

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

FELIPE MARTINO ESPOSITO RODRIGUES

**COMUNICAÇÃO DE EXPRESSÕES ESPACIAIS EM SISTEMAS MULTI-AGENTES
UTILIZANDO A EGO-ESFERA QUALITATIVA**

São Bernardo do Campo

2015

FELIPE MARTINO ESPOSITO RODRIGUES

**COMUNICAÇÃO DE EXPRESSÕES ESPACIAIS EM SISTEMAS MULTI-AGENTES
UTILIZANDO A EGO-ESFERA QUALITATIVA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica no curso de Inteligência Artificial Aplicada à Automação, orientado pelo Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos.

São Bernardo do Campo

2015

Martino Esposito Rodrigues, Felipe.

Comunicação de expressões espaciais em sistemas multi-agentes utilizando a Ego-Esfera Qualitativa / Felipe Martino Esposito Rodrigues. São Bernardo do Campo, 2015.

121 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos.

1. Ego-Esfera Qualitativa. 2. Raciocínio Espacial Qualitativo. 3. Expressões Espaciais. 4. Sistemas Multi-Agente. 5. Comunicação Humano-Robô. I. Santos, Paulo Eduardo, orient. II. Título.



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica

Mestrado

PGE-10

Aluno: Felipe Martino Esposito Rodrigues

Matrícula: 113112-7

Título do Trabalho: Comunicação de expressões espaciais em sistemas multi-agentes utilizando a esfera qualitativa.

Área de Concentração: Inteligência Artificial Aplicada à Automação

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos

Data da realização da defesa: 24/11/2015

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

São Bernardo do Campo, / / .

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos

Ass.: _____

Prof. Dr. Plínio Thomaz Aquino Junior

Ass.: _____

Prof. Dr. Marcos Fernando Lopes

Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

**APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE
FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA
EXAMINADORA**

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Dedico este trabalho a minha namorada Raquel,
a minha mãe Vera, aos meus avós Aurea e Gia-
como e ao meu pai Sidney.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos pela paciência, generosidade, dedicação e orientação na elaboração de artigos, experimentos e desta dissertação.

A todos os meus familiares, em especial minha namorada Raquel, minha mãe Vera, aos meus avós Aurea e Giacomo e ao meu pai Sidney que me apoiaram neste momento.

A todos os meus colegas e amigos que sempre me incentivaram e torceram pelo meu sucesso.

E ao programa PROSUP/CAPES pelo suporte financeiro.

“To improve is to change; to be perfect is to
change often ”

Winston Churchill

RESUMO

A necessidade de representações espaciais e raciocínio espacial é onipresente em Inteligência Artificial (IA). Investigação em raciocínio espacial qualitativo (REQ) (sub-área da IA) tem como desafio criar formalismos que permitam uma máquina representar e raciocinar sobre entidades espaciais. Atualmente é desejável criar um sistema robótico capaz de substituir voluntários humanos em situações de busca e resgate, principalmente quando há algum risco à vida humana. Nesses casos, é importante que o sistema artificial seja capaz de se comunicar com os agentes humanos da forma mais natural possível. Desse modo este trabalho desenvolve uma forma de realizar comunicação através de expressões espaciais em ambientes homogêneos (somente com robôs) e ambientes heterogêneos (com humanos e robôs). A fim de atingir este objetivo, o presente trabalho utiliza os conceitos da Ego-Esfera Qualitativa como base para possibilitar a comunicação por meio de expressões espaciais. A Ego-Esfera Qualitativa possibilita discretizar qualitativamente o espaço ao redor de um agente. Foram estabelecidas as definições para as regiões ao redor da Ego-Esfera Qualitativa de modo a dividir o equador da esfera em oito regiões angulares (ou setores), longitudinalmente em três distâncias e verticalmente em quatro alturas. Com essas definições foi possível a um agente robótico classificar a localização de objetos em relação a outro agente ou em relação a si próprio. Assim foram estudados quatro casos representando possíveis situações de comunicação entre agentes em um ambiente. Neste trabalho inicialmente vários objetos foram dispostos em um ambiente e a localização dos objetos foi obtida manualmente e inserida no sistema de modo a criar o padrão ouro, livre de ruído. Em seguida a localização dos objetos foi obtida utilizando o sistema de visão que implementa a Ego-Esfera Qualitativa. Por fim foram realizados testes com humanos, a fim de determinar como as pessoas localizam objetos dispostos no ambiente. Os valores do padrão ouro, os valores obtidos pelo sistema de visão e os valores obtidos pelas respostas dos humanos foram comparados. Foi possível assim avaliar se a classificação qualitativa obtida por um agente robótico (com base na Ego-Esfera Qualitativa) é compatível com aquela executada pelo agente humano. Os experimentos demonstraram a existência de ambiguidade na conceitualização humana do espaço, fazendo-se necessário adaptar as definições da Ego-Esfera Qualitativa. Observou-se também que as definições de altitude e longitude da Ego-Esfera Qualitativa são vagas, dado a necessidade de informar ao humano uma referência ou critério para classificar um objeto em uma das distâncias da Ego-Esfera Qualitativa. Em relação aos setores da esfera, observou-se que as respostas humanas estão próximas quanto as definições da Ego-Esfera Qualitativa.

Palavras-chave: Ego-Esfera Qualitativa, Raciocínio Espacial Qualitativo, Expressões Espaciais, Sistemas Multi-Agente, Comunicação Humano-Robô, Comunicação Robô-Robô

ABSTRACT

The need for spatial representations and spatial reasoning is omnipresent in Artificial Intelligence. The task of the qualitative spatial reasoning (QSR) subfield of AI is to provide formalisms that allow a machine to represent and reason about spatial entities. Currently it is desirable to create a computational system that allows the replacement of human professionals in search and rescue situations, especially when there is some risk to the professional. To this end, it is important that humans and machines are able to communicate using common concepts. This work develops a way to perform communication through spatial expressions in homogeneous environment (only with robots) and heterogeneous environments (with humans and robots). In order to perform this communication, the present work uses the concept of Qualitative Ego-Sphere as the basis for enabling the communication of spatial expressions. The Qualitative Ego-Sphere is a discretization of the space around an agent. Definitions have been established for the regions around the Qualitative Ego-Sphere so as to divide the sphere's equator into eight regions (or sectors), along three distances from the observer. Vertically the sphere is divided into four heights. With these definitions of space it was possible for a robotic agent to classify the location of objects in relation to another agent or itself. In the present dissertation four cases were investigated, representing potential situations of communication between agents in an environment. The situations involved the placement of various objects in an environment; the object's locations were initially obtained manually to create the Gold Standard in order to evaluate the system developed. Then the location of each object was achieved by using a vision system implemented with a version of the Qualitative Ego-Sphere. Finally, human trials were performed by asking the position of objects arranged on the environment. The values of the Gold Standard, the values obtained by the vision system and the values obtained by the responses of human were compared. It was thus possible to evaluate the extent of which the qualitative classification of a robotic agent (based on Qualitative Ego-Sphere) agrees with that of a human agent. The experiments demonstrated the existence of ambiguity in the human conceptualization of space making it necessary to adapt the Qualitative Ego-Sphere settings. It was also observed vagueness in the altitude and longitude Qualitative Ego-Sphere definitions, given the necessity to inform to the human some reference or criteria to classify an object in one of the distances, accordingly to the definitions of Qualitative Ego-Sphere. Regarding the sectors, we observed that the human answers are close to the definitions from Qualitative Ego-Sphere.

Keywords: Qualitative Ego-Sphere, Qualitative Spatial Reasoning, Spatial Expressions, Multi-Agent Systems, Human-Robot Communication, Communication Robot-robot.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Diagrama conceitual de vizinhança para duas regiões de acordo com as relações do CCR-8.	27
Ilustração 2 – Representação gráfica da relação de interposição entre dois objetos utilizando o cálculo de oclusão de regiões	29
Ilustração 3 – Relações básicas do cálculo de direção cardinal (CDC).	30
Ilustração 4 – Setores e quadrantes correspondentes a um único ponto orientado.	30
Ilustração 5 – Relação espacial qualitativa entre dois pontos em diferentes posições.	31
Ilustração 6 – Sistema de referência relativa dividido em direita e esquerda	33
Ilustração 7 – Sistema de referência	33
Ilustração 8 – Modelo de um sistema relativo de referências em que o CCPT foi desenvolvido.	34
Ilustração 9 – Cálculo da cruz simples que apresenta a divisão do espaço em apenas 4 regiões	34
Ilustração 10 – Divisão do espaço ao redor de um agente conforme as definições do CCPT	35
Ilustração 11 – Divisão do espaço em relação a longitude e altura a partir da origem de uma Ego-Esfera Qualitativa	38
Ilustração 12 – Divisão do espaço ao redor da origem em 8 setores, através do $STAR_4$	39
Ilustração 13 – Ambiente com dois agentes e um objeto	44
Ilustração 14 – Ambiente com um agente e três objetos	47
Ilustração 15 – Agente Humano no ambiente experimental rotacionado 270° em relação ao sensor Kinect.	49
Ilustração 16 – Rotação de 270° entre os sistemas de coordenadas	50
Ilustração 17 – Agente Humano no ambiente experimental rotacionado 225° em relação ao sensor Kinect	51
Ilustração 18 – Rotação de 225° entre os sistemas de coordenadas	52
Ilustração 19 – Ângulos para cálculo da região do objeto.	56
Ilustração 20 – Classificação de um objeto a partir da informação enviada pelo Agente Humano	67
Ilustração 21 – Ambiente em escala	73
Ilustração 22 – Agente Robô 2 rotacionado 20°	74

Ilustração 23 –Agente Robô 2 rotacionado 60°	75
Ilustração 24 –Agente Robô 2 rotacionado 110°	77
Ilustração 25 –Agente Robô 2 rotacionado 150°	78
Ilustração 26 –Agente Robô 2 rotacionado 200°	80
Ilustração 27 –Agente Robô 2 rotacionado 240°	81
Ilustração 28 –Agente Robô 2 rotacionado 290°	83
Ilustração 29 –Agente Robô 2 rotacionado 330°	84
Ilustração 30 –Histograma para o <i>Bloco 1 - Amarelo</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano	88
Ilustração 31 –Histograma para o <i>Bloco 2 - Verde</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano	89
Ilustração 32 –Histograma para o <i>Bloco 3 - Vermelho</i> com o Agente Robô 1 à <i>Es-</i> <i>querda</i> do Agente Humano	90
Ilustração 33 –Histograma para o <i>Bloco 6 - Verde</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano.	90
Ilustração 34 –Histograma para o <i>Bloco 1 - Amarelo</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquer-</i> <i>daFrente</i> do Agente Humano	92
Ilustração 35 –Histograma para o <i>Bloco 2 - Verde</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda-</i> <i>Frente</i> do Agente Humano	93
Ilustração 36 –Histograma para o <i>Bloco 3 - Vermelho</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquer-</i> <i>daFrente</i> do Agente Humano	94
Ilustração 37 –Histograma para o <i>Bloco 6 - Verde</i> com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda-</i> <i>Frente</i> do Agente Humano	94
Ilustração 38 –Histograma para o <i>Bloco 1 - Amarelo</i> na perspectiva do Agente Robô 1.	96
Ilustração 39 –Histograma para o <i>Bloco 2 - Verde</i> na perspectiva do Agente Robô 1. .	97
Ilustração 40 –Histograma para o <i>Bloco 3 - Vermelho</i> na perspectiva do Agente Robô 1.	98
Ilustração 41 –Histograma para o <i>Bloco 6 - Verde</i> na perspectiva do Agente Robô 1. .	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificações possíveis entre dois objetos utilizando o cálculo de conexão de regiões (CCR)	26
Tabela 2 – Classificações entre dois objetos ou regiões que fazem parte do cálculo de conexão de regiões-8	27
Tabela 3 – Divisão do CCPT em regiões a partir do valor do ângulo	36
Tabela 4 – Definições de Altura. Compara o valor do eixo z com o raio para determinar em qual intervalo o agente se encontra	38
Tabela 5 – Definição matemática dos 8 setores, em que o ângulo ϕ determina o setor	39
Tabela 6 – Definição matemática das 24 regiões	39
Tabela 7 – Disposição dos blocos no sistema de coordenadas do Agente 1	48
Tabela 8 – Definição do intervalo angular dos 8 setores	55
Tabela 9 – Definição das distâncias na Ego-Esfera Qualitativa	55
Tabela 10 – Definição matemática implementada para as definições de altura na Ego-Esfera Qualitativa	55
Tabela 11 – Tabela com as variáveis utilizadas nos Algoritmos 1 e 2	60
Tabela 12 – Valor do ângulo no centro de cada um dos oito setores	62
Tabela 13 – Tabela com as variáveis utilizadas no Algoritmo 4	63
Tabela 14 – Tabela com os resultados do padrão ouro para o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente 2	68
Tabela 15 – Tabela com os resultados do padrão ouro para Agente Robô 1 à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente 2	69
Tabela 16 – Tabela com os resultados do padrão ouro para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1	69
Tabela 17 – Tabela com os resultados do sistema de visão com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente 2	70
Tabela 18 – Tabela com os resultados do sistema de visão com o Agente Robô 1 à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente 2	70
Tabela 19 – Tabela com os resultados do sistema de visão para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1	70
Tabela 20 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 20° entre os agentes	74

Tabela 21 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 60° entre os agentes	76
Tabela 22 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 110° entre os agentes	76
Tabela 23 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 150° entre os agentes	79
Tabela 24 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 200° entre os agentes	79
Tabela 25 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 240° entre os agentes	82
Tabela 26 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 290° entre os agentes	82
Tabela 27 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 330° entre os agentes	85
Tabela 28 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano	86
Tabela 29 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano	87
Tabela 30 – Tabela com a porcentagem de respostas dos voluntários exatamente iguais ao padrão ouro com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano (tabela 14)	87
Tabela 31 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente Humano	91
Tabela 32 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente Humano	91
Tabela 33 – Tabela com a porcentagem de respostas dos humanos exatamente iguais ao padrão ouro com o agente robótico à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente Humano (tabela 15)	91
Tabela 34 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1	95
Tabela 35 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1	95

Tabela 36 –Tabela com a porcentagem de respostas dos humanos exatamente iguais ao padrão ouro a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1 (tabela 16)	96
Tabela 37 –Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à <i>Esquerda</i> do Agente Humano	103
Tabela 38 –Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à <i>EsquerdaFrente</i> do Agente Humano	104
Tabela 39 –Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1	104

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1	Método para calcular a coordenada do objeto para o Agente 2 usando o sistema de coordenadas do Agente Robô 1.	60
Algoritmo 2	Função utilizada para calcular o valor do coeficiente angular (K) entre o objeto e o Agente 2.	61
Algoritmo 3	Função utilizada para calcular o valor do ângulo Θ que representa a rotação entre os sistemas de coordenadas do Agente Robô 1 e do Agente Humano.	62
Algoritmo 4	Função utilizada para calcular o valor do angulo (α) entre o objeto e o Agente 2.	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	TRABALHOS RELACIONADOS	18
3	CONCEITOS FUNDAMENTAIS	25
3.1	RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO	25
3.2	CÁLCULO DE CONFIGURAÇÕES DE PONTOS TERNÁRIOS (CCPT)	32
3.3	CÁLCULO DE CONFIGURAÇÕES DE PONTOS TERNÁRIOS PARA DOMÍNIOS TRIDIMENSIONAIS E A EGO-ESFERA QUALITATIVA	37
4	INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ E ROBÔ-ROBÔ UTILIZANDO RELAÇÕES DA EGO-ESFERA QUALITATIVA	42
4.1	ARRANJO EXPERIMENTAL	47
5	IMPLEMENTAÇÃO DAS SITUAÇÕES	54
5.1	SITUAÇÃO 1: INTERAÇÃO ROBÔ-ROBÔ	55
5.2	SITUAÇÃO 2: INTERAÇÃO ROBÔ-HUMANO I	57
5.3	SITUAÇÃO 3: INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ II	58
5.4	SITUAÇÃO 4: INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ III	59
5.5	ALGORITMOS IMPLEMENTADOS	59
5.5.1	Cálculo do coeficiente angular (K)	59
5.5.2	Cálculo do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas (Θ)	61
5.5.3	Cálculo do ângulo (α) entre o objeto e o Agente 2	63
6	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	65
6.1	TESTE COM DADOS SIMULADOS	65
6.2	PADRÃO OURO E SISTEMA DE VISÃO	68
6.2.1	Avaliação do sistema de visão	69
6.3	TESTE COM HUMANOS	71
6.4	RESULTADOS	72
6.4.1	Situação 1	72
6.4.2	Situações 2 e 3	86
6.4.3	Situação 4	95
7	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	100
7.1	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA AMBIGUIDADE	103
7.2	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ALTURA	105

7.3	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – Artigos Publicados	112

1 INTRODUÇÃO

Atualmente é desejável desenvolver um sistema robótico capaz de realizar missões de busca e resgate de modo a diminuir, ou até mesmo substituir, o papel de profissionais em ambientes hostis, que podem afetar a integridade física ou mental de um humano. A fim de atingir este objetivo, o sistema precisaria identificar objetos em áreas de busca, e transmitir informações de localização dos objetos para um humano ou um outro agente artificial. Para resolver essa questão, é necessário que o sistema consiga lidar com mudanças de referência e perspectivas, assim como entender as informações recebidas, a fim de localizar objetos ou regiões espaciais informadas por outro agente (humano ou robótico). Neste trabalho desenvolvemos uma forma de classificar um objeto qualitativamente em relação a um agente levando em consideração possíveis mudanças de perspectiva, assim foram colocados dois agentes em um ambiente (onde pelo menos um dos agentes era robótico) e o espaço ao redor dos agentes foi discretizado em regiões, de modo que quando um agente robótico localizasse um objeto deveria ser capaz de localizá-lo qualitativamente em relação ao outro agente (que poderia ser humano ou robótico). A comunicação entre os agentes era restrita às expressões espaciais correspondentes à classificação do objeto.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados conceitos da área de raciocínio espacial qualitativo (REQ), área que tem como objetivo formalizar e executar raciocínio automático a respeito de conhecimento espacial.

Em particular este trabalho utiliza as definições da Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) proposta por Santos e Santos (2013) que divide o espaço ao redor de um agente em regiões longitudinais e de altitude. Para localizar objetos e outros agentes em uma das regiões, são utilizadas definições do cálculo de configurações de pontos ternários (CCPT) definido por Moratz e Ragni (2008). Desse modo, ao identificar um objeto, o agente deve ser capaz de associá-lo à uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa, e assim conhecer a localização relativa do objeto em relação a um outro agente.

Conforme o trabalho de Santos e Santos (2013), a Ego-Esfera Qualitativa divide o espaço ao redor de um agente em oito regiões angulares (ou setores), em três distâncias e em quatro possíveis classificações de altura. A classificação de distância está relacionada com o tempo que um agente robótico teria para desviar de um objeto, caso estejam em rota de colisão, enquanto que a classificação de altura é verticalmente simétrica à classificação da distância, porém esta é sempre paralela ao plano horizontal. Com as definições para cada região ao redor

de um agente através da Ego-Esfera Qualitativa, ao localizar um objeto e obter informações das coordenadas do objeto e de outro agente, foi possível classificar o objeto qualitativamente utilizando as regiões da Ego-Esfera Qualitativa, e assim informar ao agente que havia um objeto em determinada região ao seu redor.

A Ego-Esfera Qualitativa possibilita discretizar qualitativamente o espaço ao redor de um agente e, através da definição de cada região, permite configurar um agente robótico para que este seja capaz de localizar um objeto qualitativamente. Dessa forma é importante analisar a descrição humana do espaço para definir as regiões da Ego-Esfera Qualitativa de modo mais próximo à descrição humana da cena, para que a comunicação entre agente robóticos e agentes humanos seja mais precisa. Esta é a questão principal que este trabalho aborda.

Utilizando a Ego-Esfera Qualitativa foi possível estudar quatro situações que representam possíveis situações em um ambiente de busca e resgate. Uma das situações envolve a comunicação entre dois agentes robóticos. As demais situações envolvem a comunicação entre um agente robótico e um agente humano.

1. Comunicação entre dois robôs: Corresponde à Situação 1, em que um robô (A) localiza um objeto e outro agente robótico (B), e em seguida envia uma declaração linguística (que consiste na expressão espacial que determina uma região, como por exemplo: *Frente - Perto*) contendo a região na qual o objeto está localizado na Ego-Esfera Qualitativa do agente B.
2. Comunicação entre um humano e um robô: Corresponde às situações 2, 3 e 4.
 - (a) Na situação 2 um agente robótico localiza o agente humano e um objeto, em seguida informa ao humano qual a posição do objeto na perspectiva do agente humano.
 - (b) Na situação 3 o agente robótico deverá localizar vários objetos e identificar a posição desses objetos em relação ao humano, em seguida o humano faz uma solicitação informando quais objetos têm interesse, e o agente robótico deverá retornar somente os objetos que atendem à solicitação do agente humano.
 - (c) Na situação 4 a localização dos objetos é em relação as regiões da Ego-Esfera Qualitativa do próprio agente robótico e, após classificar os objetos, o agente deverá retornar ao humano somente aqueles que corresponderem aos critérios estabelecidos na solicitação do humano.

Essas situações possuem similaridades com um ambiente de busca e resgate, a situação 1 representa um caso em que são enviados dois ou mais agentes robóticos a um ambiente em

que estes devem trocar informações quanto à localização de vítimas e assim tomar uma ação. As situações de 2 a 4 representam a comunicação direta entre agentes robóticos e profissionais humanos em um ambiente à procura de vítimas. Deve-se ressaltar que no caso da situação 1, em que há somente dois agentes robóticos trocando informações, ainda é desejável que a comunicação seja qualitativa, pois caso seja necessário acionar um humano para realizar uma ação, a informação será mais facilmente compreendida por este.

A situação 1 será abordada utilizando agentes simulados, assim a localização dos objetos será introduzida no ambiente e a classificação qualitativa dos objetos para o Agente B será conhecida. Em seguida a localização dos objetos será introduzida no sistema do Agente A que deverá classificar qualitativamente a localização dos objetos para o Agente B. Em seguida o resultado do Agente A será comparado com os valores do Agente B a fim de identificar se os dois agentes classificaram os mesmos objetos na mesma região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente B. Para as situações que envolvem um agente robótico e um agente humano, foram feitas perguntas a um conjunto de voluntário a respeito da localização de objetos utilizando as definições da Ego-Esfera Qualitativa, a fim de avaliar se a descrição do espaço pelo humano é coerente com as definições de região da Ego-Esfera Qualitativa.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: a seção 2 aborda os trabalhos relacionados à área de raciocínio espacial qualitativo, visão computacional e interpretação de expressões espaciais. A seção 3 trata com maior profundidade teorias de raciocínio espacial qualitativo, que serão utilizadas neste trabalho. A seção 4 aborda as situações que foram estudadas, a seção 5 apresenta o método utilizado para solucionar as situações propostas, a seção 6 apresenta os experimentos realizados, os resultados obtidos, por fim a seção 7 apresenta uma discussão e a conclusão para este trabalho.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Para que o processo de comunicação seja bem sucedido, é necessário determinar qual tipo de referência será usada. O trabalho de Levinson (1996) aborda três tipos de referências espaciais, são elas: *intrínsecas*, *relativas* ou *absolutas*. Uma referência é *intrínseca* quando depende de um objeto, por exemplo: *aquela pessoa está na frente da casa*, neste caso a sentença não depende da posição do observador, mas apenas da posição do objeto. A referência pode ser classificada como *relativa* quando depender da posição do observador, por exemplo, *aquela pedra está ao lado esquerdo da árvore*, neste caso, se o observador, e somente o observador, mudar de lado, a pedra será descrita como ao lado direito da árvore. Por fim, a referência é classificada como *absoluta* quando não depender da posição do objeto e nem da posição do observador, por exemplo, *ande na direção Norte*, neste caso as coordenadas geográficas nunca mudam, independentemente da posição do objeto ou do observador. Ter conhecimento das referências espaciais é fundamental no presente trabalho, assim o trabalho de Levinson (1996) se relaciona a este trabalho por apresentar os conceitos necessários para solucionar as situações propostas na seção 4.

O trabalho de Liu, Walker e Chai (2010) utiliza as definições propostas por Levinson (1996) e Levinson (2003) a respeito de referências espaciais *intrínsecas*, *relativas* e *absolutas*, assim como utiliza as três variações propostas por Schober (1996), Trafton et al. (2005) que subdivide sistemas de referência *intrínsecos* e *relativos* em *egocêntrico*, *centrado no destino* e *centrados no objeto*. O experimento realizado por Liu, Walker e Chai (2010) consiste em colocar quatro cones idênticos ao redor de três objetos de tipos distintos quanto à definição de lado (uma caixa que não possui lados intrínsecos, uma cadeira cuja definição dos lados funciona como uma extensão do corpo humano, e um notebook cuja definição de lado é contrária à humana), e colocar um robô e um humano em posições diferentes no ambiente para que o humano informe em linguagem natural para qual cone ao redor do objeto o robô deverá se locomover. O trabalho de Liu, Walker e Chai (2010) é similar ao trabalho desenvolvido no presente trabalho por também envolver referências espaciais *relativas* e *intrínsecas*. Porém enquanto o trabalho de Liu, Walker e Chai (2010) se concentra em pesquisar a ambiguidade causada pelos vários sistemas de referências, que podem ser utilizados por um humano em um único ambiente para descrever a posição de um objeto em relação a outro, o presente trabalho se concentra em identificar um objeto e classificá-lo qualitativamente ao redor de um agente de modo que a definição de lado ao redor do agente seja *intrínseca* e a posição do objeto ao redor

do agente para o agente robótico é *intrínseca centrada no destino*. Além disso, este trabalho também tem como objetivo dividir o espaço ao redor de um agente de forma a aproximar a descrição obtida à maneira em que um humano descreveria a cena.

Expressões espaciais envolvem a associação de palavras, não apenas com objetos, mas também com posições espaciais. Ou seja, as expressões espaciais incluem orientações que envolvem posições espaciais e o movimento de objetos ou do agente. Dessa forma, as expressões espaciais sempre envolvem perspectiva. O trabalho de Loetzsch e Steels (2008) apresenta um método para associar a perspectiva de um objeto em relação a outro agente, e assim associar a expressão espacial apropriada. O experimento realizado consiste em colocar dois agentes que se movem autonomamente em um ambiente junto com um objeto, e após um movimento do objeto (causado por um humano), um dos agentes seja capaz de descrever esse movimento ao outro agente. O sucesso é alcançado quando a descrição enviada para o agente corresponde à sua própria percepção do ambiente. Nesse experimento foi implementado o sistema de Löttsch et al. (2003) para que os robôs possam se locomover autonomamente e evitar obstáculos. Os agentes também conseguem rastrear e identificar outros robôs e objetos através do algoritmo de processamento de imagem desenvolvido em Röfer et al. (2005). Este algoritmo permite obter informações como localização inicial e final do objeto, ângulo da trajetória, distância percorrida pelo objeto, entre outras.

O artigo de Burhans, Chopra e Srihari (1995) apresenta um modelo computacional para compreensão de expressões espaciais, que consiste em extrair informações de um texto em linguagem natural. Dessa forma são extraídas as expressões espaciais para em seguida serem mapeadas em primitivas espaciais que compõem os objetos e as relações espaciais na representação do conhecimento espacial subjacente e por fim um modelo espacial é construído. Este trabalho se concentra na interpretação das expressões espaciais fazendo uma análise sintática e semântica. O presente trabalho está relacionado por também envolver expressões espaciais em linguagem natural, porém as informações enviadas e recebidas do agente robótico são restritas às palavras correspondentes às regiões da Ego-Esfera Qualitativa, como por exemplo: *Frente, Direita, Atrás, Atrás - Perto, etc.*

Outra forma de lidar com o problema de percepções espaciais é apresentada em Roy, Hsiao e Mavridis (2004) em que um modelo de imagens mentais é proposto. Esse modelo permite que um agente entenda preposições espaciais e identifique sua perspectiva em relação a um objeto de acordo com uma declaração linguística. Este sistema permite antecipar oclusões visuais que dependem do campo de visão e que não podem ser previstas através de rotações da

câmera. Além disso o sistema também é capaz de relacionar palavras a objetos que não estejam diretamente no campo de visão da câmera.

O conceito de imagens mentais proposto por Roy, Hsiao e Mavridis (2004) é usado para representar uma versão estável da realidade, ou seja criar uma "breve recordação" do mundo externo projetado a partir do sistema de percepção do observador. Entretanto o sistema refere-se à conceituação estabilizada do mundo fornecida pelos modelos mentais e imagens. Esse modelo refere-se a objetos fora do campo de visão, porém é necessário ter certeza de sua localização. Para o sistema de percepções foram utilizados as definições em Miller e Johnson-Laird (1976), que lida com problemas de referência sem ignorar a complexidade da memória léxica, e também lida com problemas de significado, sem ignorar a complexidade do uso da língua.

Assim como Roy, Hsiao e Mavridis (2004), em Guadarrama et al. (2013) é apresentado um sistema para a interação humano-robô capaz de aprender preposições espaciais e o reconhecimento de objetos. O sistema reconhece um objeto em um ambiente, determina as relações espaciais entre os objetos no ambiente e analisa semanticamente a sentença informada. Dessa forma um usuário pode instruir um comando ou fazer perguntas a respeito da disposição espacial dos objetos no ambiente. O trabalho de Guadarrama et al. (2013) se relaciona com o presente trabalho por envolver a comunicação com um agente robótico em que é possível solicitar que este identifique um objeto em relação à outra entidade. Porém o trabalho de Guadarrama et al. (2013) desenvolve um sistema mais robusto que identifica e classifica os objetos e também faz uma análise sintática das sentenças informadas ao robô, enquanto que o presente trabalho está mais voltado para a identificação de um simples objeto (um cubo colorido) e a correta classificação qualitativa desse objeto em relação a outro agente que pode ou não possuir um sistema de referências diferente do sistema de referências do agente robótico. Porém, ao contrário de Guadarrama et al. (2013), desenvolvemos nosso estudo sobre uma teoria de raciocínio espacial qualitativo.

