos. Para tal, o mundo de blocos necessita ser uma realidade transubjetiva, na qual robô e parceiro possam interagir – tanto na percepção quanto na ação.

Admite-se, assim, que o mundo de blocos subsiste independentemente da consciência do robô e do parceiro. Isso implica que, ao contrário do micromundo original, em nosso caso, esse mundo é aberto à dinamicidade própria, não necessitando os estados do mundo serem determinados pelas ações dos agentes, nem determinar um estado inicial para ele.

Desse modo, o objeto do conhecimento, para a dinâmica do conhecimento, precisa ser apreensível para o sujeito. Isso quer dizer que deve haver alguma proporção entre os objetos e as faculdades sensíveis do sujeito. Dado que, em nós, os sentidos são parte da nossa constituição corpórea, num primeiro momento, conhecemos somente aquilo que é possível captar diretamente por eles. Entretanto, e a isso a história das ciências confirma, a investigação de fenômenos causados por forças ou entes imperceptíveis aos sentidos naturais levou o ser humano a desenvolver recursos que ampliasse sua capacidade de percepção afim de melhor apreender o todo que compõe a realidade.

No caso de agentes artificiais essa razão de proporcionalidade entre sensores e objetos a serem apreendidos são observados em função do problema a ser tratado pelos mesmos. Esses pontos serão melhor desenvolvidos no Capítulo 4 ao ser apresentado o projeto de arquitetura de software proposto para o *robot/plc*.

3.4 A Linguagem

Como afirmado na seção 3.2.2 sobre o conhecimento humano, a qualidade racional aponta para uma propriedade discursiva do inteligir humano. Isso significa que o pensamento, em certo sentido, é redutível à linguagem, de modo que é somente na organização proposicional e na estrutura lógica propiciada pelas proposições e em suas relações que os pensamentos e o conhecimento são organizados e o conhecimento passa a ter sentido.

Além disso, a linguagem é um modo de expressão do sujeito, portanto uma forma de interação da subjetividade com seu mundo circundante. Por ela, o sujeito interfere na realidade comunicando a outros indivíduos seus pensamentos e ideias e, em certo grau, interferindo na forma como tais sujeitos interagem entre si e com o ambiente comum a todos.

Por fim, a linguagem ainda é percebida na atividade de verticalização, mencionada anteriormente, onde o *mundo das coisas* passa integrar o *mundo dos humanos*. As coisas passam a integrar o universo humano na medida em que este associa-lhe um ou mais valores e esvazia-o de sua condição própria e integra-o como símbolo. Esse processo de construção de significado e ressignificação dos objetos para fora da esfera natural é o que costumam chamar de passagem do estado de natureza para o estado de cultura. Assim, por exemplo, a água deixa de ser somente um ente no espaço e passa simbolizar a vida, a esperança de sobrevivência. Ou simbolizar a pureza e a purificação das coisas, em rituais de ablução.

Desse modo, os objetos, suas propriedades e relações são frequentemente incorporados ao mundo humano não só pelo que são em si, mas pelos significados que os seres humanos criam como expressão de sua faculdade intelectual.

3.4.1 Linguagem e conhecimento

A estrutura pela qual pensamos e raciocinamos sobre as coisas é fundamentalmente linguística. Somente quando os objetos de conhecimento são organizados na trama lógica da proposição é que se tem a construção do conhecimento sobre eles. É afirmando ou negando algo, em sua essência, que o conhecimento se desdobra.

Ora, como visto no capítulo anterior, uma das funções da linguagem é ser expressão do pensamento, como espelho da realidade. A metafunção ideacional de Halliday (1989) demonstra que na expressão linguística está presente uma série de elementos que permitem reconhecer os objetos representados – estejam eles em sentido próprio ou metafórico – e as relações lógicas que os enformam. Assim, a conjunção entre objeto e propriedade *casa* e *azul* é expressa na língua portuguesa na forma *a casa é azul*.

Mesmo sentenças linguísticas que não estejam sob a forma declarativa, por exemplo, *a porta está aberta?*, ela contém em si um conteúdo judicativo ao qual pode ser atribuída a forma declarativa da sentença, sendo a forma afirmativa ou negativa, dependendo de qual possuir o valor de verdade como Verdadeiro, a fonte da resposta sobre a pergunta.

Além desse aspecto, como já mencionado, o papel da linguagem como intermediador de relações sociais, faz dela um importante meio do sujeito obter informações sobre a realidade de modo indireto. Ao deparar com um termo desconhecido, é possível por meio das descrições dadas, reconhecer elementos familiares a ponto de julgar se se trata de um objeto conhecido expresso em um nome diferente ou se se trata de um objeto desconhecido. E, caso seja um objeto inicialmente desconhecido, ele se torna parcialmente conhecido pelas informações obtidas em sua descrição.

Dessa inter-relação entre linguagem e conhecimento, percebe-se a necessidade de remodelagem do programa do robô para buscar soluções para os problemas linguísticos apresentados. Tais problemas não assentam somente em deficiências linguísticas em sentido estrito, mas em toda uma concepção de conhecimento e realidade que limitam o programa.

4 MODELAGEM DO *ROBOTPLC*

No capítulo segundo, foi apresentada a base teórica que, até então, norteava a pesquisa referente ao *robotplc*, tendo sua base no trabalho de Winograd (1971) com o SHRDLU, e as críticas realizadas por Marques (2009) e Souza (2014). No capítulo terceiro, foi apresentada a crítica geral de Dreyfus (1972; 2007) às pesquisas em IA nos seus anos iniciais, que ignorando vários aspectos da inteligência humana, conduziram as primeiras abordagens ao que ele chama de fracasso. Nesse escopo de universo de pesquisas, encontra-se o trabalho de Winograd (1971), a partir de uma leitura da Teoria do Conhecimento de Hessen (1999), da antropologia de Mondin (1980) e Lima Vaz (2009) e ainda algumas contribuições de São Tomás de Aquino. Segue expor nesse capítulo uma modelagem de software para o *robotplc*.