No trabalho de Zender, Kruijff e Kruijff-Korbayová (2009) é apresentado um sistema que utiliza *Expressões de Referências* e *Geradores de Expressões de Referências* para que um robô seja capaz de referenciar uma entidade (como um objeto ou um lugar) que está localizado fora do ambiente no qual o robô está situado. Esta *Expressão de Referência* deve fazer uso de conceitos que podem ser compreendidos pelo ouvinte. Também é necessário que a *Expressão de Referência* contenha informações suficientes para que o ouvinte consiga distinguir entre uma referência apontada pelo robô e outros objetos no mundo real. Por fim, o sistema deve evitar a inclusão de informações desnecessárias na *Expressão de Referência* para não confundir o ouvinte. O trabalho de Zender, Kruijff e Kruijff-Korbayová (2009) tem em comum com o

presente trabalho a comunicação humano-robô, porém o trabalho de Zender, Kruijff e Kruijff-Korbayová (2009) aprofunda o estudo no processo de gerar as sentenças para comunicação (chamadas de *Expressões de Referência*), enquanto que no presente trabalho a comunicação humano-robô é feita apenas através das palavras correspondentes as regiões em que um objeto foi classificado em relação a outro agente.

Para que um robô seja capaz de localizar um objeto e de entender uma expressão espacial que permita localizar um objeto, ou traçar uma rota até determinado lugar, é necessário que o robô interprete um comando enviado por um humano em linguagem natural, Levit e Roy (2007) propõe a interpretação de comandos em linguagem natural com instruções de navegação em mapas 2D. Para realizar a análise semântica, é apresentado um método que utiliza unidades de informação de navegação (UIN)¹, que consiste em um mecanismo para extrair a informação de orientação da instrução de forma *modular* (ou por componentes). Nessa abordagem, a extração é realizada manualmente a partir das instruções de navegação enviadas ao robô, de forma que cada componente extraído da instrução represente uma pequena parte da informação necessária para interpretar a instrução de navegação enviada. Dentre os principais componentes do método de Levit e Roy (2007) estão: *objeto de referência*, *descriptor de caminho* e *aspecto quantitativo*. O *objeto de referência* corresponde a um objeto utilizado como marco visual para auxiliar na localização do robô; o *descriptor de caminho*, é o componente responsável por definir o movimento que deverá ser feito; o *aspecto quantitativo* corresponde à uma definição da quantidade de movimento a ser realizado, de modo a auxiliar o robô a identificar quando deve parar de realizar uma ação. A partir dessas definições *ao lado da casa*, *andar para frente*, e *andar dois metros* são os respectivos exemplos para cada componente. O cálculo do caminho é realizado aplicando uma malha quadriculada sobre o mapa, em que cada célula representa uma posição final, que recebe um valor de acordo com a instrução de navegação enviada ao robô.

Outro trabalho que envolve navegação e entendimento de mensagens em linguagem natural é o trabalho de Dobnik et al. (2005) que propõe enviar mensagens a um robô em linguagem natural para que este seja capaz de gerar uma descrição da rota que irá realizar. Na primeira fase, o sistema de referências do robô é egocêntrico e não são feitas referências à propriedades externas do ambiente. As mensagens informadas pelo humano descrevem o que está acontecendo a partir do ponto de vista do robô, por exemplo, *diminuir a velocidade*, *virar a direita*, *parar*. No experimento realizado para esta fase, as mensagens estão restritas a um pequeno conjunto de expressões espaciais sem nenhuma referência ao ambiente externo. As expressões estão divididas em três tipos, as que descrevem o movimento (*para frente*, *para atrás* e *pare*),

¹Do inglês: *Navigation Information Units (NIUs)*.

as que descrevem a maneira de realizar o movimento (*devagar, moderado e rápido*), e as que descrevem a direção do movimento (*esquerda, direita e reto*). Na segunda fase são adicionadas informações a respeito de objetos do ambiente, incluindo o agente humano (narrador). As mensagens informadas fazem referência a estes objetos e inclui a posição relativa e informações relacionais, como por exemplo, *você está atrás da mesa; a mesa está na minha frente*; etc. Essas situações evitam a presença de outros objetos que possam agir como *distrações*. Desse modo para o experimento realizado para esta fase foram incluídas as referências externas. A relação entre objetos no ambiente, o objeto localizado, e o objeto de referência são expressos através de preposições em linguagem natural. As descrições do ambiente são estáticas por envolver uma cena fixa e incluir expressões como *A está perto de B, A está atrás de B, A está na frente de B*, entre outras, e o robô pode ser um dos objetos ou A ou B. Dobnik et al. (2005) ainda prevê uma terceira fase em que inclui *distrações* no ambiente. Nessa situação as distrações seriam objetos que não são mencionados nas mensagens enviadas pelo humano, e tem como objetivo avaliar se o robô consegue descrever sua rota e posição relativa na presença dessas distrações. Contudo não foram realizados experimentos para esta fase. O trabalho de Dobnik et al. (2005) se assemelha ao presente trabalho pela importância em obter a localização de objetos e conseguir classificá-los em uma região ao redor do agente, assim como por tratar da localização de um objeto em relação a outro objeto. Contudo o trabalho de Dobnik et al. (2005), assim como o trabalho de Levit e Roy (2007), está mais focado no processo de navegação do robô em um ambiente, e nas preposições que serão utilizadas para descrever a rota do robô, e não dão ênfase em classificar qualitativamente o espaço ao redor de um agente.

Para que o robô possa calcular uma trajetória até um marco desejado na instrução de entrada, é preciso que o robô seja capaz de reconhecer objetos, o que não é feito no trabalho descrito em Levit e Roy (2007). O reconhecimento de objetos é um assunto amplamente estudado na comunidade científica, em particular o trabalho de Yu e Ballard (2004) apresenta um sistema para coletar dados como sequências de imagens e sequências de fala, e automaticamente realiza a associação de palavras com os respectivos objetos. Para associar a imagem de um objeto com uma palavra, o método apresentado em Yu e Ballard (2004) consiste em três módulos principais, são eles: *processamento de linguagem natural*, que corresponde ao módulo responsável pela conversão de ondas sonoras da fala em texto, assim como por realizar uma análise sintática no texto obtido. O módulo de *processamento visual* que faz a segmentação das imagens para extração dos objetos de acordo com suas características de cor, forma e textura. Por fim, a *integração multi-modal* corresponde ao módulo que faz a associação entre as palavras e imagens extraídas. Para o processamento de linguagem natural é utilizado um

software comercial² para converter as ondas sonoras da fala em texto, e em seguida extrair os substantivos do texto. A classificação das palavras de acordo com a sua categoria sintática é feita utilizando o analisador sintático *Link Grammar Parser* proposto por Sleator e Temperley (1993), capaz de identificar substantivos, verbos ou adjetivos conforme o dicionário utilizado pelo analisador. Este módulo poderia ser combinado com o método apresentado por Levit e Roy (2007), automatizando totalmente o sistema proposto. O processamento visual utilizado em Yu e Ballard (2004) realiza a segmentação de imagens utilizando o método descrito por Comaniciu e Meer (2002). Assim, os objetos são extraídos das imagens e representados por características de cor, forma e textura, desse modo Yu e Ballard (2004) utiliza como base o trabalho de Mel (1997) para construir uma variedade de características visuais para os objetos, de modo a serem invariáveis a diferentes pontos de vista e conduzidos por múltiplos sinais visuais. O módulo de integração multi-modal faz a correspondência entre imagens e palavras utilizando um processo generativo. Esse processo consiste em inicialmente gerar uma variável, que é utilizada como base para gerar os objetos visuais. Por fim, as palavras são geradas condicionadas aos objetos visuais. Esse processo é possível pelo fato das descrições verbais serem produzidas com base nos objetos visuais na cena. O trabalho de Yu e Ballard (2004) é centrado no problema de visão, e assim desenvolveu um sistema de visão robusto capaz de identificar e classificar diversos objetos, porém no presente trabalho foi desenvolvido um sistema de visão simples que tem como objetivo apenas identificar um objeto pela cor e informar a distância a partir da origem.

Assim como Yu e Ballard (2004), Roy et al. (2002) apresenta um método para que um agente identifique um objeto a partir de um comando verbal. Entretanto, para o reconhecimento de imagens, a imagem obtida é duplicada e, enquanto em uma das imagens é feita a detecção de borda, na outra é feito o reconhecimento de cores, para em seguida realizar a união das imagens. Dessa forma, após determinar os contornos de um objeto, suas propriedades são extraídas e enviadas ao sistema de aquisição e compreensão de linguagem.

O método proposto por Roy et al. (2002) é capaz de processar expressões espaciais como *acima* ou *à esquerda de* usando um conjunto de relações espaciais semelhantes às descritas em Regier (1996). As relações espaciais são mensuradas entre cada par de objetos, levando em consideração o ângulo (em relação ao horizonte) da linha que conecta o centro da área de cada par de objetos, e o ângulo da linha que conecta os dois pontos mais próximos entre os objetos.

Em uma instrução em linguagem natural existe a possibilidade de que, dependendo do contexto, pode-se gerar ambiguidade. O sistema apresentado por Roy (2002) é capaz de entender a estrutura linguística de uma declaração ao assumir que as classes de palavras são um

²*Dragon Naturally Speaking*: www.nuance.com/dragon.

primeiro passo necessário para a compreensão de regras na ordem de palavras. O sistema propõe resolver o problema em que, dado um conjunto de imagens (cada um com um objeto-alvo) e uma descrição do alvo em linguagem natural, seja capaz de aprender a gerar expressões sintaticamente corretas, semanticamente precisas e contextualmente apropriadas, referentes aos objetos incorporados em novas cenas com múltiplos objetos.

O sistema de percepção proposto em Roy (2002) consiste em um conjunto de extratores de características que operam em imagens sintéticas. Dessa forma um conjunto de atributos visuais como formato, tamanho, localização, cor e brilho são extraídos de cada objeto da imagem. O sistema possui seis estágios, são eles: *formação de classes de palavras; seleção de características para palavras e classes de palavras; fundamentos da semântica de adjetivos e substantivos; aprendizado de ordem de palavras de frase substantiva; fundamentos da semântica de termos espaciais; e aprendizado de sintaxe multi-frase.*

O trabalho de Levinson (1996) aborda referências espaciais que são essenciais neste projeto para que um robô consiga interpretar as expressões espaciais que recebe, assim como para enviar declarações linguísticas com as expressões espaciais apropriadas, conforme abordado na seção 4. O trabalho de Levit e Roy (2007) se relaciona com este projeto por apresentar um método para interpretar declarações linguísticas com orientações de navegação, porém foi projetado para ambientes 2D e em mapas conhecidos. Também é necessário que o robô identifique os objetos que procura, e os trabalhos (YU; BALLARD, 2004) e (ROY et al., 2002), apresentam sistemas capazes de associar palavras com objetos, de modo que o sistema de Roy et al. (2002) consegue interpretar declarações linguísticas e identificar classes de palavras. O trabalho em Loetzsch e Steels (2008) apresenta um sistema em que um robô identifica um movimento e consegue descrever o movimento para outro agente robótico que associa a informação recebida com a sua própria percepção do ambiente.

O presente trabalho difere dos trabalhos supracitados por discretizar o espaço ao redor de um agente utilizando os conceitos da Ego-Esfera Qualitativa proposta por Santos e Santos (2013) e desenvolver as definições de regiões angulares (ou setores), distâncias e altura. O presente trabalho também difere por realizar testes com voluntários humanos a fim de analisar a compatibilidade entre a descrição humana do espaço e as definições impostas na Ego-Esfera Qualitativa.

Dessa forma o raciocínio espacial qualitativo, em conjunto com o cálculo de configurações de pontos ternário (CCPT) e a Ego-Esfera Qualitativa (EEQ), são cruciais para o desenvolvimento do presente trabalho e são abordados em detalhes na seção 3.

3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Para este trabalho, que envolve raciocínio espacial qualitativo, é fundamental discretizar o espaço ao redor de um agente para que seja possível ao identificar um objeto classificá-lo qualitativamente em uma região ao redor do agente, e assim identificar a *expressão espacial* correspondente a posição do objeto em relação ao agente. Neste capítulo são abordados em mais detalhes o raciocínio espacial qualitativo, o cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT), proposto por Moratz e Ragni (2008) no qual discretiza o espaço ao redor de um agente em um domínio bidimensional, e a Ego-Esfera Qualitativa (EEQ), proposta por Santos e Santos (2013) na qual é apresentada uma forma de discretizar o espaço ao redor de um agente em um domínio tridimensional.

3.1 RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO

Raciocínio espacial qualitativo (REQ) é uma subárea da inteligência artificial que busca desenvolver uma representação formal do conhecimento espacial utilizando entidades básicas e relações primitivas, de modo a permitir métodos eficientes de inferência sobre o espaço. Neste trabalho utilizaremos este tipo de representação para que um agente robótico observe uma cena, e identifique o posicionamento relativo dos objetos. Para isso, o raciocínio espacial qualitativo envolve alguns aspectos do espaço, como *mereologia*, *topologia*, *orientação*, *forma*, *tamanho* e *distância*, entre outros (MOHAN, 2008).

O desafio em raciocínio espacial qualitativo (REQ) é desenvolver cálculos que permitam uma máquina representar e raciocinar sobre entidades espaciais sem recorrer às técnicas quantitativas tradicionais que prevalecem em, por exemplo, computação gráfica ou visão computacional espacial, (COHN; RENZ, 2008).

A mereologia corresponde a um dos aspectos fundamentais da representação espacial ela trata de "partes ou pedaços" de uma região e os conjuntos por eles formados. Levando em consideração a teoria de conjuntos, que tem como fundamento a relação entre um conjunto e seus elementos, a mereologia enfatiza a relação entre regiões. Outro aspecto de importância fundamental para o raciocínio espacial qualitativo é a topologia, capaz de fazer distinções qualitativas relacionadas à conectividade de regiões espaciais. Dessa forma ao integrar a mereologia com a topologia forma-se a *mereotopologia*, (COHN; RENZ, 2008).

Tabela 1 – Classificações possíveis entre dois objetos utilizando o cálculo de conexão de regiões (CCR)

Nomenclatura	Descrição
DC(x,y)	x está desconectado de y
P(x,y)	x é parte de y
PP(x,y)	x é parte própria de y
EQ(x,y)	x é igual a y
O(x,y)	x está sobreposto a y
DR(x,y)	x é discreto a y
PO(x,y)	x está parcialmente sobreposto a y
EC(x,y)	x está externamente conectado a y
TPP(x,y)	x é tangencial a parte própria de y
NTPP(x,y)	x não é tangencial a parte própria de y
Pi/2 e PPi/2	são relações inversas de P/2 e PP/2
TPPi/2 e NTPPi/2	são relações inversas de TPP/2 e NTPP/2

Fonte: (RANDELL; CUI; COHN, 1992)

As relações mereotopológicas entre pares de regiões espaciais, também conhecidas como *exaustivas e mutuamente excludentes*¹, correspondem a um subconjunto do cálculo de conexão de regiões chamado CCR-8, (COHN; RENZ, 2008).

O cálculo de conexão de regiões é baseado em uma relação binária primitiva a respeito da conexão entre duas regiões (C/2). Onde C(x,y) deve ser lido como *x está conectado a y*. As relações do cálculo de conexão de regiões são estudadas por Randell, Cui e Cohn (1992) em que é apresentada uma versão inicial do cálculo de conexão de regiões (CCR)², a tabela 1 mostra as relações possíveis entre dois objetos dentro do cálculo de conexão de regiões (CCR).

Parte do cálculo de conexão de regiões um conjunto de oito relações *exaustivas e mutuamente excludentes* que são conhecidas como CCR-8 conforme Cohn e Renz (2008), a tabela 2 apresenta as definições das relações que fazem parte do CCR-8. Uma técnica no raciocínio espacial é o diagrama conceitual de vizinhança que representa graficamente em seus vértices a relação entre objetos e suas fronteiras (FREKSA, 1991) e (SANTOS, 2007). A figura 1 apresenta o diagrama conceitual de vizinhança (DCV)³ do CCR-8 para duas regiões *x* e *y*: relação DC(x,y), em que duas regiões estão desconectadas; relação EC(x,y) para duas regiões externamente conectadas; relação PO(x,y) em que as regiões estão parcialmente sobrepostas; relação TPP(x,y) em que *x* é tangencial à parte interna de *y*; relação TPPi(x,y) que representa a relação inversa de TPP(x,y), assim, *y* é tangencial à borda interna de *x*; relação EQ(x,y) para duas regiões iguais; relação NTPP(x,y) em que *x* não é tangencial à borda interna de *y*; relação

¹Do inglês: *Joint exhaustive and pairwise disjoint (JEPD)*

²Do inglês: *Region Connection Calculus (RCC)*.

³Do inglês: *Conceptual Neighbourhood Diagrams (CND)*.

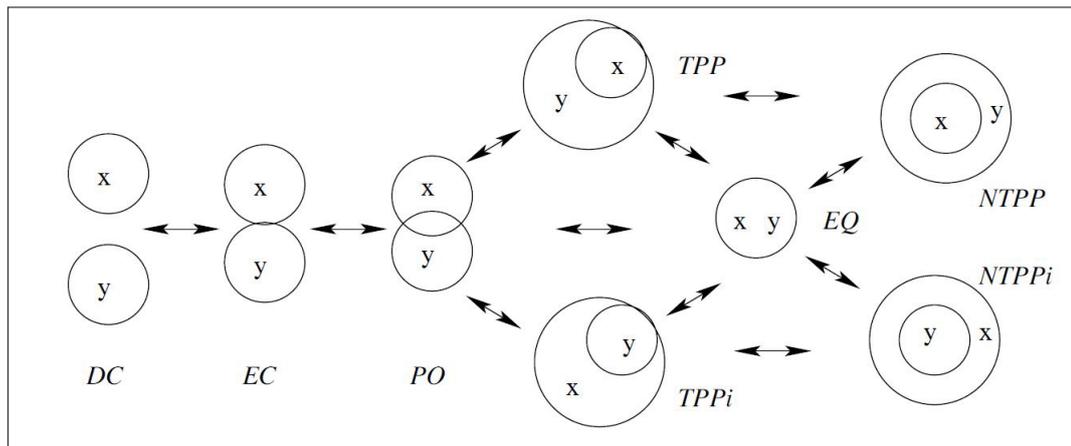
Tabela 2 – Classificações entre dois objetos ou regiões que fazem parte do cálculo de conexão de regiões-8

Nomenclatura	Definição Matemática
DC(x,y)	$DC(x,y) \leftrightarrow \neg C(x,y)$
EQ(x,y)	$EQ(x,y) \leftrightarrow (P(x,y) \wedge P(y,x))$
PO(x,y)	$PO(x,y) \leftrightarrow (O(x,y) \wedge \neg P(x,y) \wedge \neg P(y,x))$
EC(x,y)	$EC(x,y) \leftrightarrow (C(x,y) \wedge \neg O(x,y))$
TPP(x,y)	$TPP(x,y) \leftrightarrow (PP(x,y) \wedge (\exists z(EC(z,x) \wedge EC(z,y))))$
NTPP(x,y)	$NTPP(x,y) \leftrightarrow (PP(x,y) \wedge \neg(\exists z(EC(z,x) \wedge EC(z,y))))$
TPPi(x,y)	$TPPi(x,y) \leftrightarrow (TPP(y,x))$
NTPPi(x,y)	$NTPPi(x,y) \leftrightarrow (NTPP(y,x))$

Fonte: (RANDELL; CUI; COHN, 1992)

$NTPPi(x,y)$ que representa a relação inversa de $NTPP(x,y)$, assim, y não é tangencial à borda interna de x .

Figura 1 – Diagrama conceitual de vizinhança para duas regiões de acordo com as relações do CCR-8



Fonte:(RANDELL; CUI; COHN, 1992) e (SANTOS, 2007)

Enquanto o cálculo de conexão de regiões se refere à conexão entre duas regiões, o cálculo de oclusão de região (COR)⁴, definido por Randell, Witkowski e Shanahan (2001), corresponde a uma expansão do cálculo de conexão de regiões, e trata da interposição (ou ocultação) de corpos no espaço a partir de um ponto de vista.

As relações primitivas do cálculo de oclusão de região (COR) correspondem à $C/2$ e $TotallyOccludes(x,y,v)$, esta última significa que *um objeto x sobrepõe-se totalmente a um objeto y, a partir do ponto de vista v*. A partir dessas primitivas em Randell, Witkowski e Shanahan (2001) são definidos os axiomas abaixo:

⁴Do inglês: *Region Occlusion Calculus (ROC)*.

Axioma 1. O axioma 1 representa uma situação em que não há oclusão entre dois objetos. Assim o axioma 1 diz que *não há oclusão* quando *x não oclui y* e *y não oclui x*:

$$NonOccludes(x, y, v) \leftrightarrow \neg Occludes(x, y, v) \wedge \neg Occludes(y, x, v).$$

Axioma 2. O axioma 2 é similar ao axioma 1 por representar uma situação em que não há oclusão entre dois objetos. Assim o axioma 2 diz que *não há oclusão* quando *uma imagem x a respeito de um ponto de vista v está discretizada* em relação *uma imagem y a respeito de um ponto de vista v*:

$$NonOccludes(x, y, v) \rightarrow DR(image(x, v), image(y, v)).$$

Axioma 3. O axioma 3 representa uma situação em que há oclusão parcial entre dois objetos. Assim o axioma 3 diz que *x oclui parcialmente y* quando *x oclui y* e *x não oclui totalmente y* e *y não oclui x*:

$$PartiallyOccludes(x, y, v) \leftrightarrow Occludes(x, y, v) \wedge \neg TotallyOccludes(x, y, v) \wedge \neg Occludes(y, x, v).$$

Axioma 4. O axioma 4 é similar ao axioma 3 por representar uma situação em que há oclusão parcial entre dois objetos. Assim o axioma 4 diz que *x oclui parcialmente y* quando *uma imagem x a respeito de um ponto de vista v está parcialmente sobreposta a uma imagem y a respeito de um ponto de vista v* e *uma imagem x é parte própria de y a respeito de um ponto de vista v*:

$$PartiallyOccludes(x, y, v) \rightarrow (PO(image(x, v), image(y, v)) \vee PP(image(x, v), image(y, v))).$$

Axioma 5. O axioma 5 representa a situação em que há oclusão mútua entre dois objetos. Assim o axioma diz que *há oclusão mútua* quando *x oclui y* e *y oclui x*:

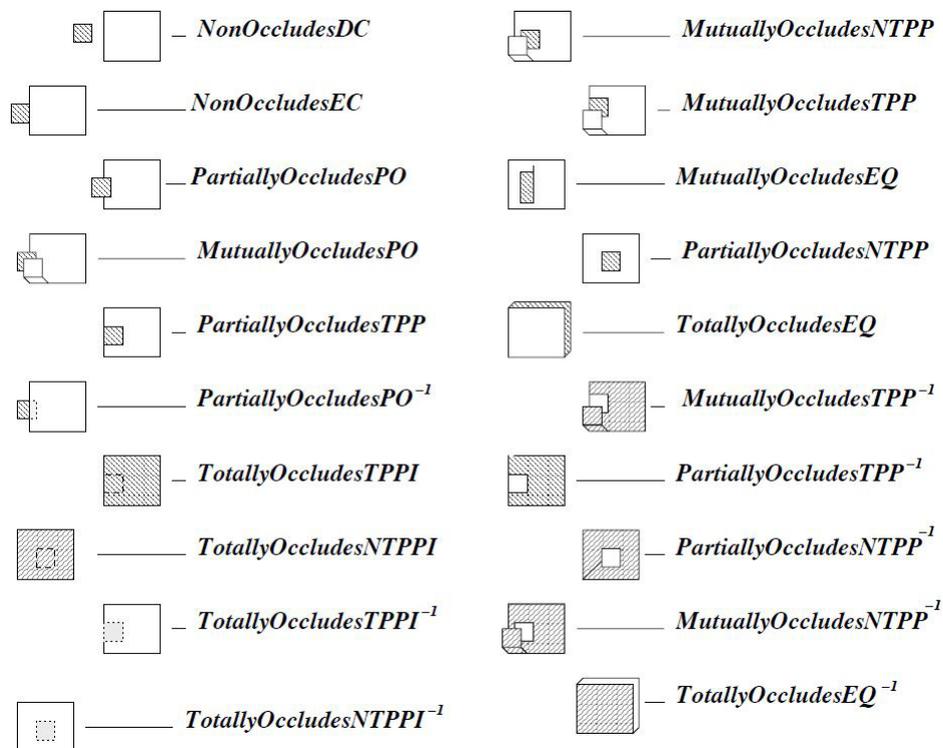
$$MutuallyOccludes(x, y, v) \leftrightarrow Occludes(x, y, v) \wedge Occludes(y, x, v).$$

Axioma 6. O axioma 6 é similar ao axioma 5 por representar uma situação em que há oclusão mútua entre dois objetos. Assim o axioma 6 diz que *há oclusão mútua* quando *uma imagem x está parcialmente sobreposta a uma imagem y a respeito de um ponto de vista v* ou *uma imagem x é parte de uma imagem y a respeito de um ponto de vista v* ou *uma imagem y é parte de uma imagem x a respeito de um ponto de vista v*

$$MutuallyOccludes(x, y, v) \rightarrow (PO(image(x, v), image(y, v)) \vee P(image(x, v), image(y, v)) \vee PI(image(x, v), image(y, v))).$$

Na figura 2 são apresentadas graficamente as relações do cálculo de oclusão de regiões (COR).

Figura 2 – Representação gráfica da relação de interposição entre dois objetos utilizando o cálculo de oclusão de regiões



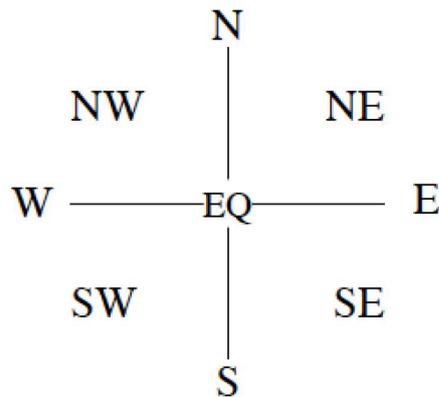
Fonte: (RANDELL; WITKOWSKI; SHANAHAN, 2001)

Há teorias de raciocínio espacial qualitativo que formalizam a orientação de um objeto. O cálculo de direção cardeal (CDC)⁵, assunto abordado no trabalho de LIGOZAT (1998), representa um formalismo para o raciocínio sobre as direções entre objetos espaciais, dessa forma o cálculo de direção cardeal possui nove relações básicas: *norte (N)*, *noroeste (NW)*, *oeste (O)*, *sudoeste (SW)*, *sul (S)*, *sudeste (SE)*, *leste (E)*, *nordeste (NE)* e *EQ*. Em que EQ(x,y) significa que x está na mesma direção que y. O objetivo do cálculo de direção cardeal é inferir fatos sobre a direção relativa de dois objetos A e B, a partir de direções conhecidas entre A e B. A figura 3 exibe as nove relações básicas do cálculo de direção cardeal (CDC).

As abordagens apresentadas acima representam os objetos como pontos simples, sem traços característicos de orientações. Por outro lado, o *Oriented Point Algebra (OPRA_m)*, inicialmente definido em Moratz (2006), apresenta um cálculo de posição, que tem como base objetos representados como pontos orientados, dessa forma o cálculo se baseia em segmentos de reta (dipolos). Para o *OPRA_m* o comprimento do segmento de reta não tem importância, uma

⁵Do inglês: *Cardinal Direction Calculus (CDC)*.

Figura 3 – Relações básicas do cálculo de direção cardinal (CDC)

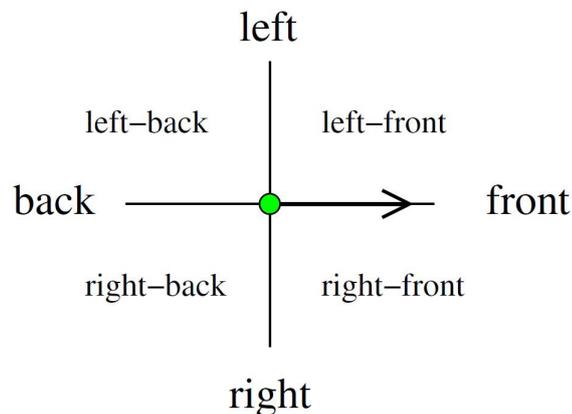


Fonte: (LIGOZAT, 1998)

vez que apenas a direção dos objetos é modelada. Os pontos orientados (chamados de *O-Points*) são especificados como um par, sendo um ponto e uma direção em um plano bidimensional.

De acordo com Mossakowski e Moratz (2012), um único ponto orientado (*O-Point*) induz aos setores representados na figura 4, a qual apresenta os setores lineares *front*, *left*, *back*, *right* e os quadrantes *left-front*, *left-back*, *right-back* e *right-front*. A posição em que o ponto se encontra é denominada *same*.

Figura 4 – Setores e quadrantes correspondentes a um único ponto orientado



Fonte: (MOSSAKOWSKI; MORATZ, 2012)

O caso mais geral do $OPRA_m$ corresponde a dois pontos em posições diferentes. Utilizando o cálculo do $OPRA_2$, o valor de m igual a 2 significa que são 2 linhas passando por cada ponto. Dessa forma são 8 setores ou quadrantes para cada ponto, totalizando 72 possibilidades (correspondente a 8 vezes 8 relações e somado a 8 vezes os pontos orientados que estão na mesma posição).

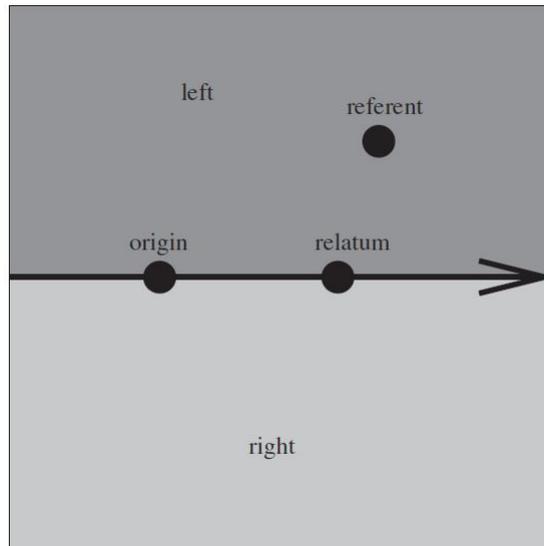
acima possibilitam que um robô tenha algum conhecimento de alto nível sobre o ambiente à sua volta e principalmente sobre o relacionamento entre os objetos presentes em seu domínio. Dessa forma é possível discretizar o espaço ao redor de um agente em termos de categorias qualitativas a fim de classificar um objeto em uma região. A interpretação de expressões espaciais pode ser feita a partir da definição de setores ou regiões ao redor de um agente, para que este possa associar as expressões linguísticas com suas respectivas localidades.

Um dos termos mais importantes para este trabalho é o cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT) (MORATZ; RAGNI, 2008) que apresenta um método para dividir o espaço em torno de um ponto central em regiões representando a localização relativa de pontos ao redor de uma linha direcionada, e classificar uma entidade em uma dessas regiões a partir da origem. Sua principal vantagem é a utilização de distinções mais completas sobre as regiões, do que os cálculos apresentados anteriormente. Além disso, o cálculo de configuração de pontos ternários permite uma diferenciação de regiões útil em alguns cenários de aplicação, como por exemplo o sistema de navegação de um robô. Neste trabalho será utilizado a Ego-Esfera Qualitativa proposta por Santos e Santos (2013), a qual tem como base o cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT), que foi proposto em Moratz e Ragni (2008). O cálculo de configuração de pontos ternários e a Ego-Esfera Qualitativa estão descritos com mais detalhes nas seções 3.2 e 3.3.

3.2 CÁLCULO DE CONFIGURAÇÕES DE PONTOS TERNÁRIOS (CCPT)

O cálculo de configuração de pontos ternários tem como base o cálculo de posição qualitativo que serve como um modelo computacional para as relações projetadas em sistemas de referência relativos. Dessa forma todos os objetos são mapeados em um plano bidimensional e podem ser modelados a partir de relações como por exemplo *esquerda*, *direita*, *frente* ou *atrás*. A figura 6 exibe um modelo simples que divide um plano em *direita* e *esquerda*, e possui os pontos *origin*, *relatum* e *referent*. Essa terminologia corresponde ao trabalho de Levinson (1996), onde o ponto *origin* representa o ponto de partida ou a origem do sistema de coordenadas para um agente. O ponto *relatum* é utilizado para formar um sistema de referência, por exemplo, na figura 7 ao olhar para a cadeira pode-se falar que a bola está à *direita* da cadeira. Nesse caso, a bola representa o ponto *referent* (que corresponde a uma parte ou porção do espaço a qual se deseja classificar qualitativamente em alguma região) e a cadeira o *relatum*, que funciona como referência para formar o sistema de referências e possibilita classificar a bola em *direita*.

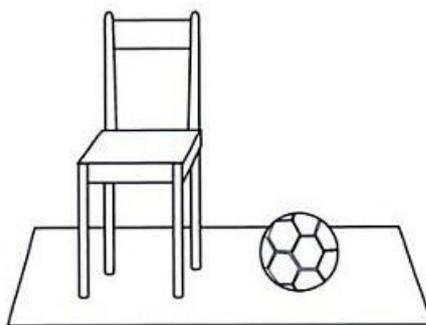
Figura 6 – Sistema de referência relativa dividido em direita e esquerda



Fonte: (MORATZ; RAGNI, 2008)

Dessa forma, o ponto denominado *relatum*, em conjunto com *origin*, formam um eixo de referência (ou sistema de referências), que permite dividir o plano em regiões. Assim a relação espacial entre o sistema de referências e o ponto *referent*, consiste em nomear o ponto *referent* com o nome da região que ele se encontra. Dessa forma o desafio está justamente em representar a localização do ponto *referent*.

Figura 7 – Sistema de referência em que o *Relatum* corresponde à cadeira

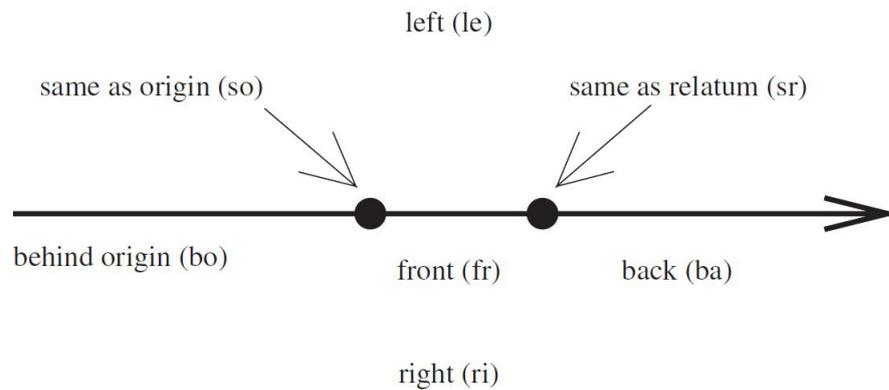


Fonte: (LEVINSON, 1996)

Na definição do cálculo de configuração de pontos ternários apresentada em Moratz e Ragni (2008) é utilizado um sistema relativo de referências particionado conforme a figura 8, onde o espaço ao redor da origem está dividido em *front*, *behind origin*, *left* e *back*, de acordo com a localização do ponto *referent* em relação aos pontos *origin* e *relatum*. No trabalho de Isli e Moratz (1999) foram introduzidas duas configurações adicionais, de modo que, se a localização

de A for igual a B, e apenas C for diferente, a relação é chamada de **dou** (Fórmula (3.1)). Se os três pontos estiverem localizados no mesmo lugar, a relação é chamada de **tri** (Fórmula (3.2)). Onde A, B e C correspondem a *origin*, *relatum* e *referent* respectivamente.

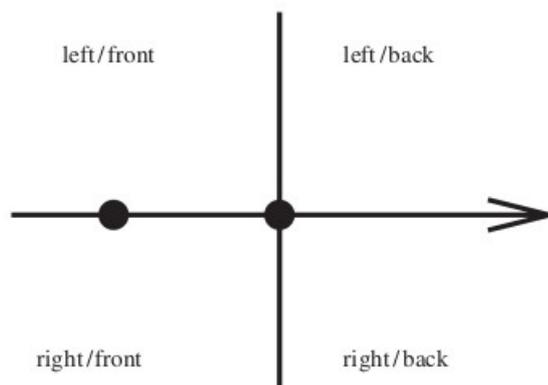
Figura 8 – Modelo de particionamento do sistema relativo de referências em que o CCPT foi desenvolvido



Fonte: (MORATZ; RAGNI, 2008)

A partir das definições do sistema relativo de referências acima, o cálculo de configurações de pontos ternários (CCPT) apresentado por Moratz e Ragni (2008) é derivado do cálculo de cruz única⁸, figura 9, porém apresenta definições muito mais precisas para as regiões.

Figura 9 – Cálculo da cruz simples que apresenta a divisão do espaço em apenas 4 regiões



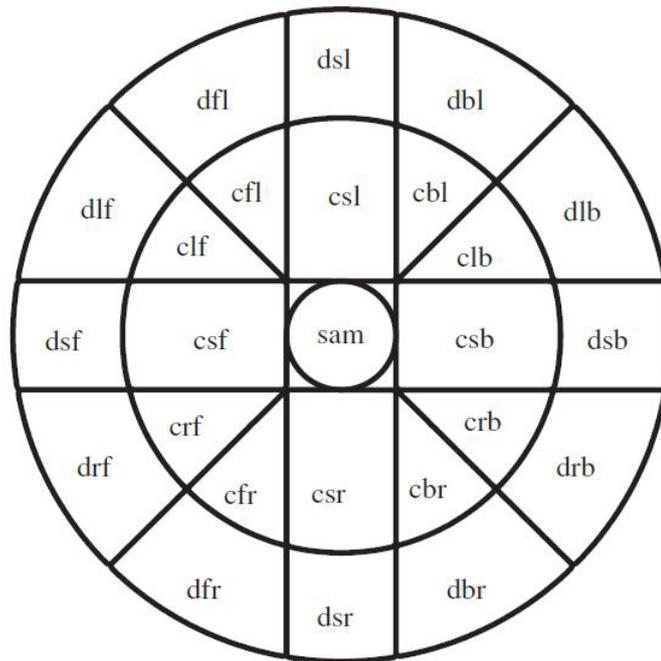
Fonte: Moratz e Ragni (2008)

O cálculo de configurações de pontos ternários propõe a divisão do espaço ao redor de um ponto em 25 regiões espaciais, compostas por 12 regiões angulares (ou setores ao redor de uma origem) e 2 classificações para distância que são combinadas formando as 25 regiões ao redor de um agente. Assim as regiões angulares (ou setores) são classificadas

⁸Do inglês: *Single Cross Calculi*

em *straight-front* (*Frente*), *left-front* (*Esquerda-Frente*), *front-left* (*Frente-Esquerda*), *straight-left* (*Esquerda*), *back-left* (*Atrás-Esquerda*), *left-back* (*Esquerda-Atrás*), *straight-back* (*Atrás*), *back-right* (*Atrás-Direita*), *right-back* (*Direita-Atrás*), *straight-right* (*Direita*), *front-right* (*Frente-Direita*), e *right-front* (*Direita-Frente*) e as classificações de distância *distant* (*Distante*) e *close* (*Perto*). Essas regiões correspondem às letras *sf*, *lf*, *fl*, *sl*, *bl*, *lb*, *sb*, *br*, *rb*, *sr*, *fr*, *rf*, *d* e *c* respectivamente, e suas localizações ao redor de um ponto são exibidas na figura 10.

Figura 10 – Divisão do espaço ao redor de um agente de acordo com as regiões estabelecidas em Moratz e Ragni (2008)



Fonte: Moratz e Ragni (2008)

É feita a atribuição de uma definição formal e precisa das relações, que descrevem as configurações geométricas correspondentes com base no sistema de coordenadas cartesianas, representado por R^2 . Em seguida são definidos $A = (x_A, y_A)$, $B = (x_B, y_B)$ e $C = (x_C, y_C)$ para os casos especiais:

A, B dou C :

$$x_A = x_B \wedge y_A = y_B \wedge (x_C \neq x_A \vee y_C \neq y_A) \quad (3.1)$$

A, B tri C :

$$(x_A = x_B = x_C) \wedge (y_A = y_B = y_C) \quad (3.2)$$

Para os casos em que $A \neq B$, são definidos o raio $r_{A,B,C}$ e o ângulo $\phi_{A,B,C}$:

Tabela 3 – Divisão do CCPT em regiões a partir do valor do ângulo

Setor	Ângulo
sb (<i>straight-back</i>)	$\phi_{A,B,C} = 0$
lb (<i>left-back</i>)	$0 < \phi_{A,B,C} \leq \pi/4$
bl (<i>back-left</i>)	$\pi/4 < \phi_{A,B,C} < \pi/2$
sl (<i>straight-left</i>)	$\phi_{A,B,C} = \pi/2$
fl (<i>front-left</i>)	$\pi/2 < \phi_{A,B,C} < \frac{3}{4}\pi$
lf (<i>left-front</i>)	$\frac{3}{4}\pi \leq \phi_{A,B,C} < \pi$
sf (<i>straight-front</i>)	$\phi_{A,B,C} = \pi$
rf (<i>right-front</i>)	$\pi < \phi_{A,B,C} \leq \frac{5}{4}\pi$
fr (<i>front-right</i>)	$\frac{5}{4}\pi < \phi_{A,B,C} < \frac{3}{2}\pi$
sr (<i>straight-right</i>)	$\phi_{A,B,C} = \frac{3}{2}\pi$
br (<i>back-right</i>)	$\frac{3}{2}\pi < \phi_{A,B,C} < \frac{7}{4}\pi$
rb (<i>right-back</i>)	$\frac{7}{4}\pi \leq \phi_{A,B,C} < 2\pi$

Fonte: (MORATZ; RAGNI, 2008)

$r_{A,B,C}$:

$$\frac{\sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2}}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}} \quad (3.3)$$

$\phi_{A,B,C}$:

$$\tan^{-1} \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} - \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (3.4)$$

Com essas fórmulas para calcular o raio e o ângulo, foram definidas as regiões no plano Euclidiano que constam na tabela 3, e que são correspondentes às regiões exibidas na figura 10. Os símbolos presentes na tabela 3 e na figura 10 são as relações de posição relativa do CCPT tal qual descrito acima (por exemplo *sb* significa *straight* e *back*). A tabela 3 exhibe apenas as regiões em relação ao ângulo, mas não a distância que é representada pelas letras *c* e *d*. Na nomenclatura, essas letras ficam localizadas antes das duas outras letras pertinentes ao setor. Por exemplo, *clb* significa região *left-back* (em relação ao ângulo) e *close* em relação a distância. Assim, na definição proposta por Moratz e Ragni (2008), a separação para *close* e *distant* corresponde à $c := 0 < r_{A,B,C} < 1$ e $d := 1 \leq r_{A,B,C}$, ou seja, a classificação em *close* e *distant* é feita de acordo com o valor de $r_{A,B,C}$ em relação a uma constante (neste caso 1).

Contudo o cálculo de configuração de pontos ternários definido por Moratz e Ragni (2008) aborda somente domínios bidimensionais. Para este projeto é necessário expandir as definições do cálculo de configuração de pontos ternários para ambientes tridimensionais. A próxima seção trata de como foi feita a adaptação para um ambiente tridimensional e os trabalhos utilizados como referência.

3.3 CÁLCULO DE CONFIGURAÇÕES DE PONTOS TERNÁRIOS PARA DOMÍNIOS TRIDIMENSIONAIS E A EGO-ESFERA QUALITATIVA

Na seção 3.2 foi descrito o cálculo de configuração de pontos ternários para ambientes bidimensionais de acordo com a definição apresentada por Moratz e Ragni (2008). Contudo, neste projeto, é essencial o raciocínio espacial qualitativo em domínios tridimensionais para que um objeto seja classificado em uma região ao redor de um agente e levando em consideração longitude e altitude. A partir das definições do cálculo de configuração de pontos ternários, em Huo, Ouyang e Sun (2013) foi desenvolvido o 3DCCPT, que tem como base as definições de regiões propostas por Moratz e Ragni (2008) (figura 10) porém adicionando uma terceira dimensão espacial.

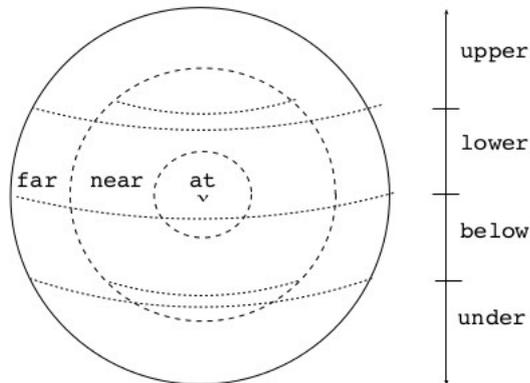
No trabalho apresentado em Santos e Santos (2013) é apresentado uma forma de expandir o cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT) para domínios tridimensionais, através da definição de um sistema qualitativo de referências tridimensional, chamado de Ego-Esfera Qualitativa (EEQ), que é similar à Ego-Esfera Sensorial apresentada por II, Hambuchen e Bodenheimer (2009). O propósito é definir ao redor de um agente uma esfera que, através de sensores, forneça ao agente informações de localização e navegação.

Em uma Ego-Esfera Qualitativa (EEQ), o ponto de vista de um robô está na origem da esfera, em que o espaço ao seu redor está discretizado em relação à altitude, latitude e longitude, e não depende da orientação do agente na origem. Desse modo, longitudinalmente, a esfera está dividida em *at*, que representa uma distância próxima o suficiente para evitar uma colisão entre o objeto e o agente; *near* que corresponde a uma região que pode ser alcançada pelo agente em pouco tempo; e, *far* que representa uma região que pode ser alcançada após andar algum tempo, que seja maior do que o necessário para alcançar o limite da região *near*. A fronteira da região *far* corresponde ao limite do alcance do sensor, no caso de um agente artificial.

Em relação ao eixo vertical, a esfera está dividida em *upper*, *lower*, *below* e *under*. Assim as fronteiras entre essas regiões são sempre paralelas ao horizonte. A tabela 4 apresenta a definição matemática para cada uma dessas regiões. Na figura 11 são exibidas as divisões do espaço a partir da origem de uma Ego-Esfera Qualitativa, conforme as definições em Santos e Santos (2013).

A Ego-Esfera Qualitativa difere do cálculo da configuração de pontos ternários definido em Moratz e Ragni (2008) quanto à discretização das regiões ao redor da origem. Enquanto o cálculo de configuração de pontos ternários divide o entorno da origem em 12 setores (tabela 3), a Ego-Esfera Qualitativa utiliza uma versão do *Star Calculi* descrito em Renz e Mitra (2004),

Figura 11 – Divisão do espaço em relação a longitude e altura a partir da origem de uma Ego-Esfera Qualitativa.



Fonte: (SANTOS; SANTOS, 2013).

Tabela 4 – Definições de Altura. Compara o valor do eixo z com o raio para determinar em qual intervalo o agente se encontra

Altura	Condição
Upper	$z > R_{near}$
Lower	$0 < z < R_{near}$
Below	$-R_{near} < z < 0$
Under	$-R_{near} > z$

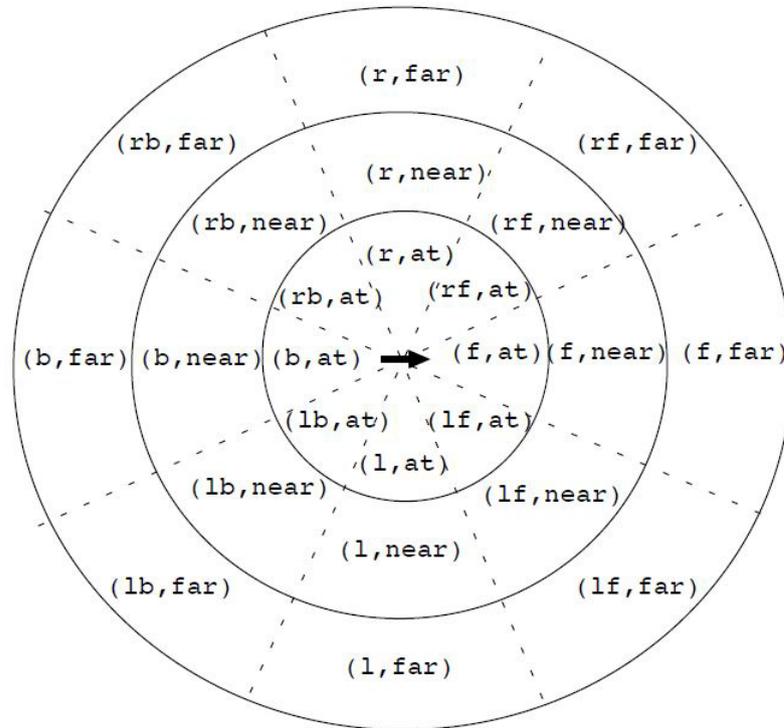
Fonte: (SANTOS; SANTOS, 2013)

que separa o espaço ao redor da origem em 8 setores. O método utilizado no *Star Calculi* para dividir o espaço ao redor de um ponto utiliza a fórmula $STAR_m[\delta_1, \dots, \delta_m](\delta_1)$, onde $0 < \delta_1 < \dots < \delta_m < 360$ e $\delta_m - \delta_1 < 180$. A variável m corresponde ao número de retas que cruzam a origem, de modo que m retas geram $2m$ setores (RENTZ; MITRA, 2004).

Na figura 12 é exibida a discretização do espaço ao redor da origem, utilizando $STAR_4$ para obter os 8 setores. Na tabela 5 é exibida a definição matemática para cada setor em relação ao ângulo, enquanto que a tabela 6 apresenta a definição matemática de cada região em relação a distância. Na tabela 6, o ponto $O(x,y,z)$ representa a distância do objeto à origem nas coordenadas, x , y e z . A classificação em *at*, *near* ou *far* é feita comparando o valor das coordenadas com o valor pré-estabelecido do raio de cada região (R_{at} e R_{near}).

Os setores estão representados pelas letras f , b , l , r , lf , lb , rf e rb que correspondem à *front*, *back*, *left*, *right*, *leftfront*, *leftback*, *rightfront* e *rightback* respectivamente. Cada um dos 8 setores está dividido longitudinalmente nas 3 regiões, *at*, *near* e *far* explicadas anteriormente, totalizando 24 regiões.

Figura 12 – Divisão do espaço ao redor da origem em 8 setores, através do $STAR_4$. Em seguida cada setor é dividido longitudinalmente em 3 regiões.



Fonte: (SANTOS; SANTOS, 2013).

Tabela 5 – Definição matemática dos 8 setores, em que o ângulo ϕ determina o setor

Orientação (Setor)	Ângulo
Frente (<i>Front</i>)	$\phi_{rf} < \phi < \phi_f$
EsquerdaFrente (<i>LeftFront</i>)	$\phi_f < \phi < \phi_{lf}$
Esquerda (<i>Left</i>)	$\phi_{lf} < \phi < \phi_l$
EsquerdaAtrás (<i>LeftBack</i>)	$\phi_l < \phi < \phi_{lb}$
Atrás (<i>Back</i>)	$\phi_{lb} < \phi < \phi_b$
DireitaAtrás (<i>RightBack</i>)	$\phi_b < \phi < \phi_{rb}$
Direita (<i>Right</i>)	$\phi_{rb} < \phi < \phi_r$
DireitaFrente (<i>RightFront</i>)	$\phi_r < \phi < \phi_{rf}$

Fonte: (SANTOS; SANTOS, 2013)

Tabela 6 – Definição matemática das 24 regiões

Orientação (Setor)	Muito Perto (<i>At</i>)	Perto (<i>Near</i>)	Longe (<i>Far</i>)
Frente (<i>Front</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
EsquerdaFrente (<i>LeftFront</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
Esquerda (<i>Left</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
EsquerdaAtrás (<i>LeftBack</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
Atrás (<i>Back</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
DireitaAtrás (<i>RightBack</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
Direita (<i>Right</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$
DireitaFrente (<i>RightFront</i>)	$O(x, y, z) < R_{at}$	$R_{at} < O(x, y, z) < R_{near}$	$O(x, y, z) > R_{near}$

Fonte: (SANTOS; SANTOS, 2013)

Enquanto as categorias longitudinais podem variar de acordo com o tipo de agente, as categorias de altitude não sofrem variações, e as fronteiras entre essas categorias são sempre paralelas ao horizonte.

Para este trabalho foram utilizadas as definições de sistemas de referências *intrínsecos* e *relativos* propostos por Levinson (1996). Uma referência *intrínseca* não depende do ponto de vista do observador de modo que corresponde a um objeto que possui lados definidos (*frente, atrás, direita, esquerda, acima, etc*) como por exemplo um carro ou uma casa. Enquanto que para uma referência *relativa*, a definição de lado é dependente do ponto de vista do observador, como por exemplo uma árvore e uma pedra. Dessa forma para este trabalho foi utilizado um sistema de referências *relativo* por depender da posição de um segundo agente em relação ao observador, e também foi utilizado um sistema de referências *intrínseco* por discretizar o espaço ao redor dos agentes e classificar os objetos em função dessa discretização.

Este trabalho parte da Ego-Esfera Qualitativa proposta por Santos e Santos (2013), e apresenta definições matemáticas para as regiões. O espaço ao redor de um agente é dividido simetricamente em 8 regiões angulares (ou setores) com 45° cada, longitudinalmente as distâncias foram definidas como *Muito Perto, Perto e Longe*, que correspondem respectivamente a *At, Near e Far* de Santos e Santos (2013). Assim a distância *Muito Perto* é iniciada na origem da Ego-Esfera Qualitativa e tem 110 centímetro até a fronteira com *Perto*. Para a distância *Perto* foi definido o intervalo de 70 centímetros, assim o término da distância *Perto* está a 180 centímetros da origem, que corresponde ao início da distância *Longe* que se estende até o limite do alcance do sensor. A definição destes valores para as distâncias é devido às restrições do ambiente e por estar dentro do intervalo ("range") que o Kinect apresenta boa precisão.

Em relação à altitude neste trabalho foram definidas as classificações *Alto, Baixo, Abaixo e Profundo* e correspondem respectivamente as regiões *Upper, Lower, Below e Under* de Santos e Santos (2013). Assim foi definido que as fronteiras entre *Abaixo/Profundo* e *Baixo/Alto* correspondem ao valor do raio, de 180 centímetros, da fronteira entre as distâncias *Perto* e *Longe*. Também foi definido que as classificações de altura *Abaixo* e *Profundo* somente se aplicam a agentes robóticos aéreos.

A partir das definições acima propomos explorar os casos descritos no capítulo 4, referentes a ambientes multi-robôs, ou ambientes com humanos e robôs. A dificuldade nas situações estudadas está em fazer com que o robô ao identificar um bloco seja capaz de classificá-lo em uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) ao redor de um outro agente, levando em consideração que este pode estar em planos diferentes e possuir orientações diferentes.

Neste trabalho a Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) foi implementada utilizando as definições descritas acima conforme descrevemos em detalhes no capítulo 5. Assim a Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) inicialmente apresentada em Santos e Santos (2013) é utilizada neste trabalho como base para realizar a expansão tridimensional do cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT) e, a partir desta expansão, desenvolver a comunicação espacial entre multiagentes utilizando expressões espaciais.

Contudo existe uma distância entre definições rígidas como as apresentadas acima e a maneira como as pessoas utilizam preposições espaciais. Dessa forma no capítulo 6 o objetivo é abordar estas diferenças contrastando os resultados da classificação automática da posição de objetos (cujas imagens foram obtidas por um sensor Kinect) com a conceitualização do espaço, tal qual obtida em experimento com humanos.

4 INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ E ROBÔ-ROBÔ UTILIZANDO RELAÇÕES DA EGO-ESFERA QUALITATIVA

Atualmente em situações de busca e resgate há pouco ou nenhum envolvimento de agentes robóticos para auxiliar as equipes de voluntários. A motivação deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento de um sistema robótico que possa ser utilizado em situações de busca e resgate de modo a identificar vítimas e comunicar qualitativamente a outro agente a localização delas. Dessa forma, este trabalho busca discretizar o espaço ao redor de um agente para que um outro agente robótico, ao identificar um objeto, seja capaz de localizá-lo qualitativamente em relação ao primeiro agente a partir de sua perspectiva. Para alcançar este objetivo a Ego-Esfera Qualitativa, originalmente apresentada em Santos e Santos (2013), foi adaptada (com as especificações de região mencionadas no capítulo anterior) e implementada em um sistema computacional munido de sensores Kinect. Para implementar corretamente a Ego-Esfera Qualitativa é necessário ter conhecimento da orientação do agente que a define, e assim foram utilizadas as definições de sistemas de referências propostos por Levinson (1996).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram estudadas quatro situações que correspondem à algumas das possíveis situações que um agente robótico enfrentaria em uma situação real de busca e resgate. Para todas as situações estudadas é necessário ter conhecimento da orientação dos agentes, discretizar o espaço ao redor destes, identificar um ou mais objetos e localizá-los qualitativamente em relação a um dos agentes.

Neste trabalho, para que o agente robótico (denotado Agente Robô 1) seja capaz de projetar a Ego-Esfera Qualitativa em um segundo agente (o qual denominamos Agente 2), que pode ser humano ou robótico dependendo da situação, é necessário que o agente robótico tenha conhecimento da orientação do Agente 2, dessa forma, assume-se que ambos os agentes possuem conhecimento da localização do outro agente. Assim, para as situações 2 e 3 em que o Agente 2 é um humano, é crucial que o Agente 2 consiga observar e identificar a localização do Agente Robô 1 em sua Ego-Esfera Qualitativa para informar ao Agente Robô 1 em qual região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente 2 o Agente Robô 1 está localizado. Com essa informação o Agente Robô 1 será capaz de calcular a orientação do Agente 2 e assim projetar a Ego-Esfera Qualitativa do Agente 2.

Neste capítulo são apresentadas as quatro situações que foram implementadas neste trabalho utilizando as definições de região da Ego-Esfera Qualitativa; a situação 1 representa um caso em que há dois agente robóticos que devem se comunicar a partir de relações qualitativas.

As situações 2 e 3 representam casos em que há um agente robótico e um agente humano, e o agente robótico deve informar ao agente humano a posição dos objetos em relação à perspectiva do agente humano e utilizando as expressões espaciais definidas na Ego-Esfera Qualitativa. Na situação 2 o agente robótico apenas informa a posição dos objetos ao agente humano, enquanto que, na situação 3 o agente humano informa ao agente robótico o local que procura por objetos ou uma característica do objeto que procura; o agente robótico, então, retorna ao agente humano apenas os objetos que correspondem aos critérios de busca definidos. A situação 4 representa casos em que o agente robótico deve identificar e classificar a posição de objetos em relação à sua própria perspectiva. Assim como na situação 3 o agente humano informa ao agente robótico o local que procura por objetos ou uma característica do objeto que procura, e o agente robótico retorna ao agente humano apenas os objetos que correspondem aos critérios de busca definidos. Estas situações estão descritas em mais detalhes abaixo.