4.1 Modelagem de Sistema

A modelagem de sistema consiste em criar “modelos abstratos de um sistema, em que cada modelo apresenta uma visão ou perspectiva, diferente do sistema” (SOMMERVILLE, 2011 p. 82). Os modelos que compõe a modelagem abordam vários aspectos ligados ao desenvolvimento do sistema, considerando desde abordagens informais e gerais da tarefa executada pelo *software*, as interações com usuários humanos ou outros sistemas autônomos ao sistema em questão, chegando até o nível de detalhamento da modelagem do programa, das estruturas de dados utilizados, protocolos de comunicação, requisitos de hardware entre outros.

Cada modelo, com seu nível de detalhamento específico, contribui para dar uma visão sobre os diversos níveis de atuação do sistema, de maneira a avaliar o impacto em cada nível de estratificação e como isso será tratado.

Além disso, a modelagem permite antever os requisitos necessários de *hardware* e *software* para que tal sistema seja implementado e assim avaliar a possibilidade de implementação ou não daquele modelo dentro dos recursos disponíveis.

Para tratar da modelagem do sistema que compões o *robotplc* focaremos nesse trabalho apenas naquilo que pode ser extraído a partir do apresentado nos

capítulos anteriores. A razão para tal opção é que a modelagem seja flexível o suficiente para ser adaptável a diversos contextos de *hardware* e *software* tendo em vista que, no prosseguimento das pesquisas do LPLC, haverá ao menos duas implementações diferentes da modelagem, uma exclusivamente em *software*, como no caso do SHRDLU, para implementar e avaliar toda sorte de algoritmos de PLN e IA em geral, e a implementação física na plataforma já desenvolvida, de modo a transpor o robô virtual para o mundo físico.

Além disso, a modelagem em um nível mais genérico permite que novos fatores possam ser considerados e incorporados em trabalhos futuros, sem com isso estarem restritos às escolhas tecnológicas realizadas durante o processo de implementação do sistema. Assim, a escolha de determinada linguagem, paradigma de programação, técnica de IA, modelos de dados, não estão no contexto dos modelos aqui representados.

4.2 Definição do escopo do software

O software a ser projetado terá por papel recriar o experimento de Winograd (1971), porém reconsiderando algumas questões com base no que foi dito anteriormente. O software do robô será projetado para ser autônomo do programa de simulação, diferentemente do projeto original apresentado. Nele Winograd mistura tanto as funções referentes ao SHRDLU para as tarefas de processamento de linguagem natural, quanto de gerar a simulação em si, como apresentado no esquema mostrado a seguir:

Figura 11 – Modelagem do SHRDLU

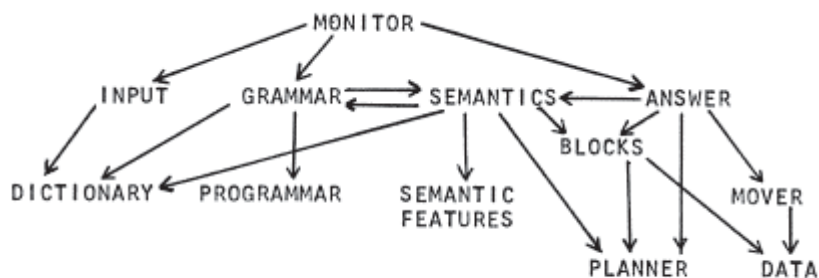


Figure 2 -- Organization of the Programs

Fonte: (WINOGRAD, 1971 p. 29)

Como explicitado por Winograd (1971), os módulos MOVER, DATA e BLOCKS, são rotinas responsáveis para criar a simulação em computador e exibi-la no display de saída. São, portanto, para o modelo do robô dispensáveis. Uma vez que o software deve ser portátil para a plataforma física já existente, como também ser aplicável a simulações em software, não faz sentido a codificação do agente considerar questões como gerar uma figura de uma pirâmide na saída de vídeo do computador. Essa codificação deverá ser implementada justamente no programa simulação que irá instanciar em si o *robot/plc* e permitir que o usuário visualize e analise o comportamento do robô.

Fazendo essa separação podemos delimitar o escopo, definindo o software da seguinte forma: o *robot/plc* é um agente inteligente para manipulação de blocos físicos, que interage com parceiros humanos por linguagem natural.

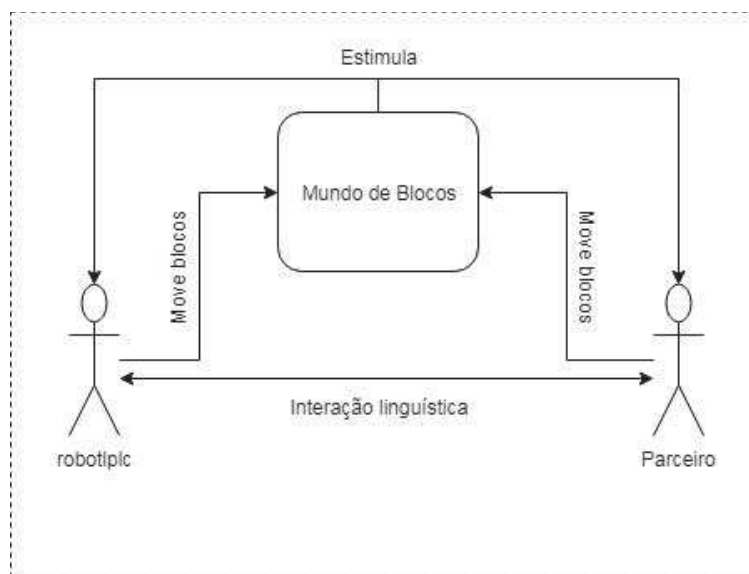
Essa definição é inspirada no artigo de She e outros (2014), que buscam remontar o mundo de blocos, com o enfoque no ensino de robôs em tarefas cooperativas. Nesse sentido, deslocamos aqui o mundo de blocos do horizonte gnosiológico do robô, para o horizonte teleológico. Queremos com isso dizer, que o mundo de blocos não é, em teoria, a definição de todo universo conhecido do robô, e sim o universo das atividades exercidas pelo robô. Em função da atividade de manipular blocos, o robô desenvolve seu relacionamento com o usuário e com ele aprende o que é necessário para executar a tarefa e sustentar a interação.

Seguido a isso, demonstraremos os modelos gerados para caracterização de todas partes componentes do *robot/plc*.

4.3 Modelagem do *robotplc*

Ao considerarmos no aspecto mais geral e totalizante, temos que o sistema no qual se encontra o robô é um composto entre o robô em si mesmo, um parceiro humano e o mundo de blocos no qual o robô exerce sua atividade, como esquematizado a seguir.

Figura 12 – Visão do *robotplc* em contexto de ação



Fonte: O autor

Como apresentado no modelo, está aí uma representação gráfica do escopo geral do sistema onde há dois atores, *robotplc* e o parceiro, e uma representação geral para o mundo de blocos. As interações gerais entre os elementos estão representadas pelas flechas e significadas pelo escrito sobre as mesmas.

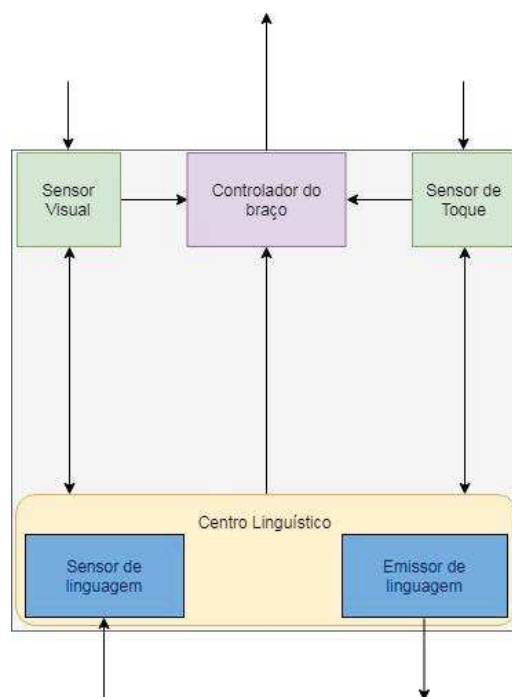
Os atores do processo agem sobre o mundo de blocos movendo-os livremente pelo espaço definido na sua constituição. Por sua vez, o mundo de blocos está constantemente enviando estímulos para os atores informando o estado vigente. Os atores são então afetados por tais estímulos para perceberem continuamente, enquanto estiverem relacionados ao mundo de blocos, à condição do mundo e às variações que ocorrem no decorrer do tempo.

Entre os atores, ocorrem interações linguísticas sejam escritas ou orais. Nesse processo não é necessário que o robô veja o parceiro, apenas que receba dele as mensagens enviadas em língua natural. Também é igualmente necessário que o parceiro receba as mensagens do robô, sejam como *feedback* de um contato

iniciado pelo parceiro, seja para requisitar alguma informação ao parceiro, caso depare com um cenário desconhecido no mundo de blocos.

Para que tais operações sejam realizadas, o robô deve apresentar, portanto as seguintes estruturas básicas em sua constituição:

Figura 13 – Constituição do *robotlplc*



Fonte: O autor

O diagrama mostra que são necessários pelo menos dois sensores para que a função de leitura do mundo seja minimamente satisfeita. É também um sensor visual, mais complexo encarregado de um grupo grande de tarefas, elencadas a seguir, e pelo menos um sensor de toque para que o robô saiba quando a peça for pega ou solta pela garra.

Além disso, é apresentado um *centro linguístico* que se encarrega de realizar tanto as tarefas de análise das mensagens oriundas do parceiro, quanto gerar as mensagens que são enviadas a ele.

As flechas representam trocas de informação que precisam acontecer entre esses módulos, direta ou indiretamente. Por exemplo: do sensor de visão, chegará a informação sobre quais objetos que compõem o cenário ao centro linguístico - e por conseguinte as palavras significantes desses objetos, como *bloco* ou *caixa*, por exemplo. Por sua vez, do centro linguístico pode vir ordem para que a atenção dos sensores volte-se para uma determinada parte do mundo de blocos.

O controlador do braço, por ter função executora, não precisa, *a priori*, enviar informações para os demais módulos.

A função visão, isto é, o papel desempenhado pelo sensor da visão, necessita realizar ao menos três tarefas gerais básicas:

- a) Discriminação de objetos, ou seja, separar quantos objetos estão no mundo discernindo apenas quanto à existência, posição e quantidade;
- b) Identificação e categorização. Isso significa que, para cada objeto discriminado, é identificado um possível paralelepípedo, uma pirâmide, uma esfera ou uma caixa;
- c) Apreensão de atributos e relações, que significa para cada objeto discriminado deva ser capaz de determinar seus atributos secundários, isto é, não determinantes para sua identificação ou categorização, como cor, e relações entre outros objetos, como tamanho relacional – a maior pirâmide – posição espacial relativa – acima do bloco verde, perto da caixa, dentro da caixa – e outras semelhantes;

Por sua vez, o sensor de toque tem como função determinar se o robô consegue segurar o objeto com sua garra, e evitar problemas como o bloco cair ao ser deslocado ou comprimir o bloco com demasiada força levando a danos à mão ou a peça.

A chamada função visão aqui recebe esse nome por analogia ao sentido da visão humana. Não se estipula que tal procedimento de captação seja necessariamente realizado por tratamento de imagens geradas por câmeras ou qualquer método análogo, mas que as três funções acima detalhadas, discriminação, identificação e apreensão, sejam realizadas de modo a gerar informações que possam ser traduzidas em categorias linguísticas que permitam a comunicação entre robô e parceiro. Portanto, desde que, por qualquer método estabelecido, o robô consiga identificar os objetos que compõe o mundo em qualquer disposição que se encontre, aquilo que é chamado função visão cumpre seu papel.

No nível de detalhamento atual, é possível conhecer os sistemas mínimos necessários para compor o robô de forma que a sua tarefa acima especificada seja realizada. Porém, não é possível ver como esses sistemas podem operar em conjunto. Por exemplo: o sensor da visão envia dados tanto para o módulo linguístico, quanto para o controlador do braço. Mas, os dados enviados a um e a

outro diferem drasticamente. Ao controlador de braço é preciso que o sensor da visão envie, em última análise, as coordenadas espaciais do ponto de destino para que ele chegue até lá e execute o comando recebido do parceiro. Para o módulo linguístico, por sua vez, ele precisa enviar os dados referentes à identidade, qualidade, relações e diversas outras informações retiradas do ambiente, pois com essas informações o robô poderá analisar as sentenças em língua natural e o sentido dos termos empregados e das proposições nela expressa.