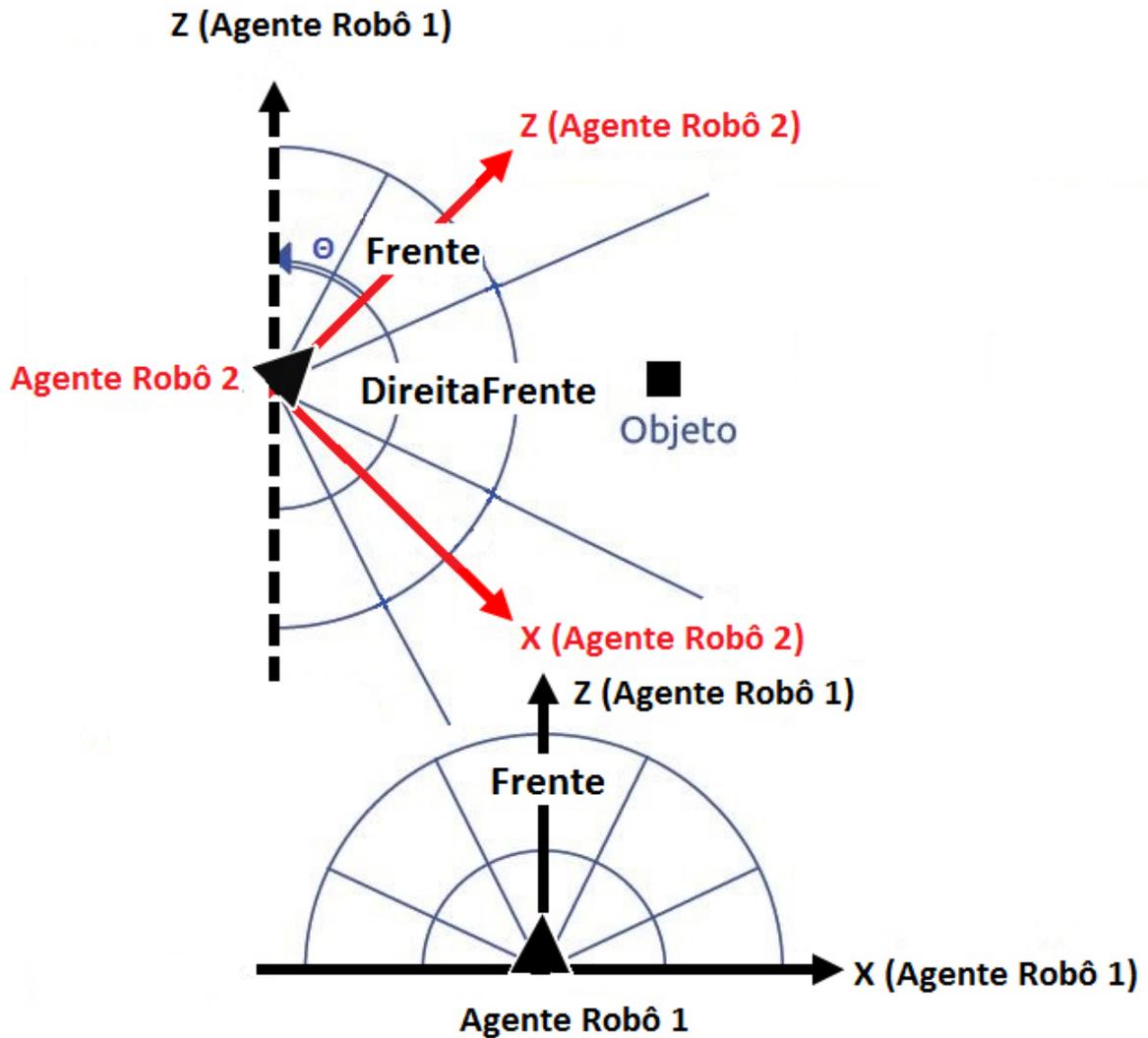
A partir deste ponto, no restante deste trabalho, quando o Agente 2 se referir a um humano, será utilizado o termo Agente Humano, quando o Agente 2 se referir a um agente robótico será utilizado o termo Agente Robô 2. Nos casos em que for irrelevante se o agente é humano ou robótico será utilizado o termo Agente 2.

1. Situação 1 - Interação Robô-Robô:

Em um ambiente real de busca e resgate com múltiplos agentes robóticos, os agentes devem se comunicar qualitativamente, assim caso algum humano precise ser envolvido na busca este será capaz de compreender as expressões espaciais enviadas pelos agentes robóticos. Dessa forma um agente robótico (Agente Robô 1) deverá localizar um outro agente robótico (Agente Robô 2) e um objeto utilizando o seu sistema de visão, e identificar as coordenadas do Agente Robô 2 e do objeto em relação ao seu próprio sistema de coordenadas.

A figura 13 representa graficamente esta situação, com dois agente robóticos Agente Robô 1 e Agente Robô 2. Nesta situação, o Agente Robô 2 deverá informar o ângulo referente à rotação entre os sistemas de coordenadas (na figura 13 corresponde ao ângulo Θ), assim o Agente Robô 1 terá conhecimento da orientação do Agente Robô 2. Ao conhecer a orientação do Agente Robô 2, o Agente Robô 1 será capaz de projetar a Ego-Esfera Qualitativa ao redor do Agente Robô 2. Em seguida, utilizando as coordenadas do Agente Robô 2 e do objeto, o Agente Robô 1 é capaz de calcular o coeficiente angular entre o objeto e o seu próprio sistema de coordenadas. Dessa forma, utilizando o valor do ângulo Θ e o valor do coeficiente angular, o Agente Robô 1 poderá calcular o ângulo formado

Figura 13 – Ambiente com dois agentes e um objeto visto por cima



Fonte: Autor

entre o Objeto e o sistema de coordenadas do Agente Robô 2. Assim é possível calcular as coordenadas do Objeto no sistema de coordenadas do Agente Robô 2 para identificar em qual região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 o Objeto está localizado. Por fim o Agente Robô 1 informa ao Agente Robô 2 em qual região da Ego-Esfera Qualitativa o Objeto está localizado. Por exemplo, na figura 13 o Agente Robô 1 deverá identificar as coordenadas do Agente Robô 2 e do objeto, em seguida o Agente Robô 2 deverá informar

ao Agente Robô 1 o valor do ângulo Θ . Com essa informação o Agente Robô 1 deverá classificar o Objeto na região *DireitaFrente* (detalhes da classificação de cada região da Ego-Esfera Qualitativa estão descritos no próximo capítulo) da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2.

2. Situação 2 - Interação Robô-Humano I:

Corresponde à situação em que um dos agentes é humano. Neste caso o Agente Robô 1 deverá enviar expressões espaciais ao Agente Humano informando aonde este deve procurar por objetos. Analogamente à situação 1, a figura 13 representa graficamente esta situação, em que o Agente Robô 1 corresponde ao agente robótico, enquanto que o Agente Robô 2 é substituído por um Agente Humano. O Agente Robô 1 deverá localizar o Agente Humano e um Objeto utilizando o seu sistema de visão, em seguida deverá identificar as coordenadas do Agente Humano e do objeto em relação ao seu próprio sistema de coordenadas. Diferente da situação 1, nesta situação o Agente Humano deverá informar ao Agente Robô 1 em qual região da Ego-Esfera Qualitativa (na qual o Agente Humano está no centro) o agente Agente Robô 1 está localizado (por exemplo, na figura 13, o Agente Humano deverá informar que o Agente Robô 1 está na região *DireitaAtrás* de sua Ego-Esfera Qualitativa). Dessa forma o Agente Robô 1 conseguirá identificar a orientação espacial do Agente Humano para calcular o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas (na figura 13 correspondente ao ângulo Θ), e assim calcular as coordenadas do Objeto em relação ao sistema de coordenadas do Agente Humano, para em seguida calcular em qual região da Ego-Esfera Qualitativa ao redor do Agente Humano o Objeto está localizado. Por fim o Agente Robô 1 informa ao Agente Humano em qual região da Ego-Esfera Qualitativa o Objeto está localizado (região *DireitaFrente* na figura 13).

3. Situação 3 - Interação Robô-Humano II:

Esta situação é similar à situação 2, porém nesta situação o Agente Robô 1 deverá localizar o Agente Humano e vários objetos, em seguida o Agente Humano deverá informar ao Agente Robô 1 em qual região da Ego-Esfera Qualitativa (centrada no humano) o Agente Robô 1 deverá buscar por objetos, ou as características do objeto que procura, e o Agente Robô 1 deverá retornar somente os objetos que atendem aos critérios de busca informado pelo Agente Humano.

Nesta situação o método para identificar a localização e a orientação espacial do Agente Humano, e calcular o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas, é igual ao método descrito na situação 2. Porém ao contrário da situação 2, neste caso existem vários

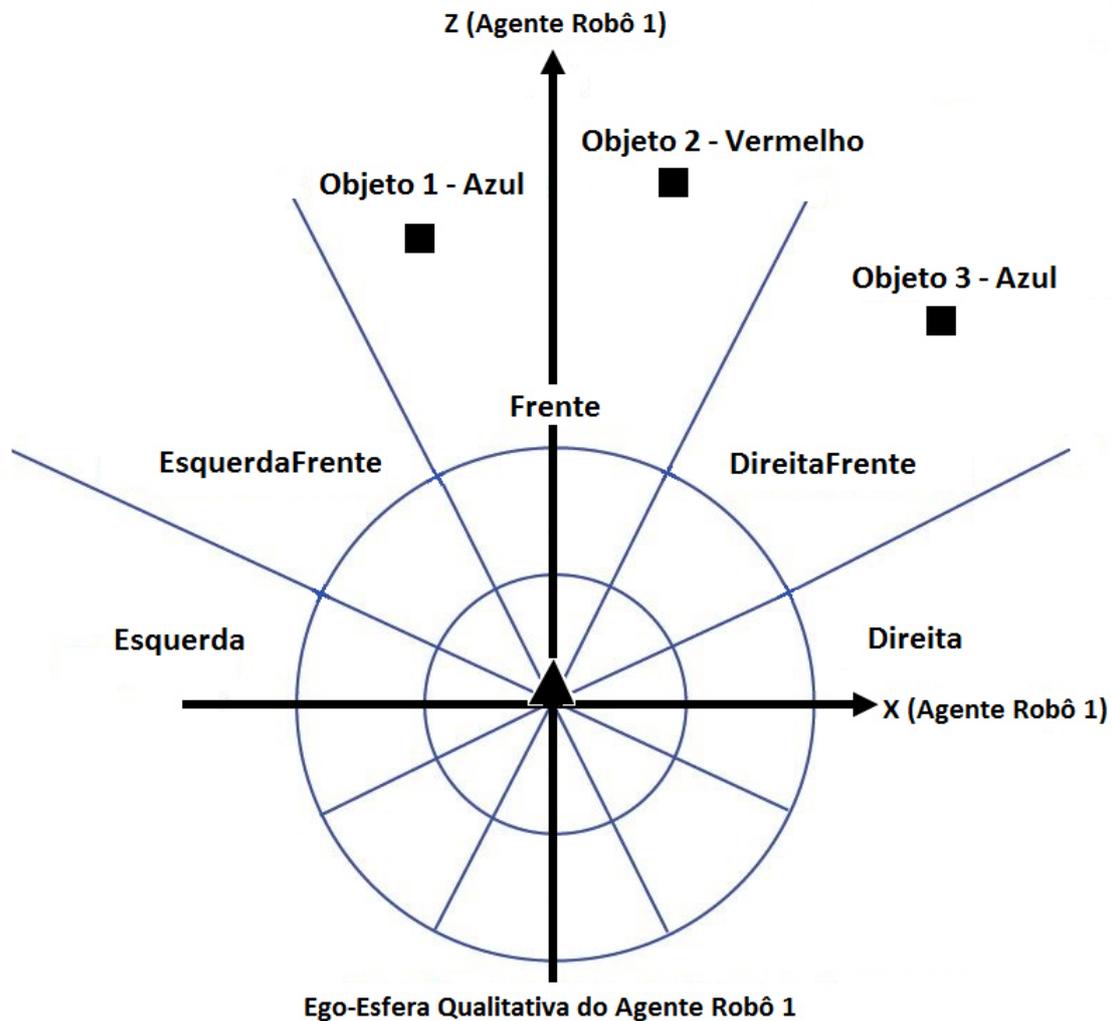
objetos que podem estar em diferentes regiões da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, e o Agente Robô 1 deverá identificar em qual região cada objeto está localizado. Por fim o Agente Humano informa ao Agente Robô 1 em qual região tem interesse em buscar por objetos e qual a cor dos objetos que tem interesse. O Agente Robô 1 deverá retornar somente os objetos que estão na região de interesse e são da cor informada pelo humano ou poderá retornar somente os objetos da cor de interesse e as respectivas regiões onde estão localizados.

4. Situação 4 - Interação Robô-Humano III:

Nesta situação a localização e a orientação do Agente Humano são irrelevantes, o sistema de visão deverá identificar os objetos ao redor do Agente Robô 1 e classificá-los em uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa (na qual o Agente Robô 1 está no centro). Por fim, similar à situação 3, o Agente Humano informa ao Agente Robô 1 em qual região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1 tem interesse em buscar por objetos e qual a cor dos objetos que tem interesse. O Agente Robô 1 deverá retornar somente os objetos que estão na região de interesse e são da cor informada pelo Agente Humano ou poderá retornar somente os objetos da cor de interesse e as respectivas regiões em que estão localizados. Por exemplo, na figura 14, caso o Agente Humano informe que busca por objetos da cor azul, o Agente Robô 1 deverá retornar as regiões *Frente* e *DireitaFrente* que correspondem às regiões de sua própria Ego-Esfera Qualitativa em que há objetos que atendem ao critério de busca do Agente Humano. Há também a possibilidade do Agente Humano informar que busca por objetos na região *Frente*, neste caso o Agente Robô 1 deverá retornar que há um objeto azul e um objeto vermelho na região informada pelo Agente Humano.

A partir destas situações, nosso objetivo é desenvolver um sistema capaz de lidar com expressões espaciais para diferentes configurações do ambiente, ou seja, diferentes orientações e posições entre os agentes no ambiente. Todas as situações serão realizadas em um ambiente interno (que corresponde ao laboratório em que os experimentos foram realizados), onde entendemos como agente robótico um sensor RGBD que, neste caso, será um sensor Kinect, e os objetos correspondem a blocos coloridos tridimensionais que podem ser colocados sobre uma mesa. Porém, é nosso interesse futuro estender este trabalho para dois agentes robóticos móveis (terrestres ou aéreos) assim como, para outros tipos de objetos.

Figura 14 – Ambiente com um agente e três objetos visto por cima



Fonte: Autor

4.1 ARRANJO EXPERIMENTAL

Nesta seção e nas seções subsequentes, o Agente Robô 1 sempre representa o sensor Kinect no centro do ambiente de testes. O Agente 2, na situação 1, representa um agente robótico simulado, assim usaremos o termo Agente Robô 2. Nas situações 2, 3 e 4 o Agente 2 representa um humano, dessa forma usaremos o termo Agente Humano. Somente nos casos em que for irrelevante se o agente é humano ou robótico usaremos os termos genéricos Agente 1 ou Agente 2.

Para implementar as situações descritas acima, um sensor Kinect foi utilizado como agente robótico e posicionado em uma estrutura à 35 centímetros de altura. Também foram dispostos seis blocos coloridos no ambiente, suas coordenadas em relação ao sistema de coordenadas do sensor Kinect estão descritas na tabela 7 e foram inicialmente obtidas manualmente através de uma trena (a fim de verificação dos resultados). As figuras 15 e 17 demonstram a disposição dos blocos e a orientação do Agente Humano (a rotação entre os sistemas de coordenadas está representada nas figuras 16 e 18 pelo ângulo Θ) que foi posicionado nas coordenadas $(X, Y, Z) = (20, 0, 220)$ referente ao sistema de coordenadas do sensor Kinect.

Tabela 7 – Disposição dos blocos no sistema de coordenadas do Agente 1

Bloco	Coordenadas (X, Y, Z)
1 - Amarelo	(-14, 0, 158)
2 - Verde	(-22, 22, 108)
3 - Vermelho	(100, 22, 277)
4 - Amarelo	(4, -40, 111)
5 - Rosa	(2, -35, 252)
6 - Verde	(30, 0, 166)

Fonte: Autor

Para que um agente humano, em colaboração com um agente robótico, seja capaz de compreender corretamente as expressões espaciais enviadas pelo agente robótico, é necessário avaliar se as definições de região estabelecidas para a Ego-Esfera Qualitativa são coerentes com a descrição humana do espaço. Dessa forma, o experimento neste trabalho consiste em posicionar um voluntário humano no ambiente conforme as figuras 15 e 17 e perguntar a posição dos blocos dispostos no ambiente, a fim de validar se as respostas são coerentes com as regiões estabelecidas para a Ego-Esfera Qualitativa e implementadas junto ao Kinect. No total foram entrevistados 31 voluntários, e feitas as perguntas de 1 a 11 a seguir com o Kinect à 270° do Agente Humano (o que significa que o Kinect estava à *Esquada* do Agente Humano, conforme figura 16), e as perguntas de 12 a 17 com o Kinect à 225° do Agente Humano (o que significa que o Kinect estava à *EsquadaFrente* do Agente Humano, conforme figura 18):

1. "Qual a localização do Kinect na sua percepção?"
2. "Qual a localização do bloco 1-Amarelo na sua percepção?"
3. "Qual a localização do bloco 2-Verde na sua percepção?"
4. "Qual a localização do bloco 3-Vermelho na sua percepção?"
5. "Qual a localização do bloco 6-Verde na sua percepção?"

Figura 15 – Agente Humano no ambiente experimental rotacionado 270° em relação ao sensor Kinect



(a) Perspectiva do Kinect (Agente Robô 1) de um Agente Humano (Agente 2) rotacionado 270° em relação ao sensor Kinect

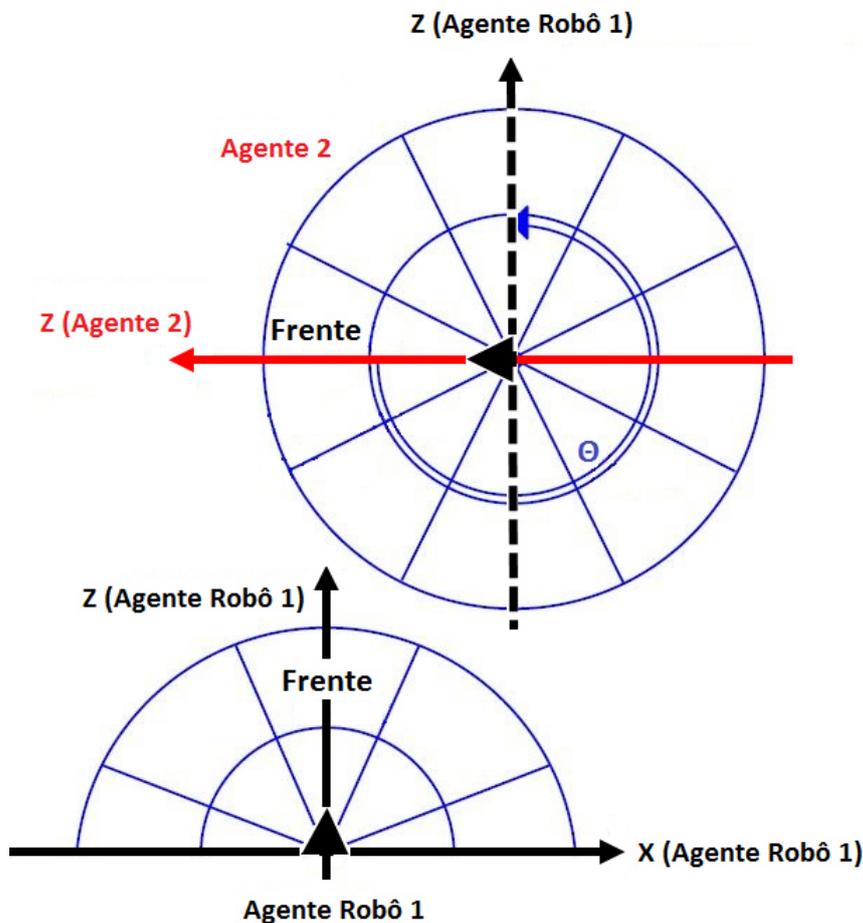


(b) Agente Humano (Agente 2) rotacionado 270° em relação ao sensor Kinect (Agente Robô 1)

Fonte: Autor

6. "Qual ou quais blocos você classificaria como *Frente* em relação a você?"
7. "Qual a localização do bloco 1-Amarelo na percepção do Kinect?"
8. "Qual a localização do bloco 2-Verde na percepção do Kinect?"
9. "Qual a localização do bloco 3-Vermelho na percepção do Kinect?"
10. "Qual a localização do bloco 6-Verde na percepção do Kinect?"

Figura 16 – Rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes de 270°



Fonte: Autor

11. "Qual ou quais blocos você classificaria como *Frente* em relação ao Kinect?"
12. "Qual a localização do Kinect na sua percepção?"
13. "Qual a localização do bloco 1-Amarelo na sua percepção?"
14. "Qual a localização do bloco 2-Verde na sua percepção?"
15. "Qual a localização do bloco 3-Vermelho na sua percepção?"
16. "Qual a localização do bloco 6-Verde na sua percepção?"
17. "Qual ou quais blocos você classificaria como *Frente* em relação a você?"

As perguntas 1 e 12 têm como objetivo inicializar o sistema, de modo que a resposta dessas perguntas permite ao Agente Robô 1 estimar a orientação do Agente Humano e assim

Figura 17 – Agente Humano no ambiente experimental rotacionado 225° em relação ao sensor Kinect



(a) Perspectiva do Kinect (Agente Robô 1) de um Agente Humano (Agente 2) rotacionado 225° em relação ao sensor Kinect

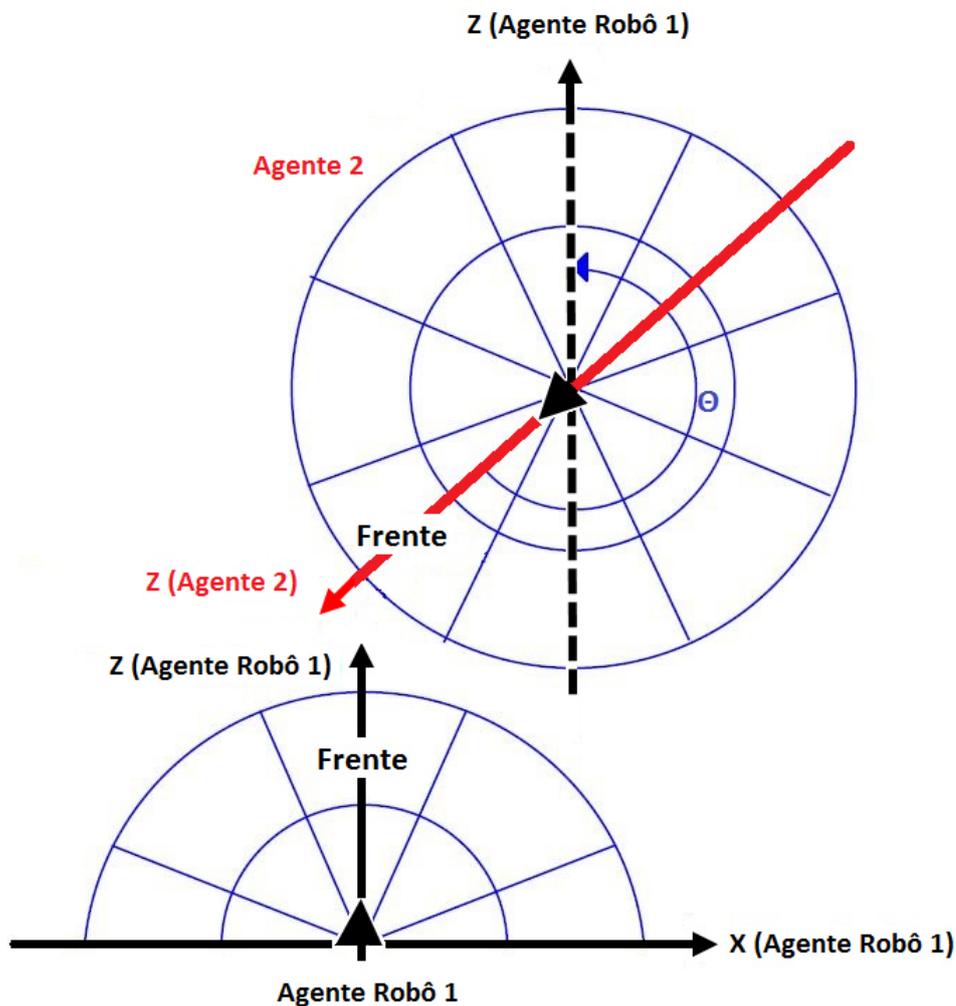


(b) Agente Humano (Agente 2) rotacionado 225° em relação ao sensor Kinect (Agente Robô 1)

Fonte: Autor

discretizar o espaço ao redor do Agente Humano de acordo com as definições de região da Ego-Esfera Qualitativa. As perguntas de 2 a 6 são referentes à classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano em que o Agente Robô 1 está à *Esquerda* do Agente Humano (ou 270° conforme figura 15), e assim validar se a descrição do espaço do voluntário é coerente com as definições da Ego-Esfera Qualitativa. As perguntas de 7 a 11 são referentes à classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1, o objetivo destas perguntas é

Figura 18 – Rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes de 225°



Fonte: Autor

verificar a descrição do Agente Humano quanto à discretização de espaço ao redor do Agente Robô 1. As perguntas de 13 a 17 são referentes à classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano em que o Agente Robô 1 está à *EsquerdaFrente* do Agente Humano (ou 225° conforme figura 17), e tem como objetivo validar se a descrição do espaço do Agente Humano é coerente com as definições da Ego-Esfera Qualitativa.

O sistema desenvolvido é dependente de um ambiente controlado devido limitações do sistema de visão, cuja identificação de objetos é feita através da tonalidade da cor dos blocos coloridos e não pela forma. Dessa forma, a iluminação do ambiente, e a existência de qualquer objeto no ambiente que seja da cor dos blocos coloridos podem interferir no comportamento do sistema implementado, e por esse motivo esse sistema é dependente de um ambiente controlado.

Os voluntários (que correspondem ao Agente 2 e assim são denotados Agentes Humanos nas situações 2, 3 e 4) correspondem a pessoas que estavam nas dependências da faculdade e foram convidadas a participar de um experimento científico. Em seguida as pessoas eram acompanhadas até o laboratório em que as perguntas seriam feitas. Ao entrar no laboratório o voluntário podia ver a posição de todos os blocos espalhados no ambiente e a localização do Agente Robô 1. Em seguida o voluntário era orientado a se posicionar em um determinado lugar e olhar em determinada direção, fazendo com que o Agente Robô 1 ficasse na *Esquerda* do voluntário (conforme figura 15). Neste momento o experimento era explicado ao voluntário, e as regiões em que ele deveria classificar os blocos eram informadas, o voluntário poderia fazer qualquer questionamento (exceto perguntar como definir as regiões que foram informadas) e em seguida as perguntas de 1 a 11 eram feitas. Em seguida o voluntário era orientado a olhar em outra direção rotacionando seu corpo, fazendo com que o Agente Robô 1 ficasse na *EsquerdaFrente* do voluntário (conforme figura 17). Por fim eram feitas as perguntas de 12 a 17. O voluntário poderia desistir de realizar o experimento mesmo depois de iniciado, ou caso houvesse algum desconforto solicitar para que suas respostas fossem desconsideradas, contudo isso não ocorreu.

No próximo capítulo é descrito em mais detalhes o sistema implementado para abordar as quatro situações descritas anteriormente, e fazer com que o agente robótico calcule e classifique a posição dos blocos em uma Ego-Esfera Qualitativa, para posteriormente comparar o resultado do sistema implementado com as respostas dadas pelos voluntários humanos.

5 IMPLEMENTAÇÃO DAS SITUAÇÕES

Cada objeto e agente possui as coordenadas X , Y e Z que definem a posição do objeto e do agente no espaço em relação a algum sistema de coordenadas, neste trabalho foi definido que a coordenada Z representa a distância no plano de um objeto ou agente em relação à origem da Ego-Esfera Qualitativa do agente. A coordenada Y representa o eixo vertical (altura) e a coordenada X a direção ortogonal a Z e a Y . Para implementar as situações propostas utilizando a Ego-Esfera Qualitativa, o intervalo angular para cada setor foi definido em 45° , conforme tabela 8. A definição de distância corresponde a *Muito Perto* para valores de Z de até 110 centímetros, *Perto* quando Z estiver entre 110 e 180 centímetros, e *Longe* para valores a partir de 180 centímetros, conforme a tabela 9. Em relação à altura, foram definidos os intervalos de *Alto* quando Y for maior que 180 centímetros, *Baixo* para Y entre 0 e 180 centímetros, *Abaixo* para valores de -180 à 0 , e *Profundo* para valores de Y menores de -180 centímetros, conforme a tabela 10, mais informações a respeito da altura estão descritas na seção 7.2.

As seções a seguir descrevem cada passo da abordagem de cada situação, de modo que o código implementado é bastante similar em todas as situações. Para a situação 1 os agentes artificiais são simulados, assim os valores das coordenadas dos blocos é dado, bem como o valor do ângulo de rotação (Θ) entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes. Para as situações 2 e 3, a localização do Agente Humano é pré-definida. Assim, o ângulo (Θ) é calculado através da informação de localização do Agente Robô 1 na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, que é enviada pelo Agente Humano ao Agente Robô 1. Deve-se ressaltar que a principal diferença no código implementado para resolver a situação 1 e o código para resolver as situações 2 e 3, corresponde à obtenção do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes. Enquanto na situação 1 o valor do ângulo é dado, nas situações 2 e 3 o valor do ângulo é calculado através da informação que o Agente Humano envia ao Agente Robô 1 a respeito da localização do Agente Robô 1 na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano.