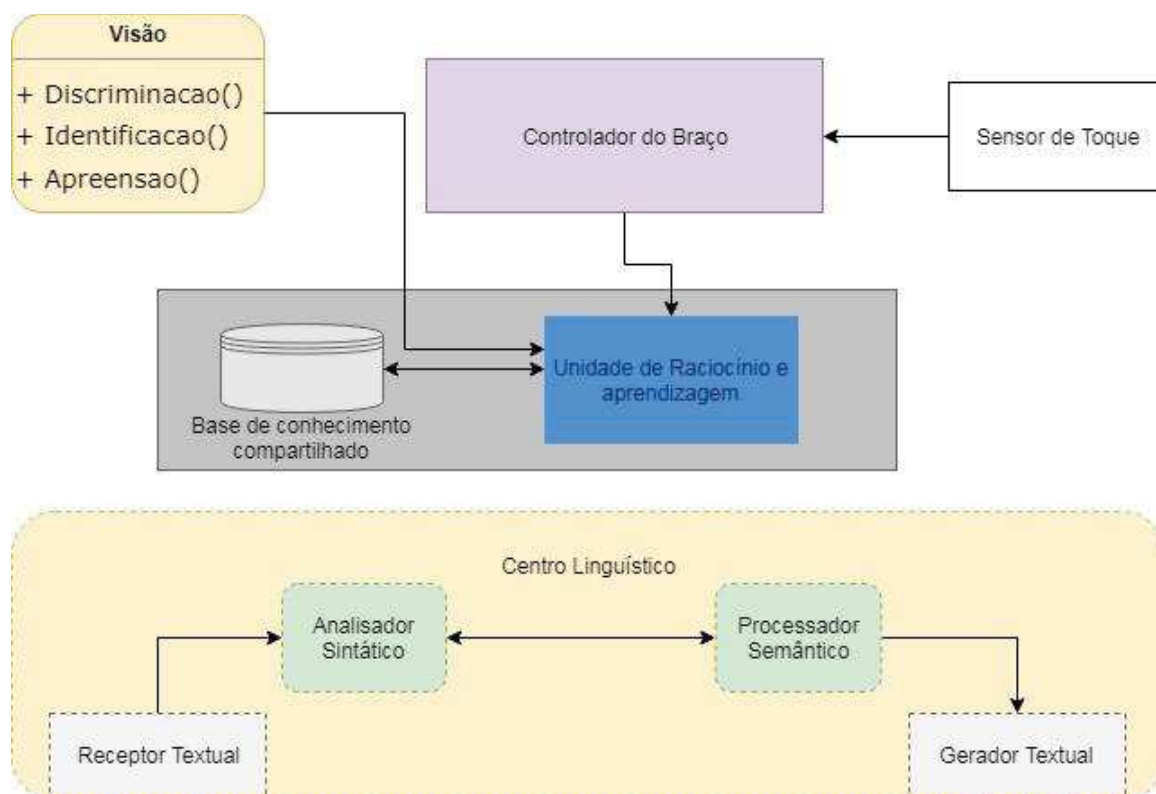
Além disso, não somente a função visão irá ser fonte de informação. As mensagens do parceiro podem também conter informações novas que agreguem algo ao conhecimento do robô, ou ainda corrija alguma informação que ele possa ter gerado errado. Portanto, as informações de fontes diversas podem ser combinadas para formar um novo conhecimento ou aperfeiçoar um conhecimento anterior.

Devido a essa demanda, faz-se necessária a formação de uma base comum de conhecimento para o robô de forma que ele possa tratar a informação recebida pelas fontes externas, ou geradas internamente por algum mecanismo de raciocínio, e armazenada de forma que todos os módulos possam recolher a informação desejada ou alterar alguma informação que esteja incorreta ou imprecisa.

Essa base de conhecimento comum não pode ser confundida com um “modelo de mundo” ou como representação mental dos estados do mundo. Ela deve ser entendida como o repositório resultante do aprendizado do robô formulado para que o conhecimento adquirido permaneça. Além disso, como dito anteriormente, serve de padrão geral para os módulos buscarem os dados necessários para executar suas tarefas.

Além disso, há também a necessidade de um modo de traduzir os comandos em língua natural para sequências de instruções para o módulo controlador do braço mecânico realizar a tarefa de mover e pegar objetos. Se o usuário der a seguinte instrução: *pick-up a red pyramid*, essa sentença precisa ser convertida em uma série de ações discretas, definidas em termos de comandos próprios do braço mecânico como *mova_braço(x,y,z)*, *abra_garra()*; *fecha_garra()*;

Figura 14 – Organização interna do *robotplc*



Fonte: O Autor

A organização exposta na figura 14 traz delineados alguns recursos já descritos, bem como se realiza a operação conjunta entre as partes. No módulo visão, foram informadas as funções anteriormente destacadas que, conforme as análises do capítulo 4, demonstram ser essenciais para escapar do problema da representação *a priori* dos estados do mundo.

O superbloco *centro linguístico* da figura 13 foi desmembrado em seus constituintes que apresentam a estrutura básica semelhante ao projeto inicial do SHRDLU. Um módulo receptor dos textos envia os dados – ou seja o texto – vindo do parceiro para o analisador sintático que inicia o processo de *parsing*. No decorrer do processo, o analisador sintático recorre ao processador semântico para solucionar problemas de ambiguidade com fins de demarcar as propriedades sintáticas e semânticas das palavras e extrair delas as informações desejadas. O processador semântico envia então as informações extraídas para a base de conhecimento comum, caso seja necessário armazenar uma informação nova.