Tabela 8 – Definição do intervalo angular dos 8 setores

Orientação (Setor)	Intervalo Angular
Frente (Front)	$337,5^\circ < \phi \leq 0^\circ$ e $0^\circ < \phi \leq 22,5^\circ$
DireitaFrente (RightFront)	$22,5^\circ < \phi \leq 67,5^\circ$
Direita (Right)	$67,5^\circ < \phi \leq 112,5^\circ$
DireitaAtrás (RightBack)	$112,5^\circ < \phi \leq 157,5^\circ$
Atrás (Back)	$157,5^\circ < \phi \leq 202,5^\circ$
EsquerdaAtrás (LeftBack)	$202,5^\circ < \phi \leq 247,5^\circ$
Esquerda (Left)	$247,5^\circ < \phi \leq 292,5^\circ$
EsquerdaAtrás (LeftFront)	$292,5^\circ < \phi \leq 337,5^\circ$

Fonte: Autor

Tabela 9 – Definição das distâncias na Ego-Esfera Qualitativa

Distância	Intervalo (Em centímetros)
Muito Perto (At)	$0 \leq Z \leq 110$
Perto (Near)	$110 < Z \leq 180$
Longe (Far)	$180 < Z$

Fonte: Autor

Tabela 10 – Definição matemática implementada para as definições de altura na Ego-Esfera Qualitativa

Altura	Intervalo (Em centímetros)
Alto	$180 < Y$
Baixo	$0 \leq Y \leq 180$
Abaixo	$-180 \leq Y < 0$
Profundo	$Y < -180$

Fonte: Autor

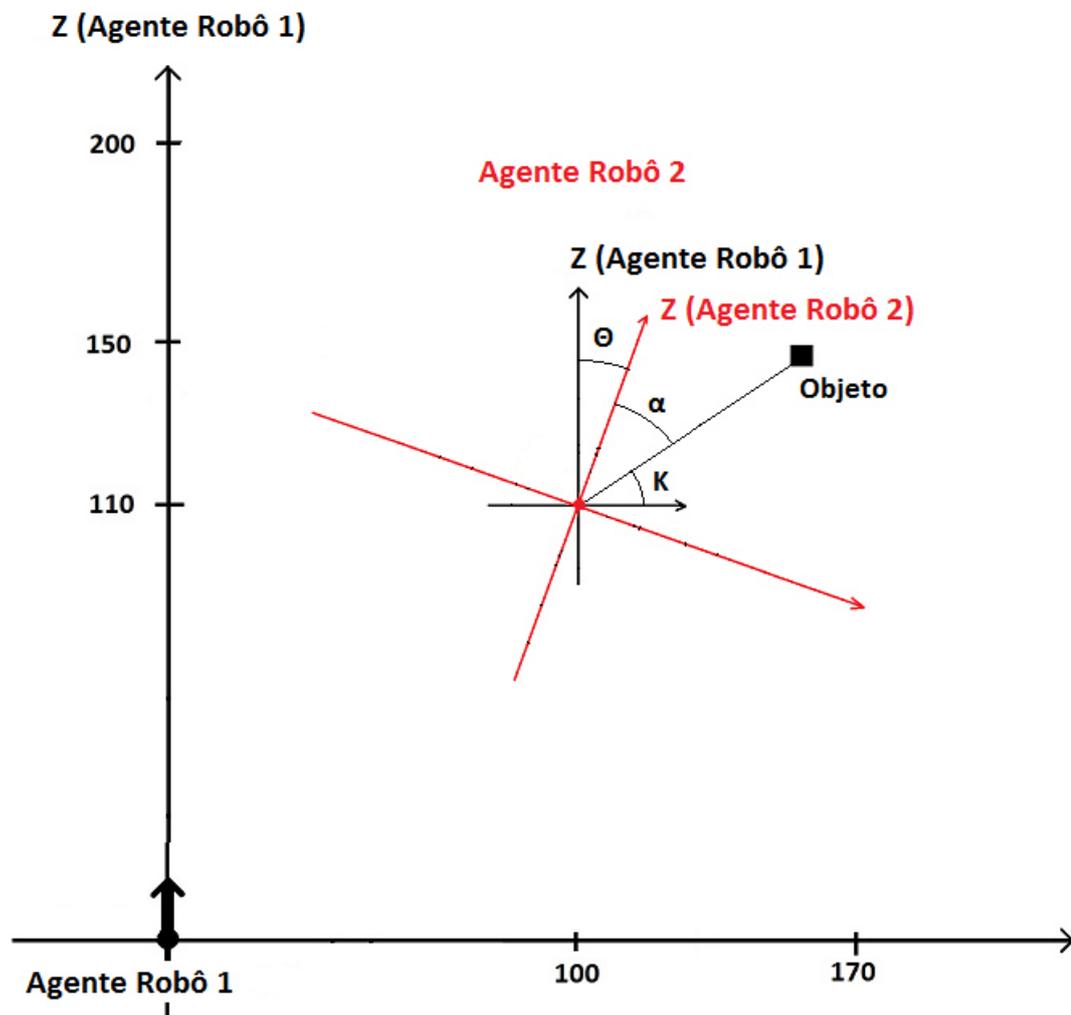
5.1 SITUAÇÃO 1: INTERAÇÃO ROBÔ-ROBÔ

Nesta situação procura-se avaliar se a projeção da Ego-Esfera Qualitativa entre dois agentes artificiais é consistente.

Na figura 19, pode-se observar que há um objeto ao redor do Agente Robô 2. O valor de Θ é dado e representa o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas entre o Agente Robô 1 e o Agente Robô 2. O ângulo K representa o coeficiente angular entre o objeto e o sistema de coordenadas do Agente Robô 1. Por fim o ângulo α representa o ângulo entre o objeto e o sistema de coordenadas do Agente Robô 2. Dessa forma, utilizando o ângulo α é possível identificar em qual região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 o objeto está localizado. Para calcular o valor de α , inicialmente o algoritmo 2 (descrito na seção 5.5.1) é utilizado para

calcular o valor de K , e recebe como entrada as coordenadas do objeto para o Agente Robô 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1, que é obtido através do algoritmo 1 (descrito na seção 5.5.1) que utiliza como entrada as coordenadas do objeto no sistema de coordenadas do Agente Robô 1 e as coordenadas do Agente Robô 2. Após calcular o valor de K , o algoritmo 4 (descrito na seção 5.5.3) é utilizado para calcular o valor de α , e recebe como entrada o valor de K , Θ , as coordenadas do objeto para o Agente Robô 1 e as coordenadas do objeto para o Agente Robô 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1.

Figura 19 – Cálculo da região de um objeto na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2



Fonte: Autor

Para o exemplo na figura 19, o valor do coeficiente angular (K) é calculado seguindo as linhas de comando no algoritmo 2 na seguinte ordem: 1, 3, 4, 5 e 18: Na linha 1 o algoritmo recebe o valor das coordenadas do objeto para o Agente Robô 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1; Na linha 3 é verificado qual o menor cateto; Na linha 4 é feito o cálculo do coeficiente angular; As linhas 5 e 18 correspondem aos retornos das funções. O valor de α é

calculado seguindo as linhas de comando no algoritmo 4 na seguinte ordem: 1, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22 e 23: Na linha 1 o algoritmo recebe os valores de K , Θ , a coordenada do Agente Robô 2, a coordenada do objeto para o Agente Robô 1, e a coordenada do objeto para o Agente Robô 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1; Na linha 3 é verificado em qual quadrante do Agente 1 o ângulo de rotação (Θ) faz parte; Na linha 4, é verificado em qual quadrante do Agente Robô 2 o objeto está localizado; Na linha 5 é verificado qual é o menor cateto; Na linha 14 é verificado se o valor de K é menor que $(90 - \Theta)$; Na linha 15 é calculado o valor de α ; As linhas 16, 21, 22 e 23 correspondem aos retornos das funções.

Os passos a seguir descrevem como o sistema implementado calcula o valor de α .

1. As coordenadas dos objetos e do Agente Robô 2 são entradas para o sistema.
2. Em seguida o valor do ângulo (Θ), correspondente à rotação entre o sistema de coordenadas dos dois agentes, é inserido no sistema.
3. Ao conhecer as coordenadas do Agente Robô 2 é possível traçar uma reta ligando-o com o objeto e assim calcular o coeficiente angular (K) da reta com o sistema de coordenadas do Agente Robô 1. O cálculo do coeficiente angular (K) é feito através da equação da tangente, e para que o valor do ângulo não seja superior a 360 graus, é feita uma validação, que compara o comprimento dos catetos, para utilizar o triângulo em que o cateto oposto for menor que o cateto adjacente (conforme algoritmo 2, descrito na seção 5.5.1).
4. Em seguida o valor do coeficiente angular (K) foi comparado com o valor do ângulo de rotação (Θ), e dependendo do quadrante que o objeto está localizado (em relação ao Agente Robô 1), o valor de (K) é somado ou subtraído ao valor de (Θ). Dessa forma é calculado o valor de α que corresponde ao ângulo entre o objeto e o Agente Robô 2 utilizando o sistema de coordenadas do Agente Robô 2, conforme algoritmo 4 descrito na seção 5.5.3.
5. Por fim utilizando o ângulo α , e por trigonometria, é possível obter os valores de X e Z em relação ao sistema de coordenadas do Agente Robô 2, e identificar em qual região da Ego-Esfera Qualitativa o objeto está localizado.

5.2 SITUAÇÃO 2: INTERAÇÃO ROBÔ-HUMANO I

Nesta situação procura-se avaliar o quanto o Agente Humano é capaz de compreender a localização de objetos segundo as definições da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1.

Também deve-se ressaltar que a posição do Agente Humano é pré-determinada no ambiente. Isso é feito por dois motivos: Primeiro é necessário que o ambiente de teste seja exatamente igual ao ambiente em que as informações do padrão ouro (descrito na seção 6.2) foram obtidas, e para analisar a resposta de vários Agentes Humanos a respeito da descrição do ambiente, é necessário que o ambiente seja igual para cada voluntário. Assim pode-se comparar as respostas dos Agentes Humanos com os resultados do padrão ouro. Em segundo lugar, não há uma definição a respeito da altura que deve-se posicionar a origem da Ego-Esfera Qualitativa em um Agente Humano, por exemplo, se a origem da Ego-Esfera Qualitativa deve ficar na altura do olhos ou na altura do chão, conforme seção 7.2. Dessa forma as coordenadas do Agente Humano, que correspondem à origem da Ego-Esfera Qualitativa para o Agente Humano, são dadas.

Nesta situação a principal diferença com relação à situação 1, é o cálculo do ângulo Θ . Por exemplo, se o Agente Humano informar que o Agente Robô 1 está localizado na região *DireitaAtrás* (da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano), e o Agente Robô 1 identificar que o Agente Humano está localizado na região *Frente* (da Ego-Esfera Qualitativa centrada no Agente Robô 1), o algoritmo 3 (descrito na seção 5.5.2) retornará que o valor de Θ é 45° .

O código implementado resolve a situação 2 em seis passos:

1. As coordenadas do Agente Humano são pré-definidas no sistema, enquanto que as coordenadas dos objetos em relação ao seu sistema de coordenadas são obtidas através do sistema de visão.
2. O Agente Humano informa em qual região de sua Ego-Esfera Qualitativa o Agente Robô 1 está localizado.
3. Com a informação de localização enviada pelo Agente Humano, e com as coordenadas do Agente Humano (obtidas no passo 1), o Agente Robô 1 é capaz de calcular um valor aproximado do ângulo de rotação (Θ), conforme algoritmo 3 descrito na seção 5.5.2.

Os passos 4, 5 e 6 são equivalentes aos passos 3, 4 e 5 da situação 1, respectivamente. Porém substituindo o Agente Robô 2, pelo Agente Humano.

5.3 SITUAÇÃO 3: INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ II

Nesta situação procura-se avaliar se a localização dos objetos na Ego-Esfera do Agente Humano coincide com a projeção feita pelo Agente Robô 1. Para esta situação, assim como

para a situação 2, a posição do Agente Humano é pré-determinada, conforme descrito na seção 5.2

O código implementado resolve a situação 3 em oito passos. Os seis primeiros passos são equivalentes à situação 2.

7. O Agente Humano informa ao Agente Robô 1 em qual região de sua Ego-Esfera Qualitativa está procurando por objetos e qual é a cor dos objetos que procura.
8. O Agente Robô 1 faz uma busca nos vetores que armazenam região e cor, e retorna a localização dos objetos que atendem às características solicitadas pelo Agente Humano.

5.4 SITUAÇÃO 4: INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ III

Nesta situação procura-se avaliar o quanto a projeção na Ego-Esfera do Agente Robô 1 feita pelo Agente Humano é equivalente à localização feita pelo próprio Agente Robô 1, de modo que a localização e orientação do Agente Humano é irrelevante.

O código implementado resolve a situação 4 em quatro passos:

1. O Agente Robô 1 obtém, através do sistema de visão, as coordenadas e a cor de cada objeto no ambiente e armazena cada um desses valores em um vetor específico.
2. O Agente Robô 1 calcula a região em que cada objeto está localizado em sua Ego-Esfera Qualitativa, de forma similar aos passos 3 e 4 da situação 1.
3. Equivalente ao passo 7 da situação 3, porém a região informada pelo Agente Humano é referente à Ego-Esfera Qualitativa centralizada no Agente Robô 1.
4. Equivalente ao passo 8 da situação 3.

5.5 ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Nesta seção são apresentados pseudocódigos para os algoritmos implementados para resolver as situações descritas acima.

5.5.1 Cálculo do coeficiente angular (K)

Para o cálculo do coeficiente angular foi desenvolvido o algoritmo 2, que recebe como entrada as coordenadas de um objeto para o Agente 2 utilizando o sistema de coordenadas do

Agente Robô 1. Para obter as coordenadas do objeto para o Agente 2 utilizando o sistema de coordenadas do Agente Robô 1, foi desenvolvido o algoritmo 1.

A tabela 11 apresenta as variáveis utilizadas nos algoritmos 1 e 2 e suas respectivas descrições

Tabela 11 – Tabela com as variáveis utilizadas nos Algoritmos 1 e 2

Variável	Descrição
CoordAg2	Coordenadas do Agente 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1.
CoordObjAg1	Coordenadas do objeto no sistema de coordenadas do Agente Robô 1.
CoordObjAg2SistAg1	Coordenada do objeto para o Agente 2 no sistema de coordenada do Agente Robô 1.
CoefficienteGraus	Coefficiente angular em graus, ângulo entre o objeto e Agente Robô 1.
CoefficienteRadianos	Coefficiente angular em radianos.
CoefficienteAngular	Variável auxiliar para o cálculo do CoefficienteRadianos.

Fonte: Autor

Algoritmo 1 – Método para calcular a coordenada do objeto para o Agente 2 usando o sistema de coordenadas do Agente Robô 1.

1 Entrada: $CoordAg2$, $CoordObjAg1$

2 Saída: $CoordObjAg2SistAg1$

3 $CoordObjAg2SistAg1.x = CoordObjAg1.x - CoordAg2.x;$
 $CoordObjAg2SistAg1.z = CoordObjAg1.z - CoordAg2.z;$

4 retorna $CoordObjAg2SistAg1$

Algoritmo 2 – Função utilizada para calcular o valor do coeficiente angular (K) entre o objeto e o Agente 2.

```

1 Entrada: CoordObjAg2SistAg1
2 Saída: CoefficienteGraus
3 se ( $|CoordObjAg2SistAg1.z| < |CoordObjAg2SistAg1.x|$  e
    $CoordObjAg2SistAg1.z \neq 0$ ) então
4   |  $CoefficienteAngular = CoordObjAg2SistAg1.z / CoordObjAg2SistAg1.x$ ;
   |  $CoefficienteRadianos = atan(CoefficienteAngular)$ ;
   |  $CoefficienteGraus = CoeficienteRadianos * 180 / PI$ ;
5 fim
6 senão se ( $|CoordObjAg2SistAg1.z| > |CoordObjAg2SistAg1.x|$ ) então
7   |  $CoefficienteAngular =$ 
   |  $(CoordObjAg2SistAg1.x / CoordObjAg2SistAg1.z)$ ;
   |  $CoefficienteRadianos = atan(CoefficienteAngular)$ ;
   |  $CoefficienteGraus = CoeficienteRadianos * 180 / PI$ ;
8 fim
9 senão se ( $|CoordObjAg2SistAg1.z| == |CoordObjAg2SistAg1.x|$ ) então
10  |  $CoefficienteGraus = 45.0$ ;
11 fim
12 senão se ( $CoordObjAg2SistAg1.z == 0$ ) então
13  |  $CoefficienteGraus = 90.0$ ;
14 fim
15 senão se ( $CoordObjAg2SistAg1.x == 0$ ) então
16  |  $CoefficienteGraus = 0.0$ ;
17 fim
18 retorna CoefficienteGraus

```

5.5.2 Cálculo do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas (Θ)

Nas situações em que o Agente 2 é humano (situações 2 e 3) o cálculo do ângulo Θ é feito utilizando o algoritmo 3. O algoritmo 3 utiliza as variáveis *regiaoHumanoRobo*, *regiaoRoboHumano* e Θ . A variável *regiaoHumanoRobo* representa a região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1 em que o Agente Humano está localizado. A variável *regiaoRoboHumano* representa a região da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano em que o Agente Robô 1 está localizado. Enquanto que a variável Θ representa o retorno da função com o valor do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas dos agentes. Deve-se ressaltar que o valor angular no centro da região *Frente* é 0° , assim se o valor da variável *regiaoHumanoRobo* for *DireitaFrente* cujo valor do ângulo no centro da região é 45° os valores da variável *regiaoHumanoRobo* deverão ser somados a 45° . A tabela 12 contém os valores do ângulo para o centro de cada região (setor).

Tabela 12 – Valor do ângulo no centro de cada um dos oito setores

Orientação (Setor)	Ângulo no centro do setor
Frente (Front)	$\phi = 0^\circ$
DireitaFrente (RightFront)	$\phi = 45^\circ$
Direita (Right)	$\phi = 90^\circ$
DireitaAtrás (RightBack)	$\phi = 135^\circ$
Atrás (Back)	$\phi = 180^\circ$
EsquerdaAtrás (LeftBack)	$\phi = 225^\circ$
Esquerda (Left)	$\phi = 270^\circ$
EsquerdaAtrás (LeftFront)	$\phi = 315^\circ$

Fonte: Autor

Algoritmo 3 – Função utilizada para calcular o valor do ângulo Θ que representa a rotação entre os sistemas de coordenadas do Agente Robô 1 e do Agente Humano.

```

1 Entrada: regiaoRoboHumano, regiaoHumanoRobo
2 Saída:  $\Theta$ 
3 se (regiaoHumanoRobo == "Frente") então
4   se (regiaoRoboHumano == "Frente") então
5      $\Theta = 180$ ;
6   fim
7   senão se (regiaoRoboHumano == "DireitaFrente") então
8      $\Theta = 135$ ;
9   fim
10  senão se (regiaoRoboHumano == "Direita") então
11     $\Theta = 90$ ;
12  fim
13  senão se (regiaoRoboHumano == "DireitaAtrás") então
14     $\Theta = 45$ ;
15  fim
16  senão se (regiaoRoboHumano == "Atrás") então
17     $\Theta = 0$ ;
18  fim
19  senão se (regiaoRoboHumano == "EsquerdaAtrás") então
20     $\Theta = 315$ ;
21  fim
22  senão se (regiaoRoboHumano == "Esquerda") então
23     $\Theta = 270$ ;
24  fim
25  senão se (regiaoRoboHumano == "EsquerdaFrente") então
26     $\Theta = 225$ ;
27  fim
28 fim
29 retorna  $\Theta$ 

```

5.5.3 Cálculo do ângulo (α) entre o objeto e o Agente 2

Para o cálculo do ângulo entre um objeto e o Agente 2 foi desenvolvido o algoritmo 4, que recebe como entrada o coeficiente angular (K), o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes Θ , as coordenadas do Agente 2 ($CoordAg2$), as coordenadas do objeto em relação ao sistema de coordenadas do Agente Robô 1 ($CoordObjAg1$), e as coordenadas do objeto para o Agente 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1 ($CoordObjAg2SistAg1$). A tabela 13 apresenta uma descrição das variáveis utilizadas no algoritmo 4. O pseudocódigo referente ao algoritmo 4 exibe apenas o trecho do código para valores de Θ entre 0° e 90° e para objetos localizados no primeiro quadrante do Agente Robô 1.

Tabela 13 – Tabela com as variáveis utilizadas no Algoritmo 4

Variável	Descrição
K	Coefficiente angular da reta entre o objeto e o Agente Robô 1.
CoordAg2	Coordenadas do Agente 2 no sistema de coordenadas do Agente Robô 1.
CoordObjAg1	Coordenadas do objeto no sistema de coordenadas do Agente Robô 1.
CoordObjAg2SistAg1	Coordenada do objeto para o Agente 2 no sistema de coordenada do Agente Robô 1.
Θ	Ângulo de rotação entre o Agente Robô 1 e o Agente 2.
α	Ângulo entre o objeto e o Agente 2.

Fonte: Autor

Algoritmo 4 – Função utilizada para calcular o valor do ângulo (α) entre o objeto e o Agente

2.

```

1 Entrada:  $K$ ,  $\Theta$ ,  $CoordAg2$ ,  $CoordObjAg1$  e  $CoordObjAg2SistAg1$ 
2 Saída:  $\alpha$ 
3 se ( $(\Theta \geq 0)$  e  $(\Theta \leq 90)$ ) então
4   se ( $CoordObjAg1.x > CoordAg2.x$ ) e  $(CoordObjAg1.z > CoordAg2.z)$ 
5     então
6       se ( $|CoordObjAg2SistAg1.z| \geq |CoordObjAg2SistAg1.x|$ ) então
7         se ( $K < \Theta$ ) então
8            $\alpha = ((\Theta - K) * (-1)) + 360;$ 
9         fim
10        senão
11           $\alpha = K - \Theta;$ 
12        fim
13      fim
14      senão
15        se ( $K < 90 - \Theta$ ) então
16           $\alpha = (90 - \Theta) - K;$ 
17        fim
18        senão
19           $\alpha = (K - (90 - \Theta)) * (-1) + 360;$ 
20        fim
21      fim
22 fim
23 retorna  $\alpha$ 

```

6 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os experimentos reportados nesta dissertação consistem em inicialmente testar o código implementado, que está descrito no capítulo 5, e tratar das quatro situações apresentadas no capítulo 4. O objetivo do teste com dados simulados é verificar se o código calcula o ângulo entre objeto e agente assim como as coordenadas X , Y e Z , e se associa corretamente esses valores a uma região da Ego-Esfera Qualitativa. A descrição dos testes simulados para as quatro situações está descrito na seção 6.1.

Após os testes com dados simulados foi montado um ambiente de testes, seis blocos coloridos foram dispostos no ambiente para o sistema classificar a posição destes objetos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1, e também nas regiões da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano posicionado no ambiente (conforme descrito na seção 4.1). Com essas informações, foram criadas as tabelas denominadas padrão ouro e sistema de visão (descritos na seção 6.2). Em seguida, o experimento consiste em perguntar para voluntários a posição dos blocos dispostos na sala de modo a avaliar quanto a Ego-Esfera Qualitativa coincide com a descrição humana quanto à localização dos blocos, com essas informações foram criadas as tabelas *Teste Humanos*, os detalhes deste procedimento estão descritos na seção 6.3.

6.1 TESTE COM DADOS SIMULADOS

Para analisar o sistema implementado para resolver as quatro situações descritas no capítulo 4, inicialmente foi realizado um teste somente com dados simulados de modo a verificar o funcionamento do sistema e a correta classificação dos objetos em regiões da Ego-Esfera Qualitativa. Dessa forma o código foi adaptado para que toda a informação que deveria ser fornecida pelo sistema de visão fosse inserida manualmente pelo usuário.

O teste foi feito utilizando uma representação gráfica em escala de modo que a orientação e localização dos agentes e objetos estavam devidamente representadas em escala. Assim foi possível medir manualmente o valor das coordenadas X e Z e do ângulo entre objeto e agente para comparar com os valores retornados pelo sistema implementado a fim de identificar se o cálculo estava correto. Nesses testes preliminares foi considerado que ambos os agentes estavam na mesma altura.

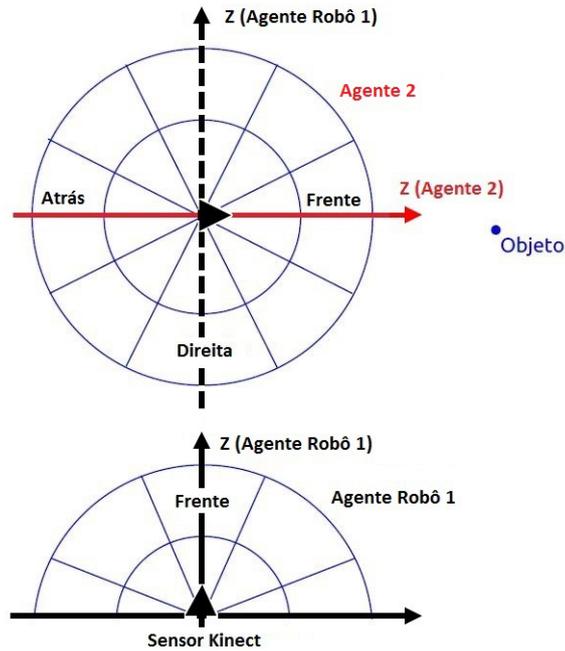
A partir do experimento com dados simulados verificamos que todos os valores obtidos estavam dentro de uma margem de erro inferior a cinco centímetros para os valores das coor-

denadas X e Z , e para o valor do ângulo inferior a 2° para cada situação. Como cada lado dos blocos possui cinco centímetros de largura, e cada região da Ego-Esfera Qualitativa tem um intervalo angular de 45° , essa margem de erro foi considerada aceitável.

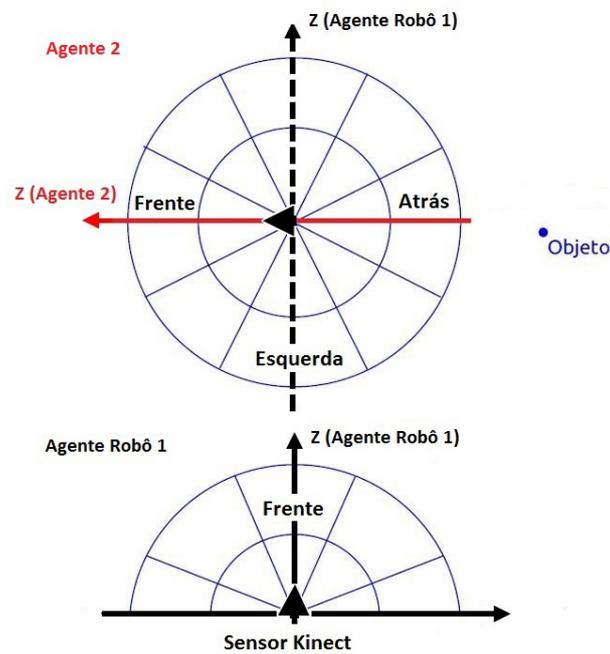
A partir do teste com dados simulados, foi possível estabelecer que o cálculo da margem de erro deve levar em consideração a precisão da informação enviada pelo Agente Humano ao Agente Robô 1. Para as situações que envolvem humanos, o Agente Humano deve informar em qual região de sua Ego-Esfera Qualitativa o Agente Robô 1 está localizado. Assim, sempre será considerado que o Agente Robô 1 está no centro da região informada pelo Agente Humano. Como cada região possui 45° , caso o Agente Robô 1 esteja próximo à fronteira da região será observado um erro de aproximadamente $22,5^\circ$. Dessa forma para as situações que envolvem Agentes Humanos foi considerado aceitável uma margem de erro no ângulo do objeto em relação ao agente de até $22,5^\circ$.

Deve-se ressaltar que, para que o Agente Robô 1 calcule a posição de um objeto na Ego-Esfera Qualitativa do Agente 2, é crucial que o Agente Robô 1 tenha conhecimento da orientação do Agente 2. Nas situações com Agentes Humanos o método utilizado para que o Agente Robô 1 identifique a orientação do Agente Humano é através da informação enviada pelo Agente Humano com a localização do Agente Robô 1 na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano. Dessa forma se a região informada pelo Agente Humano estiver errada, o cálculo estará proporcionalmente errado. Por exemplo, se o Agente Robô 1 estiver à *Direita* do Agente Humano (conforme figura 20a) mas informar que o Agente Robô 1 está na sua *Esquerda* (conforme figura 20b), um objeto que está na *Frente* do Agente Humano, será classificado na região *Atrás* do Agente Humano, conforme figura 20. Ou seja, se a informação da região em que o Agente Robô 1 está localizado na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, enviada pelo próprio Agente Humano não for precisa, o cálculo não será preciso.

Figura 20 – Classificação de um objeto a partir da informação enviada pelo Agente Humano



- (a) Se o Agente Humano informar que o Agente Robô 1 está à *Direita*, o sistema classificará o objeto na região *Frente* na Ego-Esfera do Agente Humano



- (b) Se o Agente Humano informar que o Agente Robô 1 está à *Esquerda*, o sistema classificará o objeto na região *Atrás* na Ego-Esfera do Agente Humano

Fonte: Autor

6.2 PADRÃO OURO E SISTEMA DE VISÃO

Nesta seção e nas seções subseqüentes o uso da expressão *região* refere-se à localização ao redor de um agente, ou seja, *Frente*, *DireitaFrente*, *Direita*, *DireitaAtrás*, *Atrás*, *EsquerdaAtrás*, *Esquerda* e *EsquerdaFrente*, e a expressão *distância* refere-se ao quão longe o objeto está do agente, ou seja, *Muito Perto*, *Perto* ou *Longe*.

Conforme descrito na seção 4.1, para os experimentos executados neste trabalho foi montado um ambiente com um Kinect (Agente Robô 1) posicionado em uma estrutura a 35 centímetros de altura e seis blocos cúbicos, coloridos, e com 5 centímetros de lado foram espalhados no campo de visão do Agente Robô 1, nas figuras 15 e 17 pode-se observar a disposição dos blocos no ambiente. A uma distância de 110 cm da origem da câmera está a fronteira entre *Muito Perto (At)* e *Perto (Near)*, a fronteira entre *Perto (Near)* e *Longe (Far)* está a 180 cm da origem.

Para formar o padrão ouro os valores das coordenadas *X*, *Y* e *Z* dos blocos foram medidos manualmente e inseridos no sistema implementado para obtenção da classificação em termos da EEQ.

A tabela 14 apresenta os resultados correspondentes ao padrão ouro para o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente 2 (ângulo de 270° , conforme as figuras 15 e 16), ou seja, a tabela 14 apresenta a saída do sistema com as posições qualitativas em termos da Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) do Agente 2.

Tabela 14 – Tabela com os resultados do padrão ouro para o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente 2

Bloco	Posição na EEQ do Agente 2
1 - Amarelo	EsquerdaFrente - Perto
2 - Verde	Esquerda - Muito Perto
3 - Vermelho	DireitaAtrás - Muito Perto
4 - Amarelo	Esquerda - Muito Perto
5 - Rosa	DireitaFrente - Muito Perto
6 - Verde	Esquerda - Muito Perto

Fonte: Autor

A tabela 15 apresenta os resultados correspondentes ao padrão ouro para o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente 2 (ângulo de 225° , conforme as figuras 17 e 18), ou seja, a tabela 15 apresenta a saída do sistema com as posições qualitativas em termos da EEQ do Agente 2.

A tabela 16 apresenta os resultados correspondentes ao padrão ouro na perspectiva do Agente Robô 1 (conforme as figuras 15a e 17a), ou seja, a tabela 16 apresenta a saída do sistema com as posições qualitativas em termos da EEQ do Agente Robô 1.

Tabela 15 – Tabela com os resultados do padrão ouro para Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente 2

Bloco	Posição na EEQ do Agente 2
1 - Amarelo	Frente - Muito Perto
2 - Verde	EsquerdaFrente - Muito Perto
3 - Vermelho	Atrás - Muito Perto
4 - Amarelo	EsquerdaFrente - Muito Perto
5 - Rosa	Direita - Muito Perto
6 - Verde	EsquerdaFrente - Muito Perto

Fonte: Autor

Tabela 16 – Tabela com os resultados do padrão ouro para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1

Bloco	Posição na EEQ do Agente Robô 1
1 - Amarelo	Frente - Perto
2 - Verde	Frente - Muito Perto
3 - Vermelho	Frente - Longe
4 - Amarelo	Frente - Perto
5 - Rosa	Frente - Longe
6 - Verde	Frente - Perto

Fonte: Autor

6.2.1 Avaliação do sistema de visão

A partir do sistema de visão foi possível obter as coordenadas X , Y e Z dos objetos que estavam dispostos no ambiente conforme as figuras 15 e 17. As coordenadas obtidas pelo sistema de visão correspondem à entrada do sistema implementado, e assim foi obtida a localização qualitativa de cada bloco ao redor do agente conforme as definições da Ego-Esfera Qualitativa (EEQ), o resultado para cada bloco pode ser observado nas tabelas 17, 18 e 19. A tabela 17 corresponde à classificação dos blocos em relação à EEQ do Agente 2, de modo que o Agente Robô 1 está localizado à *Esquerda* na EEQ do Agente 2, conforme a figura 15. A tabela 18 corresponde à classificação dos blocos em relação a EEQ do Agente 2, de modo que o Agente Robô 1 está localizado à *EsquerdaFrente* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente 2, conforme a figura 17. Enquanto que a tabela 19 corresponde a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1, a perspectiva do ambiente para o Agente Robô 1 pode ser observada nas figuras 15a e 17a.

Enquanto o padrão ouro é considerado 100% correto por não ter ruído na obtenção dos valores das coordenadas de cada objeto, o sistema de visão possui ruído na obtenção das coordenadas dos blocos. Assim, foram observadas algumas diferenças nas regiões ao comparar as tabelas com os resultados, de região e distância, utilizando como entrada as coordenadas

Tabela 17 – Tabela com os resultados do sistema de visão com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente 2

Bloco	Posição na EEQ do Agente 2
1 - Amarelo	EsquerdaFrente - Muito Perto
2 - Verde	EsquerdaFrente - Muito Perto
3 - Vermelho	DireitaAtrás - Muito Perto
4 - Amarelo	Esquerda - Muito Perto
5 - Rosa	DireitaFrente - Muito Perto
6 - Verde	Esquerda - Muito Perto

Fonte: Autor

Tabela 18 – Tabela com os resultados do sistema de visão com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente 2

Bloco	Posição na EEQ do Agente 2
1 - Amarelo	Frente - Muito Perto
2 - Verde	Frente - Muito Perto
3 - Vermelho	Atrás - Perto
4 - Amarelo	EsquerdaFrente - Muito Perto
5 - Rosa	Direita - Muito Perto
6 - Verde	EsquerdaFrente - Muito Perto

Fonte: Autor

Tabela 19 – Tabela com os resultados do sistema de visão para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1

Bloco	Posição na EEQ do Agente Robô 1
1 - Amarelo	Frente - Perto
2 - Verde	Frente - Perto
3 - Vermelho	Frente - Longe
4 - Amarelo	Frente - Perto
5 - Rosa	Frente - Longe
6 - Verde	Frente - Perto

Fonte: Autor

correspondentes ao padrão ouro e as tabelas com os resultados, de região e distância, utilizando como entrada as coordenadas obtidas pelo sistema de visão.

Observou-se que para o *bloco 2 - Verde*, que está próximo às fronteiras de região e distância, houve divergência na classificação. Na perspectiva do Agente Robô 1, utilizando as coordenadas obtidas pelo sistema de visão, o sistema implementado classificou este bloco em *Perto* (tabela 19) enquanto que para o padrão ouro a classificação é *Muito Perto* (tabela 16). Para a classificação em regiões na Ego-Esfera Qualitativa do Agente 2, com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente 2 (figura 15), utilizando as coordenadas obtidas pelo sistema de visão, o sistema implementado classificou o *bloco 2 - Verde* em *EsquerdaFrente* (tabela 17) enquanto que para o padrão ouro a classificação é *Esquerda* (tabela 14). Com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente 2 (figura 17), utilizando as coordenadas obtidas pelo sistema

de visão, o sistema implementado classificou o bloco como *Frente* (tabela 18) enquanto que para o padrão ouro a classificação é *EsquerdaFrente* (tabela 15). Também foi observado que para o *bloco 3 - Vermelho*, que está a três centímetros da fronteira entre *Muito Perto* e *Perto*, na Ego-Esfera do Agente 2, e com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente 2 (figura 17), o padrão ouro classificou o bloco em *Muito Perto* (tabela 15) enquanto que utilizando as coordenadas obtidas pelo sistema de visão, o sistema implementado classificou o bloco em *Perto* (tabela 18). No total foi observado que o sistema de visão apresentou erro em 22.22% dos resultados, contudo deve-se ressaltar que os erros observados correspondem apenas aos blocos próximos às regiões de fronteira, e cuja distância para a fronteira é inferior a cinco centímetros. Desse modo, conforme descrito na seção 6.1, como cada lado dos blocos têm cinco centímetros de comprimento, a margem de erro inferior a cinco centímetros foi considerada aceitável.

6.3 TESTE COM HUMANOS

Este teste consiste em fazer as perguntas descritas na seção 4.1 para voluntários a respeito da localização de alguns dos blocos dispostos conforme as figuras 15 e 17. Para avaliar o quanto um humano consegue descrever a localização dos blocos conforme as definições da Ego-Esfera Qualitativa, foram feitas perguntas referentes à localização de quatro blocos específicos, porém sob diferentes orientações e perspectivas do Agente Humano. Assim, inicialmente, as perguntas foram feitas referentes à perspectiva do Agente Humano em um ângulo de aproximadamente 270° do Agente Robô 1, ou seja, o Agente Robô 1 ficou à *Esquerda* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, conforme a figura 15. Em seguida as mesmas perguntas foram feitas mas levando em consideração a perspectiva do Agente Robô 1. Por fim as mesmas perguntas foram feitas referentes à perspectiva do Agente Humano, porém com o Agente Humano em um ângulo de aproximadamente 225° do agente Agente Robô 1, ou seja, o Agente Robô 1 ficou à *EsquerdaFrente* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano conforme figura 17. As linhas brancas, que podem ser observadas nas figuras 15 e 17, representam o campo de visão do Agente Robô 1, e não estavam disponíveis durante o experimento a fim de evitar qualquer possível interferência nas respostas dos voluntários.

Os voluntários foram informados das oito regiões possíveis (*Frente*, *DireitaFrente*, *Direita*, *DireitaAtrás*, *Atrás*, *EsquerdaAtrás*, *Esquerda* e *EsquerdaFrente*) e das três classificações de distância (*Muito Perto*, *Perto* e *Longe*) e que deveriam classificar os objetos em uma região e distância de acordo com a sua própria descrição do espaço. Isto é, os Agentes Humanos receberam o léxico, mas não as definições dos termos, que ficaram dependentes do bom senso de

cada um. Dessa forma as respostas dos Agentes Humanos foram restritas as possíveis regiões definidas na Ego-Esfera Qualitativa, contudo as definições de cada região não foram fornecidas a fim de avaliar se a descrição do espaço para os Agentes Humanos é coerente com as regiões definidas na Ego-Esfera Qualitativa. Em seguida foram feitas as 17 perguntas descritas na seção 4.1. Após fazer as perguntas com 31 voluntários (Agentes Humanos) foi possível montar várias tabelas onde são apresentadas as respostas mais comuns para região e distância, conforme descrito na seção 6.4.2.

6.4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos nos testes para as situações 1, 2, 3 e 4. Conforme descrito na seção 4.1 o Agente Robô 1 corresponde ao Kinect no centro do ambiente de teste. Deve-se ressaltar que na situação 1 o Agente 2 representa um agente robótico simulado, e dessa forma será denotado Agente Robô 2. Nas situações 2, 3 e 4 o Agente 2 representa um humano, e dessa forma será denotado Agente Humano. Somente será usado o termo Agente 2 quando for irrelevante se o agente é humano ou robótico.

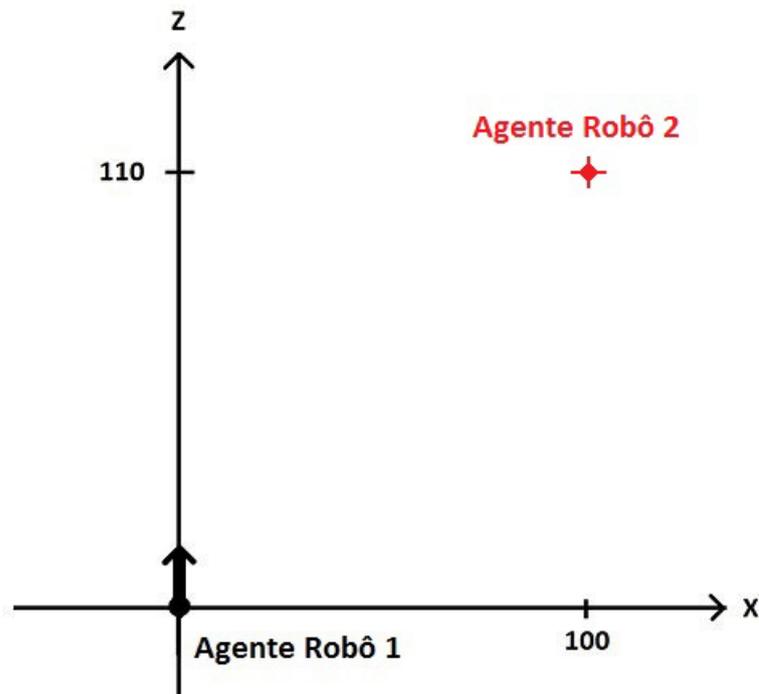
6.4.1 Situação 1

Esta situação corresponde a um ambiente com dois agente robóticos, os testes realizados para esta situação foram feitos de forma simulada, assim ao invés de utilizar dois agentes robóticos e montar um ambiente para que os agentes identificassem a posição dos objetos e os classificassem em relação ao outro agente, foi criado um ambiente simulado que permite mais possibilidades de dispor os agentes e os blocos ao redor dos agentes no ambiente.

Conforme a figura 21 o Agente Robô 2 foi inserido na posição $P(x,z) = (100, 110)$. Foram feitas oito simulações. Em cada simulação a orientação do Agente Robô 2 em relação ao Agente Robô 1 foi alterada, assim em cada simulação o Agente Robô 1 estava localizado em uma região diferente da Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2.

As figuras 22, 24, 26 e 28 referem-se à simulação com o Agente Robô 2 rotacionado 20° , 110° , 200° e 290° respectivamente, em relação ao sistema de coordenadas do Agente Robô1. As tabelas 20a, 22a, 24a e 26a apresentam a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 na descrição do próprio Agente Robô 2. As tabelas 20b, 22b, 24b e 26b apresentam a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 de acordo com a descrição do Agente Robô 1.

Figura 21 – Ambiente em escala com a localização relativa dos dois agentes

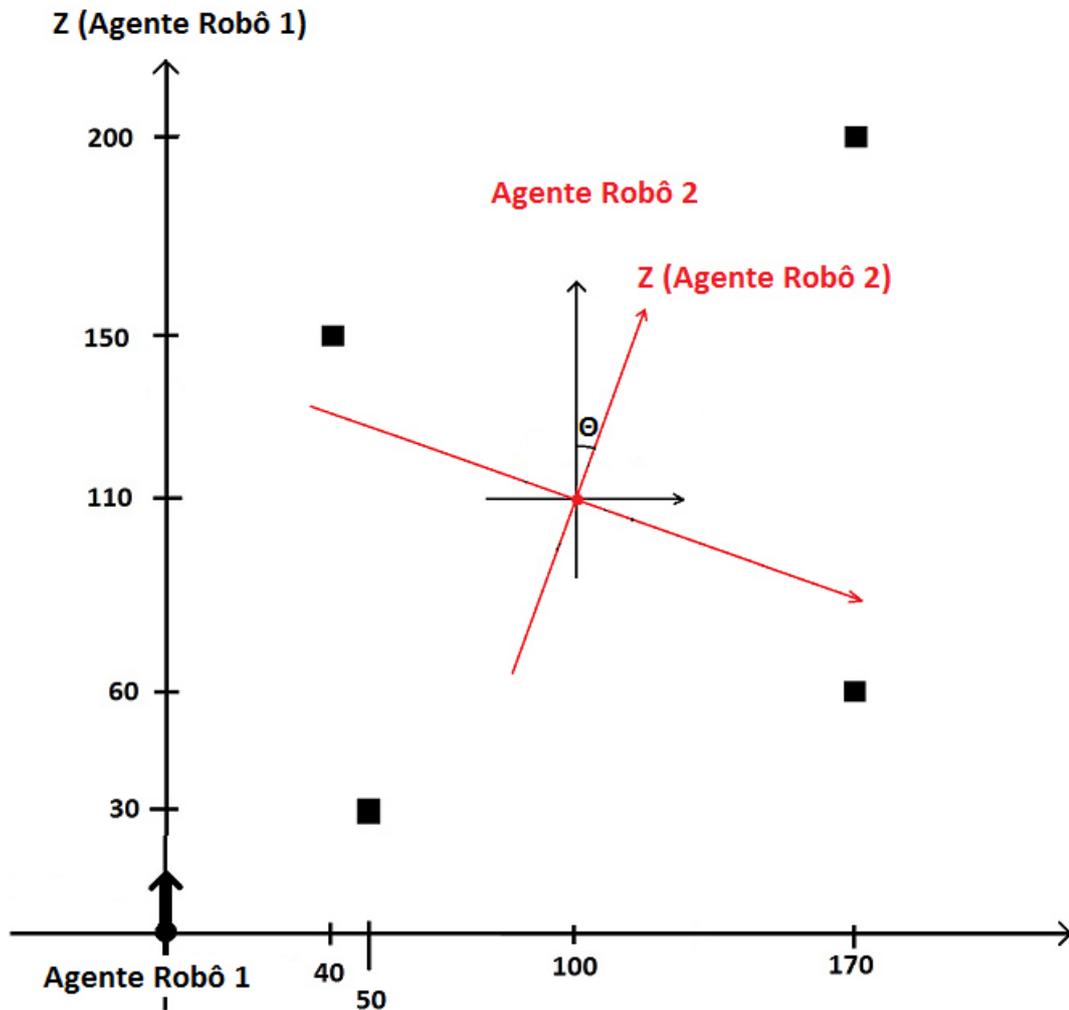


Fonte: Autor

As figuras 23, 25, 27 e 29 referem-se à simulação com o Agente Robô 2 rotacionado 60° , 150° , 240° e 330° respectivamente, em relação ao sistema de coordenadas do Agente Robô 1. As tabelas 21a, 23a, 25a e 27a apresentam a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 na descrição do próprio Agente Robô 2. As tabelas 21b, 23b, 25b e 27b apresentam a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2 de acordo com a descrição do Agente Robô 2. Nota-se que as classificações são idênticas.

No total foram realizadas 64 simulações, de modo a variar a orientação do Agente Robô 2 em relação ao Agente Robô 1. Com as simulações realizadas foi possível observar que a classificação dos blocos pelo Agente Robô 1 na Ego-Esfera Qualitativa do agente foi coerente com a classificação feita pelo Agente Robô 2 dos mesmos blocos em sua Ego-Esfera Qualitativa.

Figura 22 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 20°



Fonte: Autor

Tabela 20 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 20° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(-71, 16)	Esquerda - Muito Perto
(34, 108)	Frente - Muito Perto
(80, -22)	Direita - Muito Perto
(-18, -94)	Atrás - Muito Perto

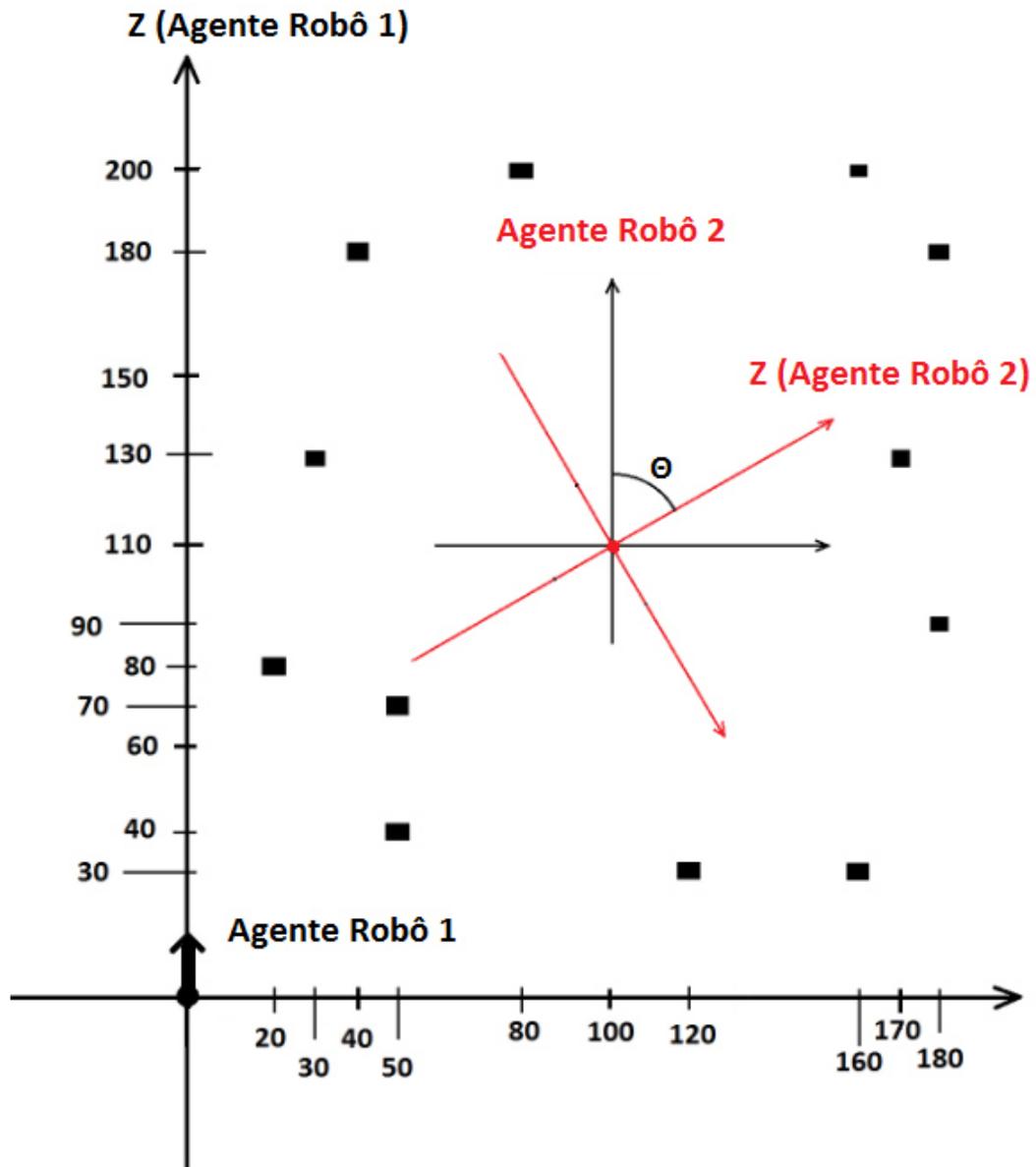
(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(40, 150)	Esquerda - Muito Perto
(170, 200)	Frente - Muito Perto
(170, 60)	Direita - Muito Perto
(50, 30)	Atrás - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

Fonte: Autor

Figura 23 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 60°



Fonte: Autor

Tabela 21 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 60° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(-46, 94)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(20, 72)	Frente - Muito Perto
(36, -79)	DireitaAtrás - Muito Perto
(-12, -86)	Atrás - Muito Perto
(-51, -49)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(-90, -15)	Esquerda - Muito Perto
(-85, 30)	Esquerda - Muito Perto
(10, -63)	Atrás - Muito Perto
(-18, 105)	Frente - Muito Perto
(57, 59)	DireitaFrente - Muito Perto
(100, 10)	Direita - Muito Perto
(80, -20)	Direita - Muito Perto

(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(160, 200)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(170, 130)	Frente - Muito Perto
(50, 40)	DireitaAtrás - Muito Perto
(20, 80)	Atrás - Muito Perto
(30, 130)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(40, 180)	Esquerda - Muito Perto
(80, 200)	Esquerda - Muito Perto
(50, 70)	Atrás - Muito Perto
(180, 180)	Frente - Muito Perto
(180, 90)	DireitaFrente - Muito Perto
(160, 30)	Direita - Muito Perto
(120, 30)	Direita - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

Fonte: Autor

Tabela 22 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 110° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(-16, -71)	Atrás - Muito Perto
(-108, 34)	Esquerda - Muito Perto
(22, 80)	Frente - Muito Perto
(94, -18)	Direita - Muito Perto

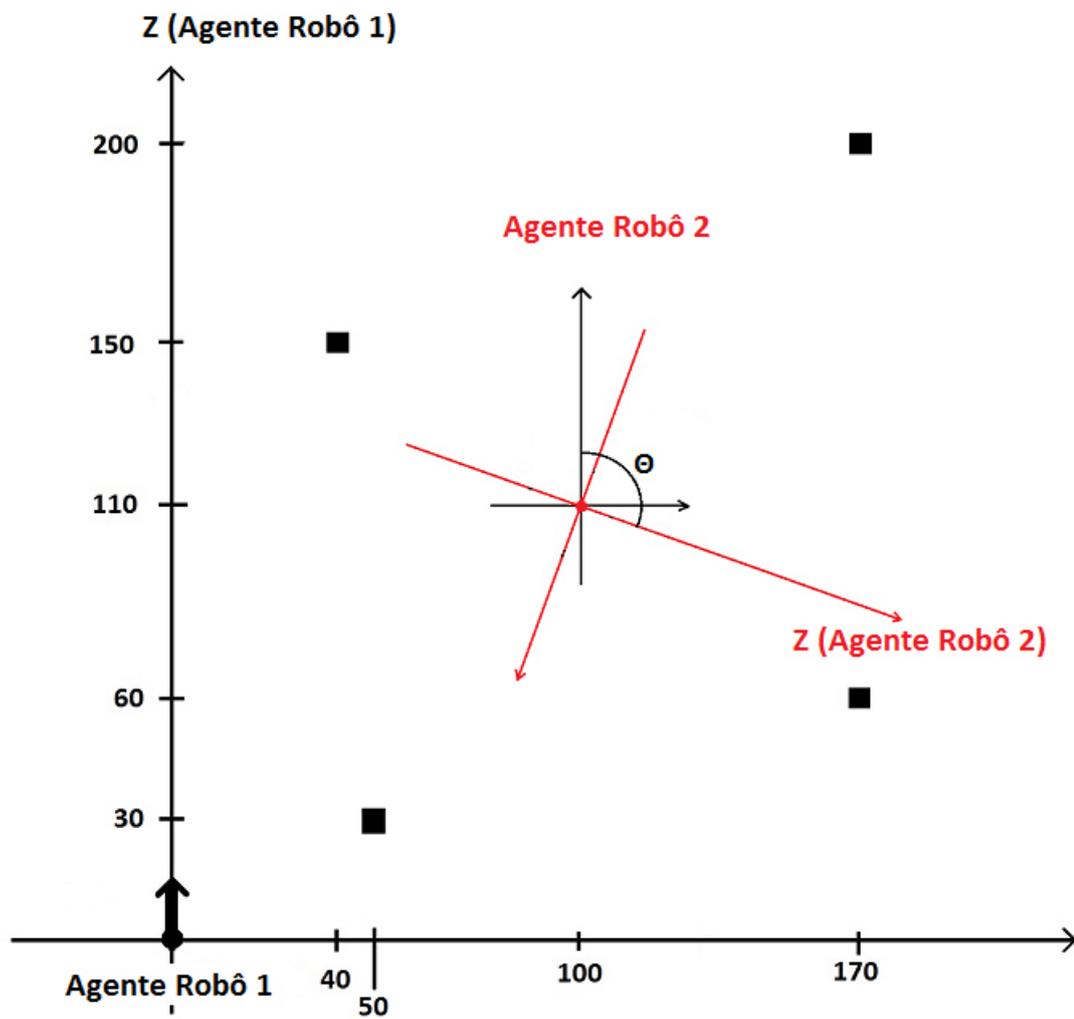
(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(40, 150)	Atrás - Muito Perto
(170, 200)	Esquerda - Muito Perto
(170, 60)	Frente - Muito Perto
(50, 30)	Direita - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

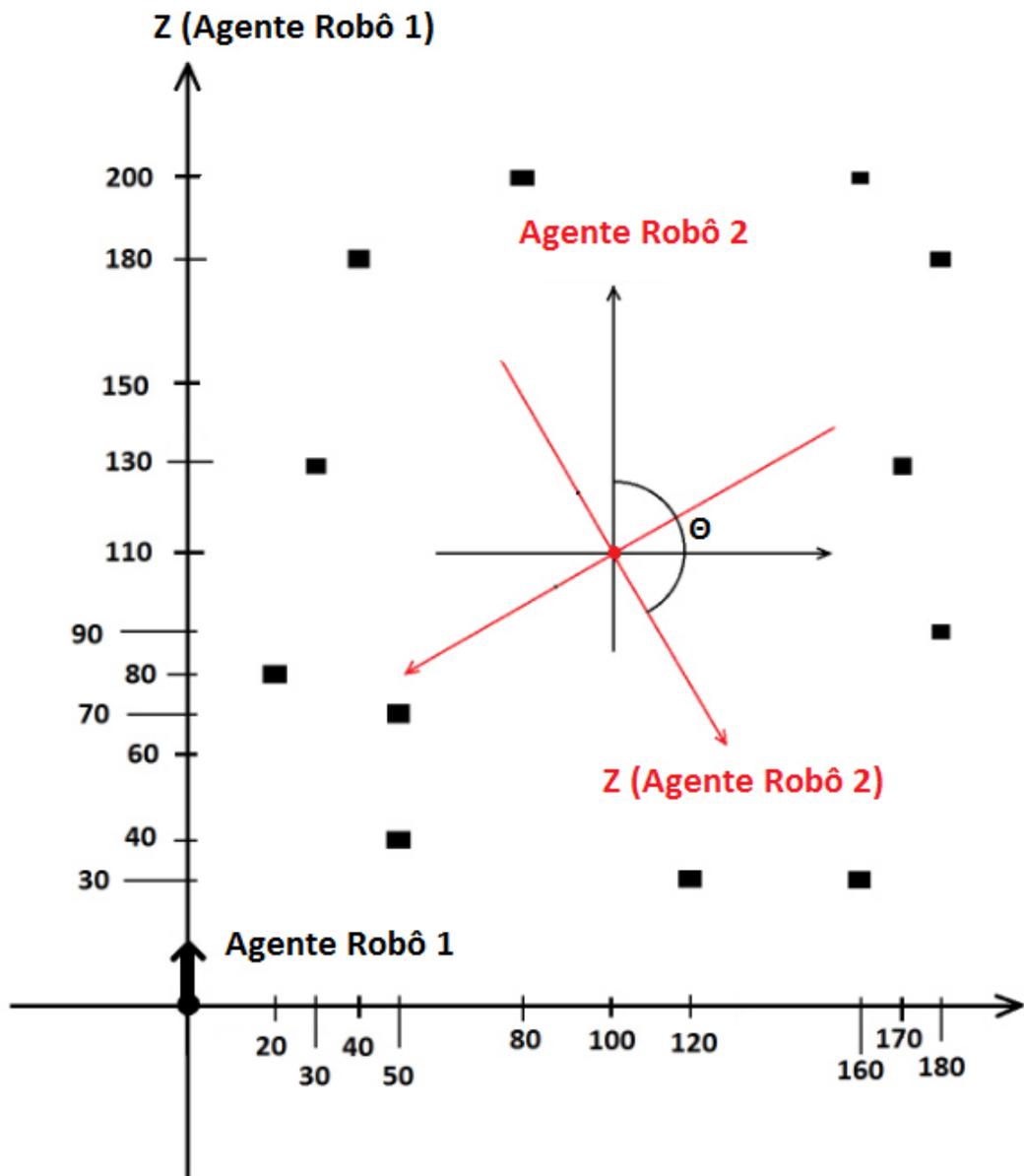
Fonte: Autor

Figura 24 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 110°



Fonte: Autor.