Atualmente, existem vários *frameworks* e ferramentas que realizam as tarefas de *parsing* e extração de informação de sentenças disponibilizadas sob licença de

uso público. Um exemplo, é o CoreNLP, ferramenta desenvolvida e publicada pela universidade de Stanford, que é capaz de realizar diversas operações envolvendo o PLN como reconhecimento dos grupos gramaticais, extração de entidades nomeadas, relacionamento de termos dependentes entre outros. A figura 15 mostra um exemplo da ferramenta de teste disponibilizada online recebendo como entrada os dois primeiros parágrafos do livro *Harry Potter and the Sorcerer's Stone*. Como amostra, são apresentadas as marcações dos grupos gramaticais e o reconhecimento de entidade nomeada realizado pela ferramenta.

Figura 15: CoreNLP: demarcação dos grupos gramaticais.

Part-of-Speech:	
1	Mr. and Mrs. Dursley, of number four, Privet Drive, were proud to say that they were perfectly normal, thank you very much.
2	They were the last people you'd expect to be involved in anything strange or mysterious, because they just did n't hold with such nonsense.
3	Mr. Dursley was the director of a firm called Grunnings, which made drills.
4	He was a big, beefy man with hardly any neck, although he did have a very large mustache.
5	Mrs. Dursley was thin and blonde and had nearly twice the usual amount of neck, which came in very useful as she spent so much of her time craning over garden fences, spying on the neighbors.
6	The Dursleys had a small son called Dudley and in their opinion there was no finer boy anywhere.

Fonte: STANFORD, 2018

Figura 16: CoreNLP: reconhecimento de entidades nomeadas

Named Entity Recognition:

1	Mr. and Mrs. Dursley, of number four, Privet Drive, were proud to say that they were perfectly normal, thank you very much.	Person	Num	Location
2	They were the last people you'd expect to be involved in anything strange or mysterious, because they just didn't hold with such nonsense.			
3	Mr. Dursley was the director of a firm called Grunnings, which made drills.	Person		
4	He was a big, beefy man with hardly any neck, although he did have a very large mustache.			
5	Mrs. Dursley was thin and blonde and had nearly twice the usual amount of neck, which came in very useful as she spent so much of her time craning over garden fences, spying on the neighbors.	Person		
6	The Dursleys had a small son called Dudley and in their opinion there was no finer boy anywhere.	Org	Person	

Fonte: STANFORD, 2018

Tais ferramentas podem ser aplicadas na construção do módulo linguístico do robô, uma vez que, acompanhando o desenvolvimento nas pesquisas em IA e PLN, já fornecem um recurso acessível para solucionar a parte técnica do *parsing* sintático.

Na figura 14, foi acrescentado um novo módulo não presente nos modelos anteriores. Esse módulo é composto da Base de Conhecimento Comum e um submódulo denominado genericamente *Unidade de Raciocínio e Aprendizagem*. Esse grande módulo tem o papel unificador dos demais, tornando a troca de informações entre eles possível, além de realizar o aprendizado do robô e ser capaz de inferir uma informação nova a partir do conjunto de informações extraído do ambiente.

Por exemplo, supondo que seja feita a seguinte pergunta ao robô – Por que você consegue colocar um bloco dentro da caixa? – numa inteligência equivalente a humana ele deveria responder algo como – *porque é oca, porque tem espaço nela* – ou qualquer resposta semelhante. O ponto que se procura ressaltar aqui não é que a arquitetura seja capaz de replicar esse comportamento ou sequer que tal objetivo esteja entre os da construção do robô, mas atentar para essa capacidade da inteligência humana de extrair informações de diversas fontes e operá-las a fim de produzir ideias novas, conhecimento novo.

No exemplo em questão, ao perceber visualmente – no sentido de, por meio da função visão – que a caixa possui características peculiares em sua extensão espacial, que a partir do contorno dos seus limites em direção ao centro de uma de suas faces há um espaço vazio, e que esse espaço pode ser preenchido por outros

objetos e ser capaz de inferir que existe uma relação entre esse atributo da caixa (ser oca) e a função de acomodar objetos, e que existe um nexó causal entre ambas informações, esse é o ponto que pretendo explicitar por esse papel do módulo de raciocínio e aprendizagem a síntese de um novo conhecimento por meio da unificação de informações desassociadas.

5 CONCLUSÃO

Exposta a modelagem, seguem algumas considerações a partir da mesma, e a conclusão do presente trabalho com a proposta de continuidade da pesquisa.

5.1 Considerações acerca da modelagem proposta

A modelagem proposta nesse trabalho buscou especificar os componentes essenciais do *robot/plc* necessários para atender a sua especificidade como robô de manipulação de blocos interativo por conversação. Assim a análise nos levou a elencar os principais sistemas componentes:

- a) Sistema de visão;
- b) Sistema de Controle do Braço acoplado ao sensor de toque;
- c) Sistema Linguístico constituído por um receptor textual, um analisador sintático, um processador semântico além do gerador textual;
- d) Sistema unificador (composto da Base de Conhecimentos Comum e da Unidade de Raciocínio e Aprendizagem).

Com essa composição básica proposta, busca-se resolver um fator limitante que tem impacto direto na atuação do robô como agente compreensivo da língua natural. Tal fator é a falta de uma interface real entre a consciência do robô e o ambiente externo.

Com os modelos gráficos representados no capítulo 4, desenvolvidos a partir do exposto no capítulo 3, formulou-se uma adaptação na ideia inicial do SHRDLU para adequar a abordagem proposta. Tal abordagem leva em consideração as características apresentadas a seguir.

Em primeiro lugar, o deslocamento do *mundo de blocos* do horizonte gnosiológico para o teleológico. Isso quer dizer que o *mundo de blocos* não assume mais o papel de ser o modelo de mundo a ser replicado na mente do robô e a partir do qual ele irá conceber um determinado número de estados possíveis. Sua função agora é dar condições de existência ao robô enquanto agente. É no mundo de blocos que o robô percebe, movimenta, interage e aprende, ou seja, realiza a si mesmo como ente.

Desse modo, o mundo de blocos se torna um ponto de partida para interação, mas não seu esgotamento. A implicação de tal fato é que o sistema não precisa estar estancado apenas nas simulações de um *mundo de blocos*; adaptando os componentes do robô para que ele consiga interagir em um novo contexto de situação, ele deve ser capaz de igualmente apreender os objetos desse novo mundo e atuar sobre ele, aprender sobre novos objetos e dialogar sobre o tema em questão.

Em segundo lugar, a extrapolação de conceitos como inteligência, conhecimento e entendimento a interpretação reducionista da tradição racionalista. Como apresentado, embora estritamente falando o ato intelectual seja redutível ao juízo e ao raciocínio, há uma diversidade de atividades humanas realizáveis por conta de nossa inteligência. E nem toda atividade passa pela via da consciência e pelo raciocínio dedutivo ou probabilístico.

Essa consideração fora levantada por Dreyfus (1957) nos primeiros anos da IA e provocou a formulação de novos paradigmas de IA, paradigmas que ele chama de IA heideggeriana (dada a influência da filosofia de Martin Heidegger nas críticas as abordagens dita tradicionais). Com isso a própria ciência da IA passou por uma revolução e evolução e tem tomado diversos rumos em aplicações.

Em proporções muito menores, a crítica aqui exposta nos levou a reconsiderar e a mudar as abordagens e perspectivas quanto ao *robot/plc*, de modo que a modelagem aqui proposta surge como resultado dessa mudança de perspectiva.

Nessa nova perspectiva apresentada, a modelagem aqui tem como objetivo ser porta de abertura para que novos trabalhos sejam realizados, não buscando esgotar o problema da ambiguidade semântica, mas possibilitar a análise do problema sob outra perspectiva e assim colaborar com o progresso no conhecimento científico.

5.2 Propostas de pesquisas futuras

Considerando a extensão dos problemas que cada um dos submódulos da arquitetura proposta carrega consigo, este trabalho apresenta como proposta de pesquisa futura os trabalhos a seguir tendo em vista a implementação do *robot/plc*:

5.2.1 Pesquisas com o modelo virtual

Para atender as necessidades de implementação do *robot/plc* é preciso que ele seja codificado e estudado na prática. Essa implementação demandará diversas pesquisas menores como a determinação e implementação do sistema de visão, de modo a atender as funções elencadas, o sistema de aprendizagem para receber novos conceitos e perceber mudanças relevantes no mundo de blocos entre outros.

O problema da visão do robô requer um trabalho sobre visão computacional, para conceder ao sistema informações sobre características físicas do ambiente, como reconhecimento de padrões para o processo de discriminação de objetos, reconhecimento das formas, ou seja, tratamento de imagens, análise de posicionamento espacial, dentre outros.

Uma segunda frente de pesquisa a ser desenvolvida é o sistema unificador. Sua estrutura demanda uma base de conhecimentos comum, que contém as informações extraídas tanto do ambiente pelo sistema de visão, quanto os dados aprendidos via linguagem. É preciso determinar uma forma conveniente de armazenar tais informações bem como torná-las traduzíveis para os outros módulos. Isso significa, por exemplo, como a partir dessas informações o centro linguístico pode tanto realizar a análise e interpretação semântica dos termos linguísticos, quanto usar tais informações para construir sentenças. Ou ainda sobre como essas informações podem gerar comandos de manipulação do braço para movimentar objetos.

Como dito anteriormente, essa base será alimentada com conteúdos de aprendizagem do robô, que extrairá informações tanto do sistema de visão quanto do centro linguístico. A Unidade de Raciocínio e Aprendizagem precisa lidar com essa fonte múltipla de informação, sendo uma delas altamente imprecisa, no caso a linguagem natural, e conseguir construir sua própria base de informações para análise dos objetos e de sua performance (sucesso ou falha no cumprimento de uma requisição do parceiro).

Por fim, a unidade denominada Centro Linguístico precisa ser implementada e desenvolvida em função do trabalho com as demais. Embora, conforme mostrado, existam *frameworks* disponíveis para trabalhos com PLN, tais frameworks precisam ser implementados numa aplicação que lhes dê a finalidade desejada, no nosso caso, um sistema – sub módulo ao sistema completo do *robot/plc* – que seja capaz

de interpretar sentenças e gerar dados para os demais módulos do robô, e com os dados gerados por todo o sistema, construir sentenças que atendam as demandas do humano parceiro.

5.2.2 Pesquisas com o robô físico

Quanto ao robô físico, é necessário avaliar os recursos disponíveis na plataforma para receber o modelo proposto e verificar quais as formas de verter as novas demandas em recursos físicos.

Um exemplo é a função visão e aplicação de tecnologias atuais acessíveis ao público, como o caso do Kinect, sistema de captura de movimentos criado pela Microsoft para utilizar com seu sistema de vídeo games, ou mesmo o uso de simples *web cams* para realizar a captura de imagens e processar as mesmas para reconhecer os padrões de imagens, distinção dos objetos, sua identificação, ou seja, a associação com algum “conceito” aprendido pelo robô, como cubo, ou pirâmide e extração de propriedades que sejam relevantes para a atividade do robô em manipular os blocos.

Outro ponto é a validação dos recursos computacionais disponíveis para a plataforma física para suportar o sistema em si, além do sistema de armazenamento e manipulação da base de conhecimento comum. A estrutura física possui recursos computacionais suficientes para abarcar todos os requisitos ou será necessário o uso de computadores de suporte? Como será a comunicação entre a plataforma física e o(s) computador(es) suporte?

Com a finalização deste trabalho, espera-se contribuir para uma nova etapa de ações dentro o LPLC buscando ampliar o leque de pesquisas e abordagens para um dos principais objetos de estudo do grupo. O modelo aqui proposto, longe de pretender ser uma solução definitiva, busca apontar uma nova abordagem para o caso do SHRDLU. Buscamos recriar o experimento por perceber, em sua aparente simplicidade, a possibilidade de investigar mais profundamente o problema da significação linguística.

6 REFERENCIAS

AQUINO, Tomás de. **Suma Teológica**. 2. ed. São Paulo: Loyola, 2005. v.2.

CHOMSKY, N. **Syntactic Structures**. The Hague Mouton, 1957.

DREYFUS, Hubert L. **WHAT COMPUTERS CAN'T DO: A Critique of Artificial Reason**. New York: Harper & Row, 1972. 259 p.

DREYFUS, Hubert L. Why Heideggerian AI failed and how fixing it would require making it more Heideggerian. **Artificial Intelligence**. Berkeley, v. 171, n. 18, p. 1137-1160, dez. 2007.