Figura 25 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 150°



Fonte: Autor

Tabela 23 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 150° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(-94, -46)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(-72, 20)	Esquerda - Muito Perto
(79, 36)	DireitaFrente - Muito Perto
(83, -12)	Direita - Muito Perto
(49, -51)	DireitaAtrás - Muito Perto
(15, -90)	Atrás - Muito Perto
(-30, -85)	Atrás - Muito Perto
(63, 10)	Direita - Muito Perto
(-105, -18)	Esquerda - Muito Perto
(-59, 57)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(-10, 100)	Frente - Muito Perto
(20, 80)	Frente - Muito Perto

(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(160, 200)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(170, 130)	Esquerda - Muito Perto
(50, 40)	DireitaFrente - Muito Perto
(20, 80)	Direita - Muito Perto
(30, 130)	DireitaAtrás - Muito Perto
(40, 180)	Atrás - Muito Perto
(80, 200)	Atrás - Muito Perto
(50, 70)	Direita - Muito Perto
(180, 180)	Esquerda - Muito Perto
(180, 90)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(160, 30)	Frente - Muito Perto
(120, 30)	Frente - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

Fonte: Autor

Tabela 24 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 200° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(71, -16)	Direita - Muito Perto
(-34, -108)	Atrás - Muito Perto
(-80, 22)	Esquerda - Muito Perto
(18, 94)	Frente - Muito Perto

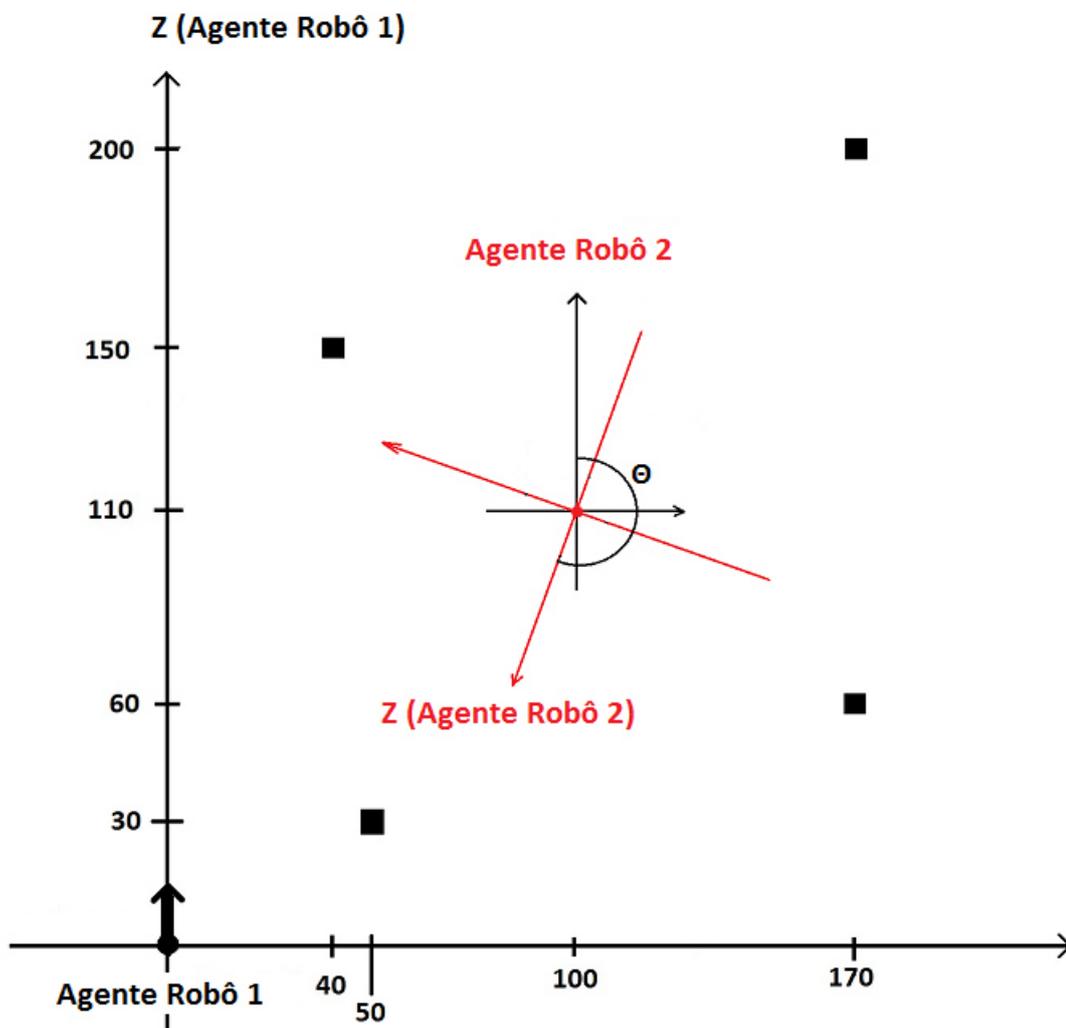
(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(40, 150)	Direita - Muito Perto
(170, 200)	Atrás - Muito Perto
(170, 60)	Esquerda - Muito Perto
(50, 30)	Frente - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

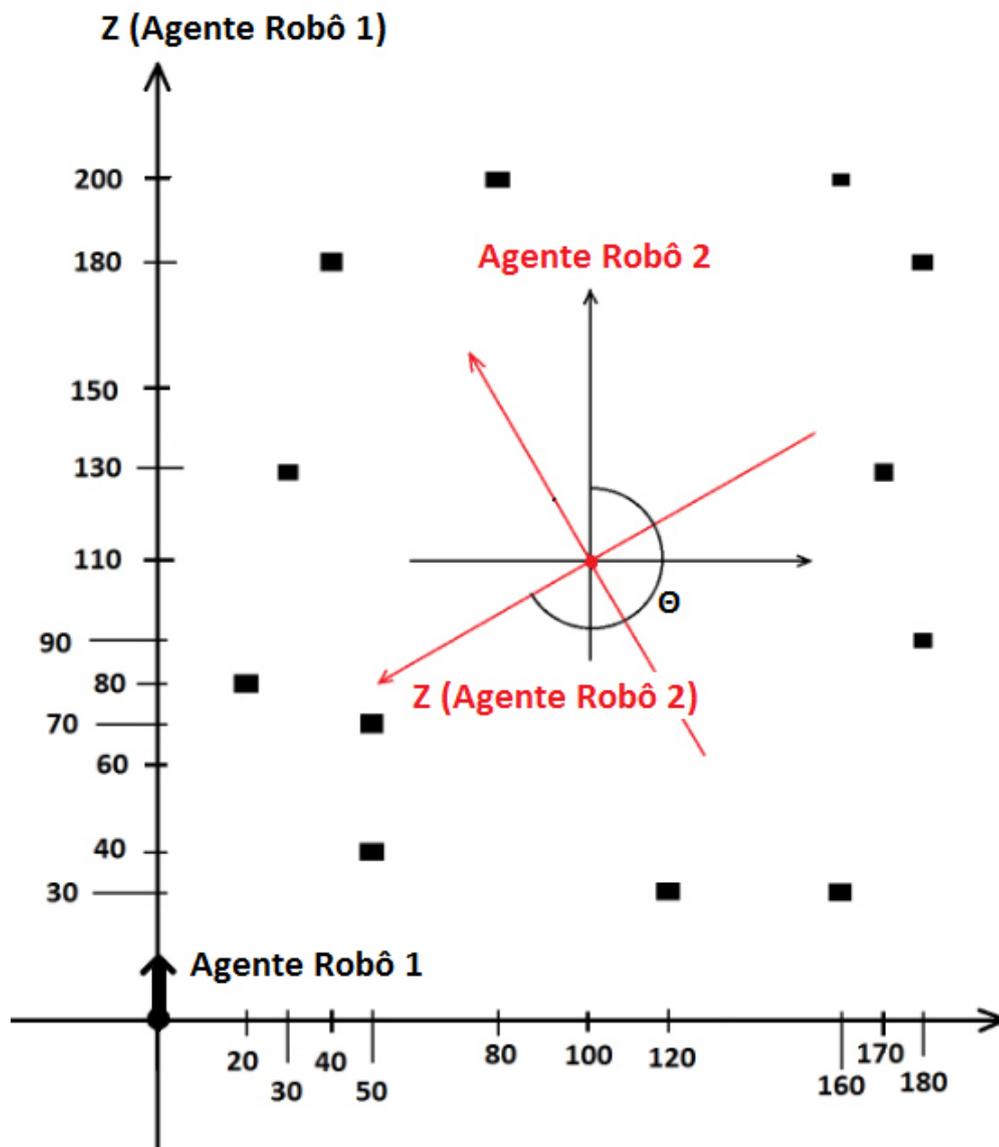
Fonte: Autor

Figura 26 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 200°



Fonte: Autor

Figura 27 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 240°



Fonte: Autor

Tabela 25 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 240° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(46, -94)	DireitaAtrás - Muito Perto
(-20, -72)	Atrás - Muito Perto
(-36, 79)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(12, 83)	Frente - Muito Perto
(51, 49)	DireitaFrente - Muito Perto
(90, 15)	Direita - Muito Perto
(85, -30)	Direita - Muito Perto
(-10, 63)	Frente - Muito Perto
(18, -105)	Atrás - Muito Perto
(-57, -59)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(-100, -10)	Esquerda - Muito Perto
(-80, 20)	Esquerda - Muito Perto

(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(160, 200)	DireitaAtrás - Muito Perto
(170, 130)	Atrás - Muito Perto
(50, 40)	EsquerdaFrente- Muito Perto
(20, 80)	Frente - Muito Perto
(30, 130)	DireitaFrente - Muito Perto
(40, 180)	Direita - Muito Perto
(80, 200)	Direita - Muito Perto
(50, 70)	Frente - Muito Perto
(180, 180)	Atrás - Muito Perto
(180, 90)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(160, 30)	Esquerda - Muito Perto
(120, 30)	Esquerda - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

Fonte: Autor.

Tabela 26 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 290° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(16, 71)	Frente - Muito Perto
(108, -34)	Direita - Muito Perto
(-22, -80)	Atrás - Muito Perto
(-94, 18)	Esquerda - Muito Perto

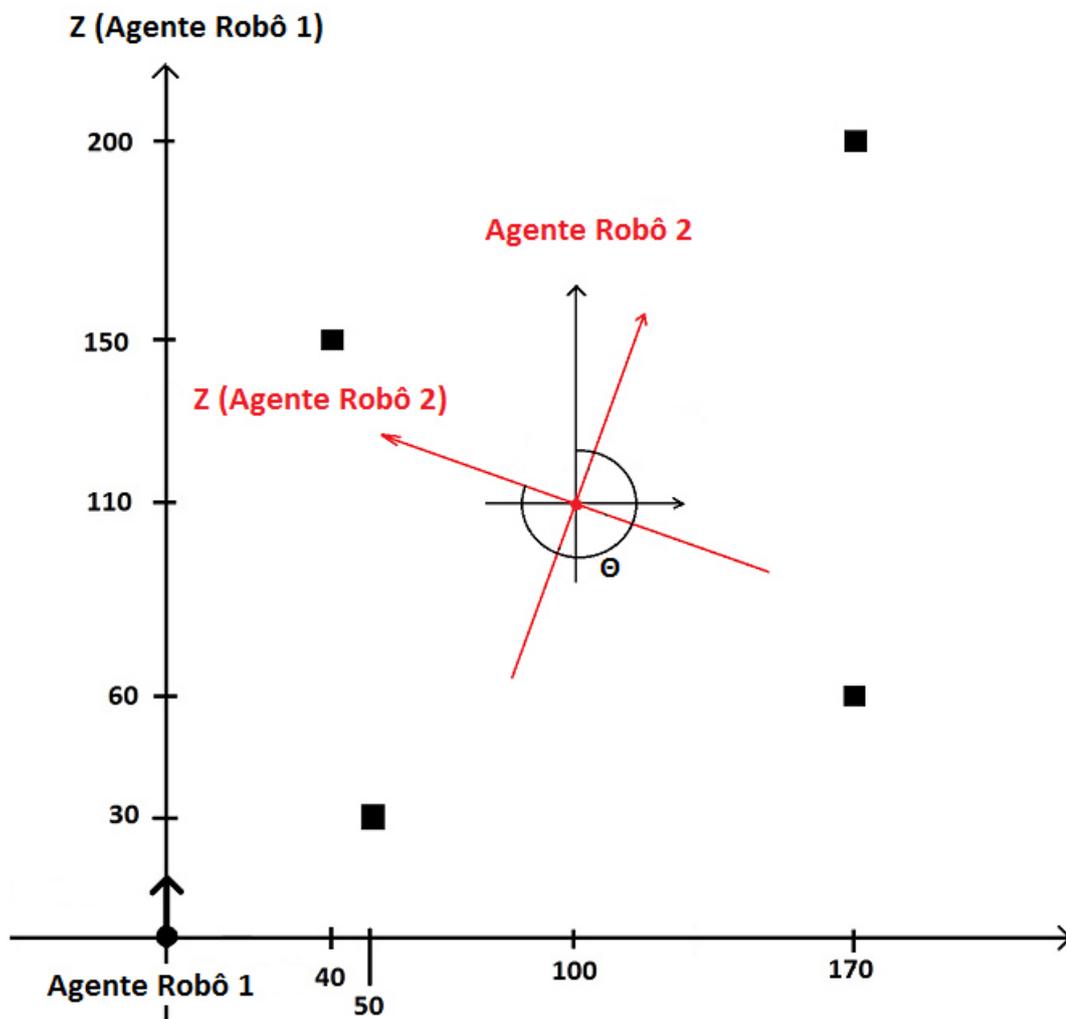
(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(40, 150)	Frente - Muito Perto
(170, 200)	Direita - Muito Perto
(170, 60)	Atrás - Muito Perto
(50, 30)	Esquerda - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

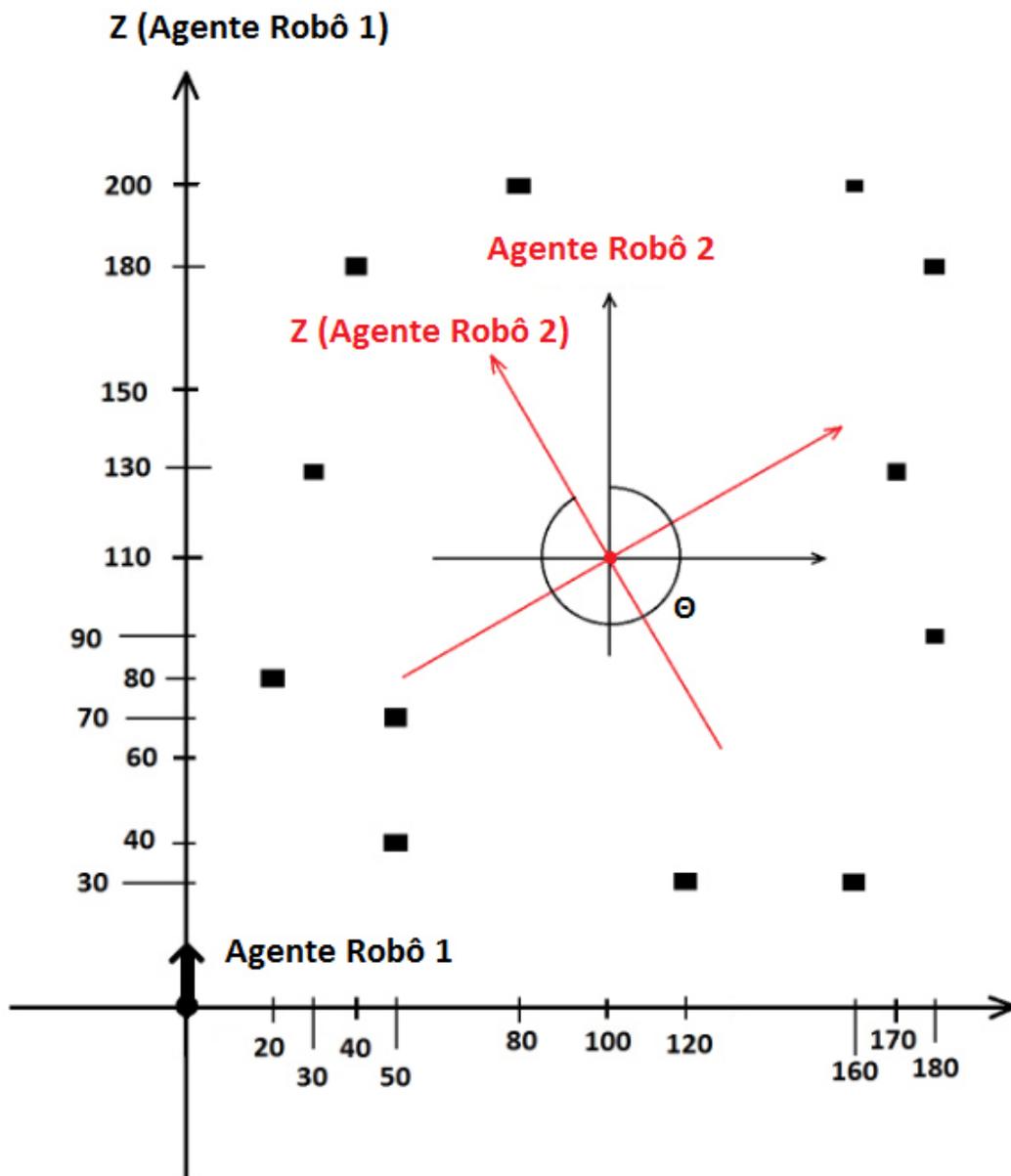
Fonte: Autor

Figura 28 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 290°



Fonte: Autor.

Figura 29 – Ambiente em escala com a localização de quatro blocos e o Agente Robô 2 rotacionado 330°



Fonte: Autor.

Tabela 27 – Tabelas com a classificação dos blocos para uma rotação de 330° entre os agentes

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 2	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(94, 46)	DireitaFrente - Muito Perto
(72, -20)	Direita - Muito Perto
(-79, -36)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(-83, 12)	Esquerda - Muito Perto
(-49, 51)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(-15,90)	Frente - Muito Perto
(30, 85)	Frente - Muito Perto
(-63, -10)	Esquerda - Muito Perto
(105, 18)	Direita - Muito Perto
(59, -57)	DireitaAtrás - Muito Perto
(10, -100)	Atrás - Muito Perto
(-20, -80)	Atrás - Muito Perto

(a) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 2

Coordenadas (x, z) do Objeto para o Agente Robô 1	Região da Ego-Esfera do Agente Robô 2
(160, 200)	DireitaFrente - Muito Perto
(170, 130)	Direita - Muito Perto
(50, 40)	EsquerdaAtrás - Muito Perto
(20, 80)	Esquerda - Muito Perto
(30, 130)	EsquerdaFrente - Muito Perto
(40, 180)	Frente - Muito Perto
(80, 200)	Frente - Muito Perto
(50, 70)	Esquerda - Muito Perto
(180, 180)	Direita - Muito Perto
(180, 90)	DireitaAtrás - Muito Perto
(160, 30)	Atrás - Muito Perto
(120, 30)	Atrás - Muito Perto

(b) Tabela com a classificação dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 2, a partir da percepção do Agente Robô 1

Fonte: Autor

6.4.2 Situações 2 e 3

As situações 2 e 3 envolvem a comunicação por meio de expressões espaciais entre os Agentes Humanos (Agente 2) e o Agente Robô 1, dessa forma vamos avaliar o quanto um Agente Humano (que corresponde a voluntários humanos convidados a participar do experimento) é capaz de descrever a localização de objetos observados no ambiente, e se a descrição do Agente Humano coincide com a discretização do espaço ao redor de um agente em termos da Ego-Esfera Qualitativa (EEQ). Com as perguntas descritas na seção 4.1 foi possível montar algumas tabelas com as porcentagens das respostas dos Agentes Humanos que correspondem exatamente ao padrão ouro e também com as respostas mais frequentes. As tabelas 28 e 31 apresentam as respostas mais frequentes para região e as tabelas 29 e 32 apresentam as respostas mais frequentes para distância, enquanto que, as tabelas 30 e 33 apresentam a porcentagem de respostas dos Agentes Humanos exatamente iguais ao padrão ouro. Foi possível observar uma baixa quantidade de respostas dos Agentes Humanos exatamente iguais ao padrão ouro. Esta discrepância é causada principalmente pelo julgamento da distância, conforme pode ser observado nas tabelas 30 e 33 que apresentam separadamente as respostas dos Agentes Humanos de região e distância exatamente iguais ao padrão ouro. As figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37, apresentam os histogramas com a porcentagem de respostas dos Agentes Humanos a respeito da classificação do bloco em região (ignorando a distância) com o Agente Robô 1 à *Esquerda* e *EsquerdaFrente* do Agente Humano, essas porcentagens também podem ser observadas nas tabelas 28, 31, 30 e 33 conforme mencionado anteriormente.

No experimento com voluntários as perguntas 1 a 6 e 12 a 17 correspondem às situações 2 e 3. Foi observado que 90,32% dos voluntários responderam corretamente que o Agente Robô 1 estava localizado à *Esquerda* e depois na região *EsquerdaFrente*, porém obtivemos três respostas inconsistentes com a localização real do Agente Robô 1 na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano quando o Agente Robô 1 estava localizado na região *EsquerdaFrente*.

Tabela 28 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano

Bloco	Região da EEQ do Agente Humano	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	EsquerdaFrente	70,90%
2 - Verde	EsquerdaFrente	70,90%
3 - Vermelho	DireitaAtrás	90,30%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Esquerda	93,50%

Fonte: Autor

Tabela 29 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano

Bloco	Distância na EEQ do Agente Humano	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	Perto	58,10%
2 - Verde	Perto	61,20%
3 - Vermelho	Perto	93,50%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Muito Perto	80,60%

Fonte: Autor

Tabela 30 – Tabela com a porcentagem de respostas dos voluntários exatamente iguais ao padrão ouro com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano (tabela 14)

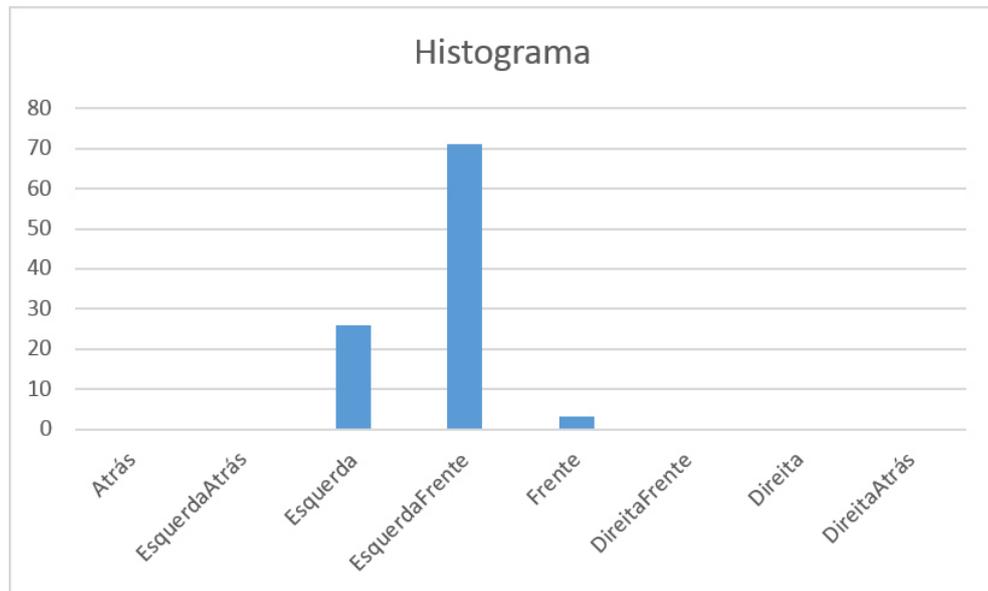
Bloco	Padrão Ouro	Região e Distância	Somente Região	Somente Distância
1 - Amarelo	EsquerdaFrente - Perto	38,70%	70,90%	58,10%
2 - Verde	Esquerda - Muito Perto	0,00%	29,03%	0,00%
3 - Vermelho	DireitaAtrás - Muito Perto	3,22%	90,30%	3,22%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Esquerda - Muito Perto	74,19%	93,50%	80,60%
Média		29,03%	70,93%	35,48%
Desvio Padrão (Σ)		34,84%	29,67%	40,20%

Fonte: Autor

Os resultados obtidos para as respostas de 1 a 6 com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano estão representados nas tabelas 28, 29 e 30. Nelas pode-se notar que, para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, do total de voluntários, 70,90% classificaram o *Bloco 1 - Amarelo* na região *EsquerdaFrente* (conforme as tabelas 28 e 30). Em relação à distância, 58,10% classificaram como *Perto* (conforme as tabelas 29 e 30). Na tabela 30 pode-se observar que 38,70% responderam *EsquerdaFrente - Perto*, o que está de acordo com o padrão ouro. A figura 30 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 1 - Amarelo* quando o Agente Robô 1 está à *Esquerda* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 28 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 30, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, do total de voluntários 70,90% classificaram o *Bloco 2 - Verde* na região *EsquerdaFrente* (tabela 28) e somente 29,03% como *Esquerda* (tabela 30), em relação à distância 61,20% classificaram como *Perto* (conforme a tabela 29) e nenhum voluntário classificou como *Muito Perto*, dessa forma não houve respostas iguais ao padrão ouro conforme tabela 30. Deve-se ressaltar que o *Bloco 1 -*

Figura 30 – Histograma para o *Bloco 1 - Amarelo* com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano

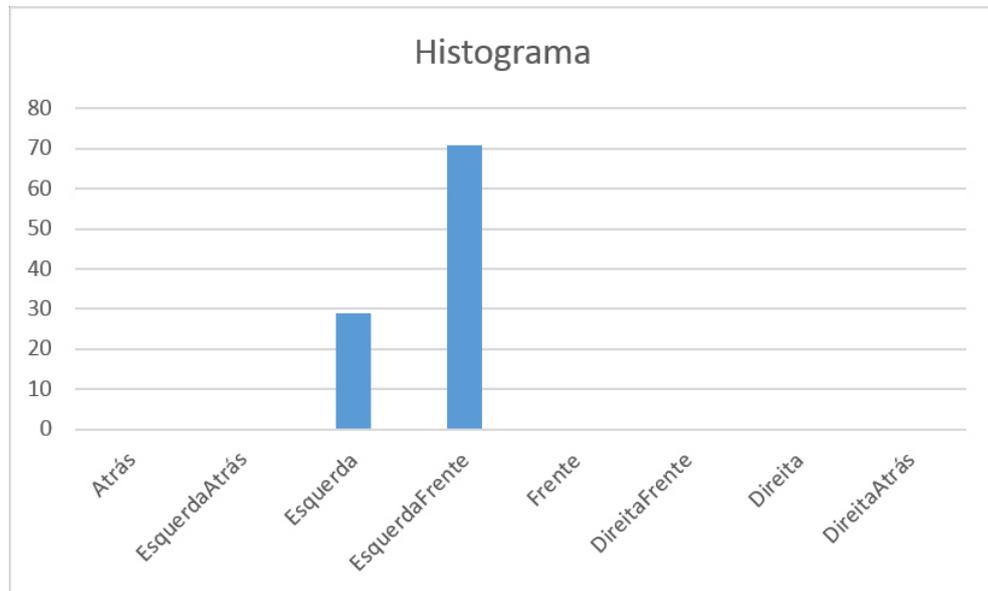


Fonte: Autor

Amarelo e o *Bloco 2 - Verde* estavam bem próximos da fronteira de suas respectivas regiões (*EsquerdaFrente* e *Esquerda*) e a mesma porcentagem de voluntários considerou os dois blocos na mesma região (tabela 28). A figura 31 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 2 - Verde* quando o Agente Robô 1 está à *Esquerda* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 28 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 30, para este caso a resposta mais frequente foi *EsquerdaFrente*, enquanto que a resposta exatamente igual ao padrão ouro é *Esquerda*, conforme pode ser observado nas tabelas 28 e 30.