HALLIDAY, M.A.K. Part A. In.: HALLIDAY, M.A.K.; HASAN, R. **Language, context and text: aspects of language in social semiotic perspective**. Oxford: Oxford University Press, 1989, pp. 3-49.

HALLIDAY, M. A. K; MATTHIESSEN, Christian M. I. M. **An Introduction to Functional Grammar**. Third Edition. London: Hodder Headline, 2004. 689 p.

HESSEN, Johannes. **Teoria do Conhecimento**. Tradução de João Vergílio Gallerani Cuter. São Paulo: Martins Fontes, 1999. 177 p. (Ensino Superior).

JESUS, Cassia Mara Amorim. **PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL: O CASO DO SHRDLU**. 2016. 104f. Dissertação (Mestrado em Estudos de Linguagens). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Estudos de Linguagens, Belo Horizonte.

JOHNSON, D. **Approaches to research in second language learning**. New York: Longman, 1992.

KENEDY, Eduardo. **Curso básico de linguística gerativa**. São Paulo: Editora Contexto, 2013. 299 p.

LIMA VAZ, Henrique Cláudio de. **Antropologia Filosófica**. 9 ed. São Paulo: Loyola, 2009. vol. I. 274 p.

LYONS, John. **As ideias de Chomsky**. São Paulo: Editora Cultrix, 1970. 121 p.

MARQUES, Juliana de Cássia Braga. **Processamento de Linguagem Natural pelo robô SHRDLU de Terry Winograd**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Educação Tecnológica, Belo Horizonte.

MONDIN, João Batista. **O homem, quem é ele?**. São Paulo: Edições Paulinas, 1983. 319 p.

NEVES, Maria Helena de Moura. **A Gramática Funcional**. São Paulo: Martins Fontes, 1997. 160 p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: < <http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2015.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial – uma abordagem moderna**. 2. ed. Englewood Cliffs, Nova Jersey, USA: Prentice Hall, 2004.

SEARLE, Jhon R. Minds, Brains and Programs In: **Behavioral and Brain Sciences**. Cambridge Press, vol. 3, n.3, p. 417 – 457, set. 1980.

SHE, L. et al. Back to the Blocks World: Learning New Actions through Situated Human-Robot Dialogue. In: **SIGDIAL**, 2014. Philadelphia. Proceedings of the 15th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue. Stroudsburg: Association for Computational Linguistics (ACL), 2014. p. 89-97.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. Traduzido por Kalinda Oliveira e Ivan Bosnic. 9 ed. São Paulo: Pearson, 2011. 529 p.

SOUZA, Carla Carvalho de. **Adequações no *robot/plc* para possibilitar replicar, em protótipo físico, os testes em PLN feitos no robô virtual SHRDLU1972**. 2014. 199f. Dissertação (Mestrado em Estudos de Linguagens). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Estudos de Linguagens, Belo Horizonte.

TURING, A.M. Computing Machinery and Intelligence. **Mind**, Oxford, vol LIX. N. 236, p. 433-460, out. 1950.

YIN, R. **Case study research**. Beverly Hills, California: Sage Publications, 1984.

YURET, Deniz. **Winograd SHRDLU**. Youtube, 13 de setembro de 2013. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=QAJz4YKUwqw> >. Acesso em: 18 abr. 2017.

WINOGRAD, Terry. **Procedures as a representation for data in a computer program for understanding natural language**. 1971. 462 f. Tese (Doutorado). Massachusetts Institute of Technology.

APÊNDICE A

Histórico das pesquisas sobre PLN no INFORTEC / LPLC.

PESQUISAS EM PLN COM O <i>robotplc</i> no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG			
#	Pesquisadores	Referências completas das pesquisas	Período da pesquisa
33		Luan Alison Cardoso de Carvalho. Modelagem de arquitetura de software de um robô manipulador de blocos interativo por conversação. 2018. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Estudos de Linguagens) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2015 a 2018
32		Bárbara Gomes Ribeiro, Caio Henrique Lucas, Gustavo Santos de Carvalho. Desenvolvimento de um mundo de blocos para ações robóticas do robotplc. 2017. Iniciação Científica - BIC-jr. (EPTNM) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CNPq / 2º lugar MNR-2016. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador: Aniran Gonçalves	2016 a 2017
31		Bruno Petrocchi Sena Azevedo e Caio Henrique Lucas. Sensoriamento funcional do 'mundo de blocos' aplicado ao robotplc. 2016. Iniciação Científica - BIC-jr. (Curso Técnico em Eletrônica e em Mecatrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador Aniran Gonçalves	2015 a 2016
30		Bárbara Gomes Ribeiro, Caio Henrique Lucas, Gustavo Santos de Carvalho. Ações robóticas baseadas em pln incidentes sobre o micromundo do robotplc. 2016. Iniciação Científica - BIC-jr. (EPTNM) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CNPq / 1º lugar MNR-2015. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador: Luan Alisson Cardoso de Carvalho.	2015 a 2016
29		Cássia Mara Amorim Jesus. Processamento de Linguagem Natural: o caso SHRDLU. Ano de Obtenção: 2016. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Estudos de Linguagens) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Heitor Garcia de Carvalho. Co-orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2013 a 2016
28		Thales Fiaux. Estudos para simulação virtual de um robô para PLN. 2015. Iniciação Científica - BIC-jr. (Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador: Luan Alisson Cardoso de Carvalho.	2014 a 2015
27		Ulisses de Sá Alves e Thiaqo Cabral. Algoritmos computacionais para PLN pelo robotplc. 2015. Iniciação Científica - BIC-jr. (Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador: Luan Alisson Cardoso de Carvalho.	2014 a 2015
26		Gustavo Santos de Carvalho e Bárbara Gomes Ribeiro. Automação e controle do acionamento do eletroímã do robotplc. 2016. Iniciação Científica - BIC-jr. (Curso Técnico em Eletroeletrônica e em Mecatrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientador	2015 a 2016

PESQUISAS EM PLN COM O <i>robotplc</i> no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG			
#	Pesquisadores	Referências completas das pesquisas	Período da pesquisa
25		Jonathan da Silva Tavares e Luis Gabriel Assis Silva. Design do micromundo do robotplc para Leitura robótica. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras.	2014 a 2015
24		Glizia Mayra Cordeiro Garcia e Izabela Pardim Lulli. Planejamento e execução do micromundo do robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras.	2014 a 2015
23		Bruno Petrocchi Sena Azevedo. ARDUINO e tags RFID para leitura robótica pelo robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza	2014 a 2015
22		Gustavo Santos de Carvalho. Réplica da arquitetura de hardware do protótipo do robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Eletroeletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza.	2014 a 2015
21		Jonathan da Silva Tavares. Leitura robótica de imagens .BMP pelo robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Informática) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras.	2014 a 2015
20		Thales Flaux. Recursos da linguagem LOGO para PLN pelo robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Informática) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras. Co-orientadora: Cássia Mara Amorim Jesus	2014 a 2015
19		Tyago Venâncio Mendes Souza. Estudos preliminares de transcodificação(1.0) LISP - LOGO para PLN pelo robotplc. 2015. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Informática) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aquimar Parreiras. Co-orientadora: Cássia Amorim Jesus	2014 a 2015

PESQUISAS EM PLN COM O <i>robotplc</i> no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG			
#	Pesquisadores	Referências completas das pesquisas	Período da pesquisa
18		Carla Carvalho de Souza. Adequações no <i>robotplc</i> para possibilitar replicar em protótipo físico os testes de PLN feitos no robô virtual SHRDLU1972. 2014. Dissertação (Mestrado em Estudos de Linguagens) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, . Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2012 a 2014
17		Bruno Petrocchi de Sena Azevedo. Reconstrução de um mundo de blocos adequado ao eletroímã do <i>robotplc</i>. 2014. Iniciação Científica – BIC-jr. (Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza	2013 a 2014
16		Gustavo Santos de Carvalho. Validação do eletroímã desenvolvido para o <i>robotplc</i>. 2014. Iniciação Científica – BIC-jr. (Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza	2013 a 2014
15		Flávio Henrique Carvalho Cardoso. Descrição e análise das funcionalidades eletroeletrônicas do eletroímã do <i>robotplc</i>. 2013. Iniciação Científica – BIC-jr. (Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza	2012 a 2013
14		Rafaela da Silva Castorino. Validação do software de PLN "SHRDLU/72" no <i>robotplc</i>. 2014. Iniciação Científica - BCE. (Curso Técnico em Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras. Co-orientadora: Carla Carvalho de Souza	2013 a 2014
13		Douglas Ferreira Senra. Aperfeiçoamento dos recursos de hardware do robô tipo ponte do LPLC. 2012. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia de Materiais) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2011 a 2012
12		Flávio Henrique Carvalho Cardoso. Descrição e análise das funcionalidades das peças do protótipo do robô do LPLC. 2012. Iniciação Científica – BIC-jr. (Curso Técnico em Eletrônica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2011 a 2012

PESQUISAS EM PLN COM O <i>robotplc</i> no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG			
#	Pesquisadores	Referências completas das pesquisas	Período da pesquisa
11		Vitor Vidal de Negreiros. Desenvolvimento de software para PLN em C++ para o robotplc. 2012. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia da Computação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2011 a 2012
10		Talles Rafael Soares Dantas. Análise contrastiva(ii) de softwares em LISP e JAVA para PLN por robô. 2011. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia da Computação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2010 a 2011
09		Vitor Vidal de Negreiros. Revalidação de recursos de software para PLN por robô tipo ponte. 2011. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia da Computação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2010 a 2011
08		Douglas Ferreira Senra. Aperfeiçoamento dos recursos de hardware do robotplc. 2011. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia de Materiais) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2010 a 2011
07		Juliana de Cássia Braga MARQUES. Processamento de linguagem natural pelo robô SHRDLU de Terry Winograd. 2009. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Heitor Garcia de Carvalho.	2007 a 2009
06		Talles Rafael Soares DANTAS e Ramon MORENO – A dinamicidade dos hipertextos utilizados no material instrucional do LPLC/CEFET-MG & Desenvolvimento de lógica computacional para operação de braço robótico tipo ponte. 2008. Iniciação Científica (BIC-jr) (Curso Técnico em Informática) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras)	2007 a 2008
05		Marco André Loureiro Mendes Silva. Desenvolvimento e validação de recursos de software para PLN por robô tipo ponte. 2008. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia Mecânica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2007 a 2008
04		Marco André Loureiro Mendes Silva. Seleção de recursos de processamento de linguagem natural para comando de robô tipo ponte rolante através de interface a webcam sob a perspectiva da Engenharia da Linguagem. 2007. Iniciação Científica – PIBIC. (Engenharia Mecânica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2006 a 2007

PESQUISAS EM PLN COM O <i>robotplc</i> no LPLC / INFORTEC / CEFET-MG			
#	Pesquisadores	Referências completas das pesquisas	Período da pesquisa
03		Pamela Grazielle Lopes. Seleção de recursos de processamento de linguagem natural para comando de robô tipo ponte rolante através de interface a webcam sob a perspectiva da Engenharia da Linguagem. 2007. Iniciação Científica - PIBIC. (Engenharia Mecânica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2006 a 2007
02		Heyder Magnus. Monitoria de pesquisa no LPLC/CEFET-MG sobre processamento de linguagem natural por robô. 2006. Iniciação Científica - BCE. (Informática Industrial - Ensino Profissional) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Vicente Aguiar Parreiras.	2005 a 2006
01		José Otávio Alves Ferreira BASTOS. Inserção do software livre no curso de informática industrial – CET - Itabirito, através da disciplina de análise de sistemas. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Orientador: Heitor Garcia de Carvalho.	2004 a 2006
ii.		Réplica dos testes de PLN de Winograd (1972) em robô virtual com interface em JAVA por um grupo de pesquisadores da University of Missouri Rolla (UMR). 1990.	1990
i.		Processamento de Linguagem Natural pelo Robô virtual SHRDLU no Massachusetts Institute of Technology – MIT. WINOGRAD, Terry. Understanding Natural Language. Boston: Academic Press, 1972.	1972