Para o *Bloco 3 - Vermelho* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, observou-se que 90,30% dos voluntários classificaram o *Bloco 3 - Vermelho* na região *DireitaAtrás* (tabela 28), em relação à distância 93,50% classificaram como *Perto* (tabela 29), e somente 3,22% como *Muito Perto* (tabela 30). Dessa forma somente 3,22% responderam conforme o padrão ouro, ou seja, *DireitaAtrás - Muito Perto* (conforme tabela 30). Uma observação interessante é que o *Bloco 3 - Vermelho* era o único bloco que, quando o voluntário olhava, não conseguia ver nenhum outro bloco ao redor, e assim não poderia utilizar a distância dos outros blocos para estabelecer um critério de classificação. Também pode-se observar que o *Bloco 1 - Amarelo* estava à mesma distância (*Muito Perto*) mas recebeu aproximadamente 15 vezes mais respostas corretas (*Muito Perto*). Uma possível justificativa para este comportamento é justamente o fato

Figura 31 – Histograma para o *Bloco 2 - Verde* com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano



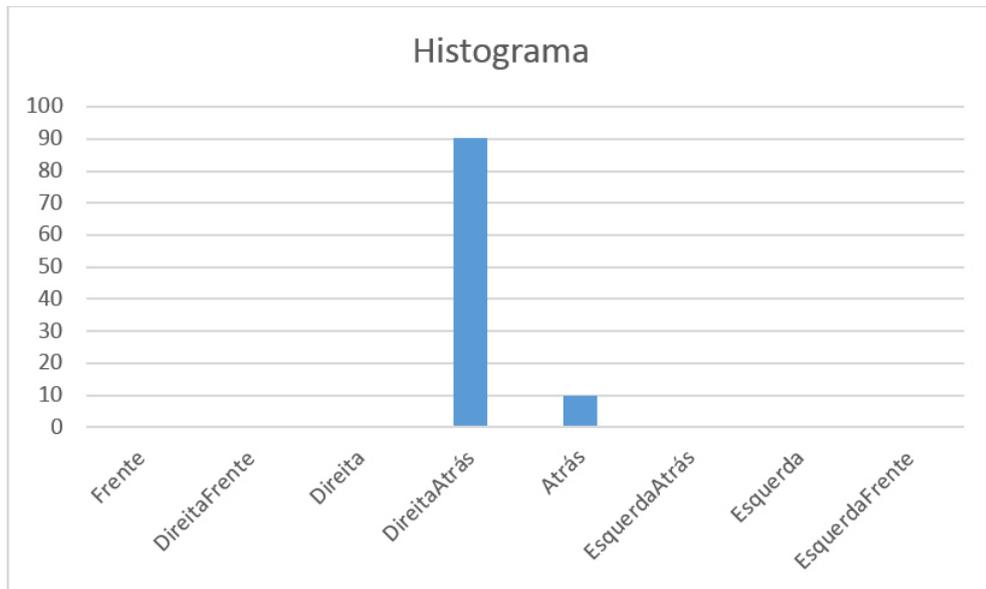
Fonte: Autor

de que o voluntário podia visualizar outros blocos e comparar com a distância do *Bloco 1 - Amarelo* enquanto que ao olhar para o *Bloco 3 - Vermelho* não conseguia visualizar nenhum outro bloco. A figura 32 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 3 - Vermelho* quando o Agente Robô 1 está à *Esquerda* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 28 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 30, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Para o *Bloco 6 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foi observado que 93,50% dos voluntários classificaram o *Bloco 6 - Verde* na região *Esquerda* (tabela 28). Em relação à distância 80,60% classificaram como *Muito Perto* (tabela 29). Dessa forma 74,19% responderam conforme o padrão ouro, *Esquerda - Muito Perto* (tabela 30). A figura 33 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 6 - Verde* quando o Agente Robô 1 está à *Esquerda* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 28 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 30, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

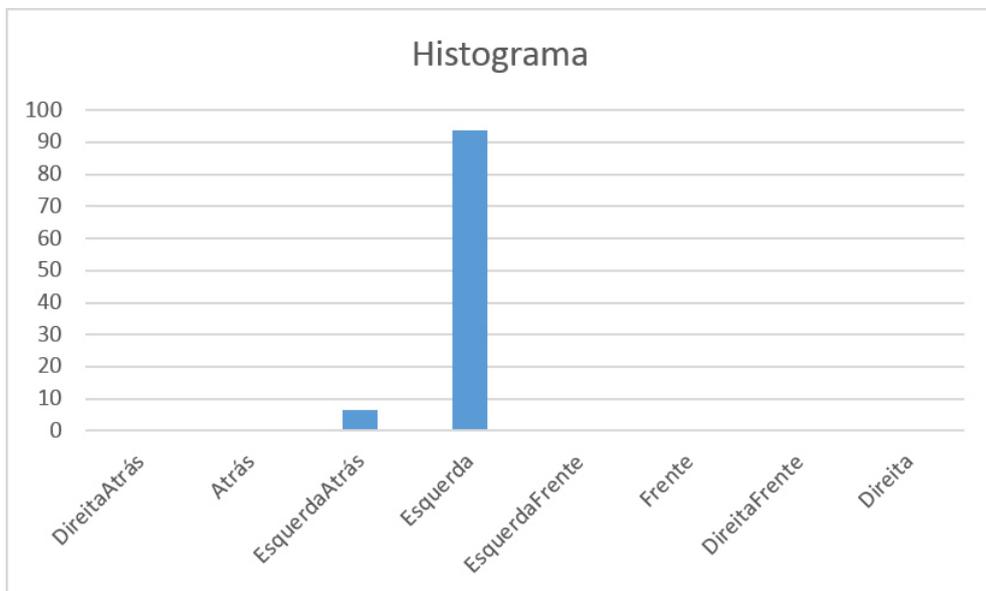
Os resultados obtidos para as respostas de 12 a 17 com o Agente Robô 1 à *Esquerda-Frente* do Agente Humano estão representados nas tabelas 31, 32 e 33. Nelas pode-se notar que, para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera do Agente Humano, do total de voluntários, 96,70%

Figura 32 – Histograma para o *Bloco 3 - Vermelho* com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano



Fonte: Autor

Figura 33 – Histograma para o *Bloco 6 - Verde* com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano



Fonte: Autor

classificaram o *Bloco 1 - Amarelo* na região *Frente* (tabela 31 e 33). Em relação à distância, 61,20% classificaram como *Perto* (tabela 32) enquanto que somente 38,70% classificaram como *Muito Perto* (tabela 33). Dessa forma somente 35,48% responderam conforme o padrão ouro, ou seja, *Frente - Muito Perto* conforme a tabela 33. Também foi observado que, como não

Tabela 31 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano

Bloco	Região da EEQ do Agente Humano	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	Frente	96,70%
2 - Verde	Frente	67,70%
3 - Vermelho	Atrás	80,60%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	EsquerdaFrente	51,60%

Fonte: Autor

Tabela 32 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano

Bloco	Distância na EEQ do Agente Humano	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	Perto	61,20%
2 - Verde	Perto	51,60%
3 - Vermelho	Perto	80,60%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Muito Perto	77,40%

Fonte: Autor

Tabela 33 – Tabela com a porcentagem de respostas dos humanos exatamente iguais ao padrão ouro com o agente robótico à *EsquerdaFrente* do Agente Humano (tabela 15)

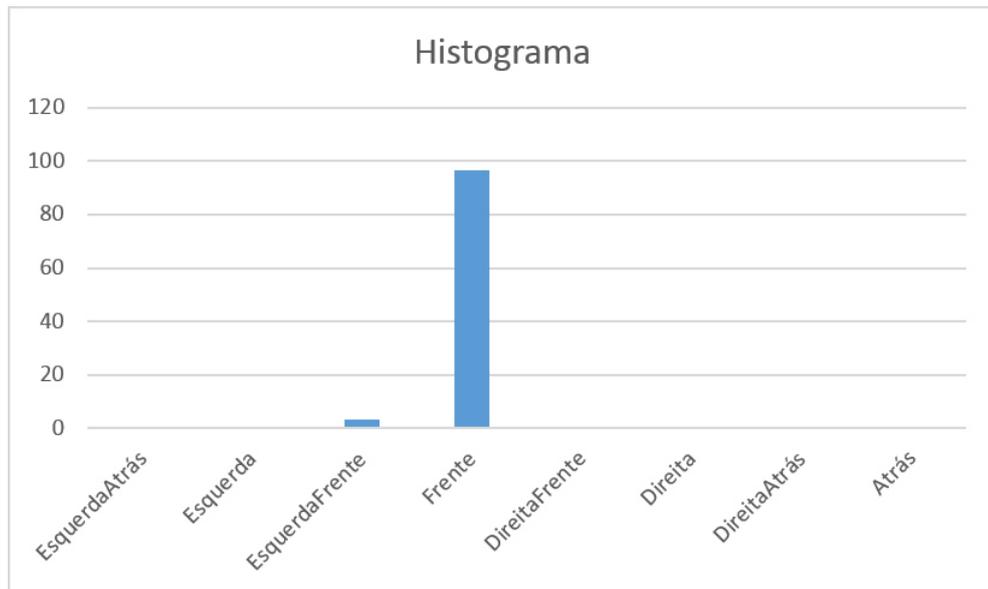
Bloco	Padrão Ouro	Região e Distância	Somente Região	Somente Distância
1 - Amarelo	Frente - Muito Perto	35,48%	96,70%	38,70%
2 - Verde	Esquerda Frente - Muito Perto	0,00%	32,20%	3,22%
3 - Vermelho	Atrás - Muito Perto	9,67%	80,60%	9,60%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	EsquerdaFrente - Muito Perto	45,16%	51,60%	77,40%
Média		22,58%	65,28%	32,23%
Desvio Padrão (Σ)		21,24%	28,89%	33,84%

Fonte: Autor

foi fornecido um parâmetro para que os voluntários definissem as distâncias, algumas pessoas utilizaram a proximidade dos outros blocos ao redor para classificá-los. A figura 37 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 1 - Amarelo* quando o Agente Robô 1 está à *EsquerdaFrente* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 31 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 33, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, observou-se que 67,70% dos voluntários classificaram o *Bloco 2 - Verde* na região *Frente* (tabela 31) e somente

Figura 34 – Histograma para o *Bloco 1 - Amarelo* com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano

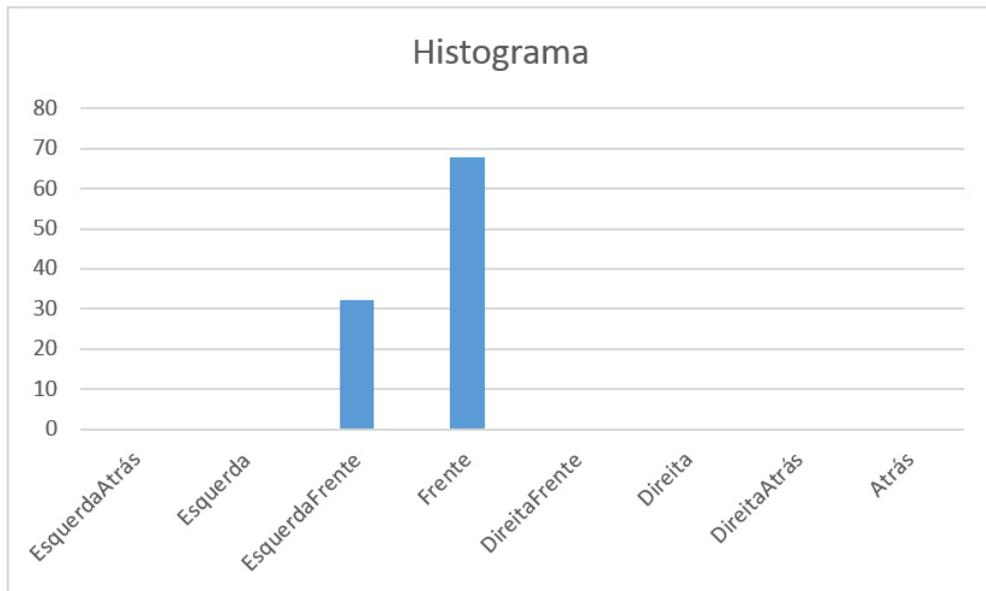


Fonte: Autor

32,2% como *EsquerdaFrente* (tabela 33). Em relação à distância 51,60% classificaram como *Perto* (tabela 32) e 3,22% como *Muito Perto* (tabela 33). Dessa forma nenhum voluntário respondeu exatamente como o padrão ouro, conforme tabela 33. Deve-se ressaltar que o *Bloco 1 - Amarelo* e o *Bloco 2 - Verde* estavam bem próximos da fronteira de suas respectivas regiões (*Frente* e *EsquerdaFrente*); e houve uma alta taxa de voluntários que considerou os dois blocos na mesma região (tabela 31), esse é o mesmo comportamento que foi observado para esses blocos com o Agente Robo 1 à *Esquerda* do voluntário. A figura 35 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 2 - Verde* quando o Agente Robô 1 está à *EsquerdaFrente* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 31 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 33, para este caso a resposta mais frequente foi *Frente*, enquanto que a resposta exatamente igual ao padrão ouro é *EsquerdaFrente*, conforme pode ser observado nas tabelas 31 e 33.

Para o *Bloco 3 - Vermelho* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, a resposta esperada conforme o padrão ouro é *Atrás - Muito Perto* (tabela 15). Foi observado que o resultado teve a mesma característica do *Bloco 1 - Amarelo*, em que a porcentagem de acerto para região foi alta, mas a taxa de acerto para distância foi baixo. Assim, 80,60% dos voluntários classificaram o *Bloco 3 - Vermelho* na região *Atrás* (tabela 31). Em relação à distância 80,60% classificaram como *Perto* (tabela 32) enquanto que somente 9,6% classificaram como

Figura 35 – Histograma para o *Bloco 2 - Verde* com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano

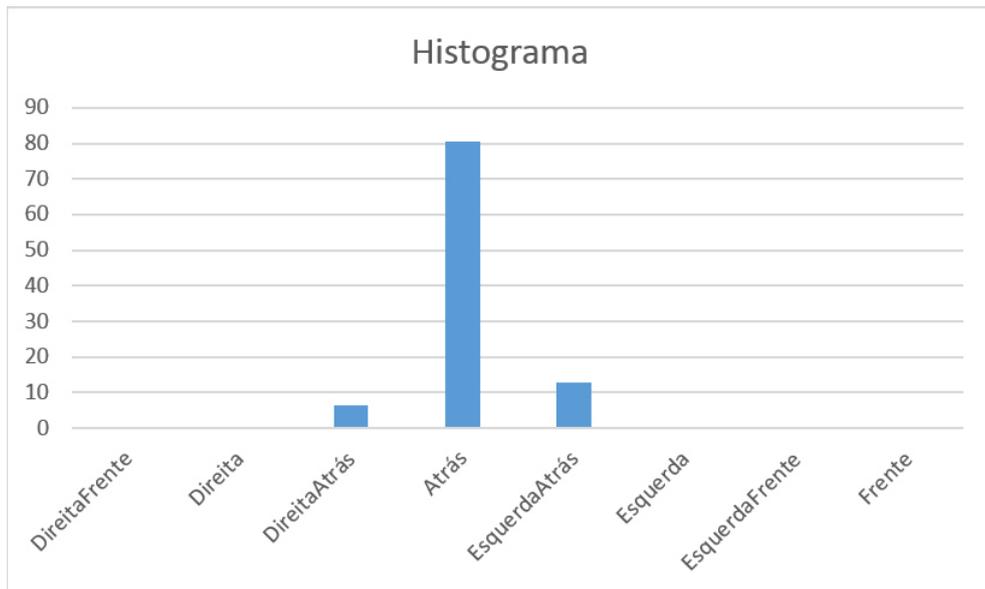


Fonte: Autor

Muito Perto (tabela 33). Assim somente 9,67% deram a resposta esperada, *Atrás - Muito Perto*, conforme a tabela 33. Uma observação interessante é que o *Bloco 3 - Vermelho* era o único bloco que quando o voluntário olhava não conseguia ver nenhum outro bloco, e assim não poderia utilizar a distância dos outros blocos para estabelecer um critério de classificação. Também pode-se observar que o *Bloco 1 - Amarelo* estava na mesma distância (*Muito Perto*), mas recebeu aproximadamente quatro vezes mais respostas corretas (*Muito Perto*). Uma possível justificativa para este comportamento é justamente o fato de que o voluntário podia visualizar outros blocos e comparar com a distância do *Bloco 1 - Amarelo* enquanto que ao olhar para o *Bloco 3 - Vermelho* não conseguia visualizar nenhum outro bloco. A figura 36 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 3 - Vermelho* quando o Agente Robô 1 está à *EsquerdaFrente* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 31 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 33, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Para o *Bloco 6 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foi observado que 51,60% dos voluntários classificaram o *Bloco 6 - Verde* na região *EsquerdaFrente* (tabela 31). Em relação à distância 77,40% classificaram como *Muito Perto* (tabela 32). Dessa forma 45,16% responderam conforme o padrão ouro, *EsquerdaFrente - Muito Perto* (tabela 33). A figura 37 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Hu-

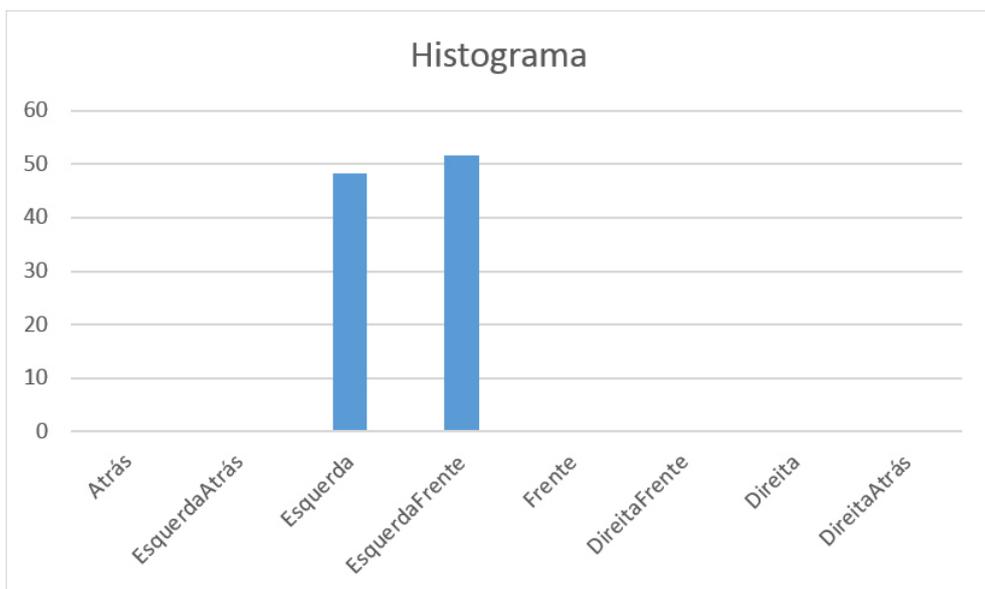
Figura 36 – Histograma para o *Bloco 3 - Vermelho* com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano



Fonte: Autor

manos entrevistados referente a região para o *Bloco 6 - Verde* quando o Agente Robô 1 está à *EsquerdaFrente* do Agente Humano. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 31 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 33, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Figura 37 – Histograma para o *Bloco 6 - Verde* com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano



Fonte: Autor

6.4.3 Situação 4

Neste experimento é analisado o quanto um Agente Humano consegue descrever a localização de objetos observados na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1. Com as perguntas de 7 a 11 (descritas na seção 4.1), foi possível montar algumas tabelas com as porcentagens das respostas dos voluntários que correspondem exatamente ao padrão ouro. A tabela 34 apresenta a porcentagem das respostas mais frequentes para região, a tabela 35 apresenta a porcentagem das respostas mais frequentes para distância, e a tabela 36 apresenta a porcentagem de respostas exatamente iguais ao padrão ouro. As figuras 38, 39, 40 e 41, apresentam os histogramas com a porcentagem de respostas humanas a respeito da classificação do bloco em regiões na perspectiva do Agente Robô 1.

Tabela 34 – Tabela com as respostas de região mais frequentes dos voluntários a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1

Bloco	Região da EEQ do Agente Robô 1	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	Frente	87,10%
2 - Verde	Frente	70,90%
3 - Vermelho	DireitaFrente	87,10%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Frente	74,10%

Fonte: Autor

Tabela 35 – Tabela com as respostas de distância mais frequentes dos voluntários a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1

Bloco	Distância na EEQ do Agente Robô 1	Porcentagem de respostas
1 - Amarelo	Longe	83,80%
2 - Verde	Perto	70,90%
3 - Vermelho	Longe	100,00%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Longe	61,20%

Fonte: Autor.

Os resultados obtidos para as respostas de 7 a 11 que são referentes à descrição do espaço pelo Agente Humano a respeito da localização dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa (EEQ) do Agente Robô 1, estão representados nas tabelas 34, 35 e 36. Nelas pode-se notar que, para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1, do total de 31 voluntários, 87,1% classificaram o *Bloco 1 - Amarelo* na região *Frente* (tabela 34). Em relação à distância 83,8% classificaram como *Longe* (tabela 35), enquanto que somente 16,10% classificaram como *Perto* (tabela 36). Dessa forma somente 12,90% responderam conforme o padrão ouro, ou

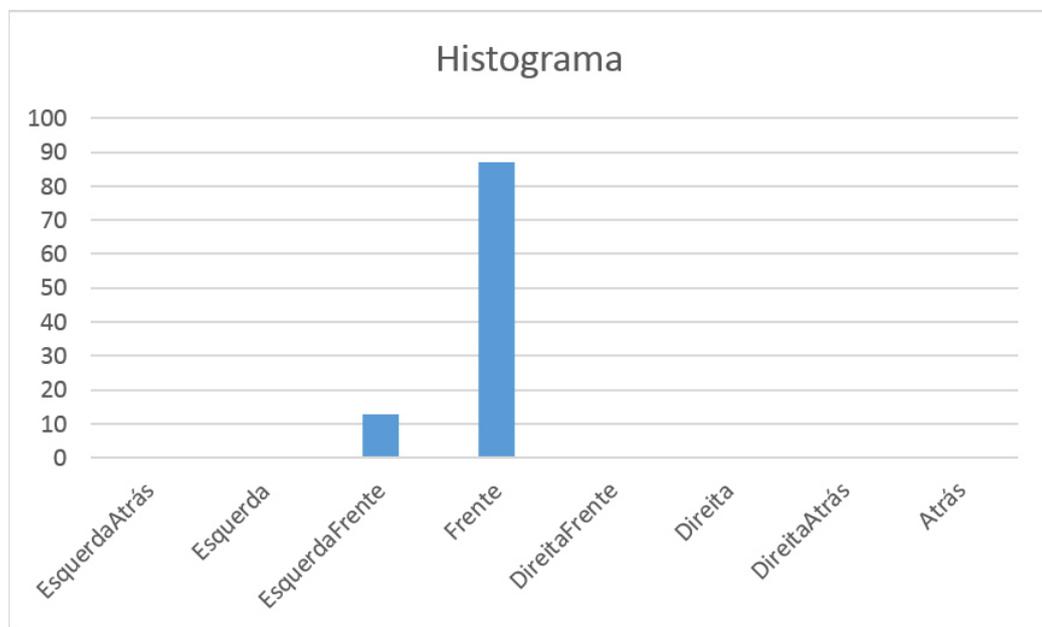
Tabela 36 – Tabela com a porcentagem de respostas dos humanos exatamente iguais ao padrão ouro a respeito da classificação dos blocos para a perspectiva do Agente Robô 1 (tabela 16)

Bloco	Padrão Ouro	Região e Distância	Somente Região	Somente Distância
1 - Amarelo	Frente - Perto	12,90%	87,1%	16,10%
2 - Verde	Frente - Muito Perto	6,45%	70,9%	9,60%
3 - Vermelho	Frente - Longe	3,22%	3,22%	100%
4 - Amarelo	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
5 - Rosa	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado	Não Avaliado
6 - Verde	Frente - Perto	25,80%	74,10%	38,70%
Média		12,09%	58,83%	41,10%
Desvio Padrão (Σ)		9,99%	37,73%	41,20%

Fonte: Autor

seja, *Frente - Perto* conforme a tabela 36. A figura 38 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 1 - Amarelo* na perspectiva do Agente Robô 1. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 34 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 36, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Figura 38 – Histograma para o *Bloco 1 - Amarelo* na perspectiva do Agente Robô 1

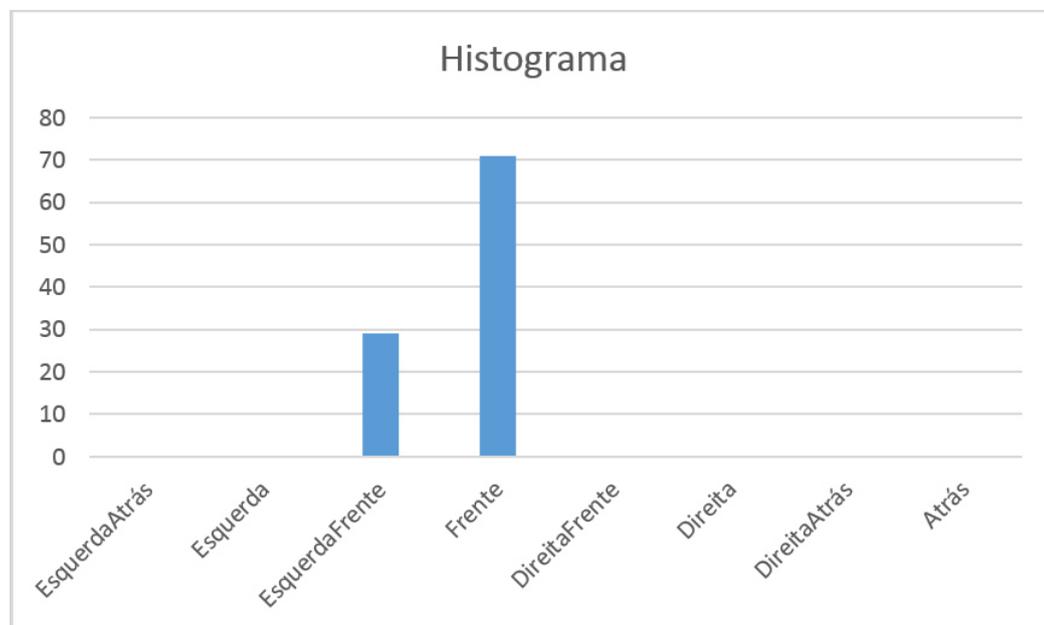


Fonte: Autor

Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1 foi observado um perfil similar às respostas do *Bloco 1 - Amarelo* de modo que uma porcentagem elevada respondeu a região corretamente mas a distância teve uma baixa taxa de acerto. Assim 70,90% dos

voluntários classificaram o *Bloco 2 - Verde* na região *Frente* (tabela 34). Em relação à distância 70,90% classificaram como *Perto* (tabela 35) enquanto que somente 9,60% classificaram como *Muito Perto* (tabela 36). Neste caso somente 6,45% das respostas estavam exatamente iguais ao padrão ouro (*Frente - Muito Perto*), conforme tabela 36. A figura 39 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 2 - Verde* na perspectiva do Agente Robô 1. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 34 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 36, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

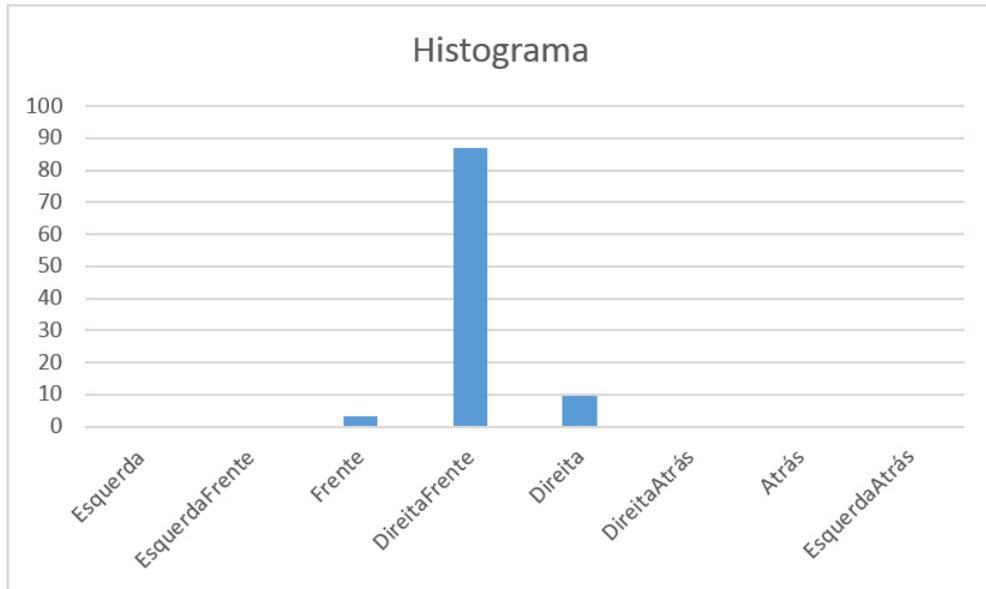
Figura 39 – Histograma para o *Bloco 2 - Verde* na perspectiva do Agente Robô 1



Fonte: Autor

Para o *Bloco 3 - Vermelho* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Robô 1, observou-se que 87,10% dos voluntários classificaram o *Bloco 3 - Vermelho* na região *DireitaFrente* (tabela 34) e apenas 3,22% classificaram como *Frente* (tabela 36), em relação à distância 100% classificaram como *Longe* (tabela 35). Dessa forma somente 3,22% responderam conforme o padrão ouro, *DireitaFrente - Longe* (tabela 36). A figura 40 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 Agentes Humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 3 - Vermelho* na perspectiva do Agente Robô 1. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 34 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 36, para este caso a resposta mais frequente foi *DireitaFrente*, enquanto que a resposta exatamente igual ao padrão ouro é *Frente*, conforme pode ser observado nas tabelas 34 e 36.

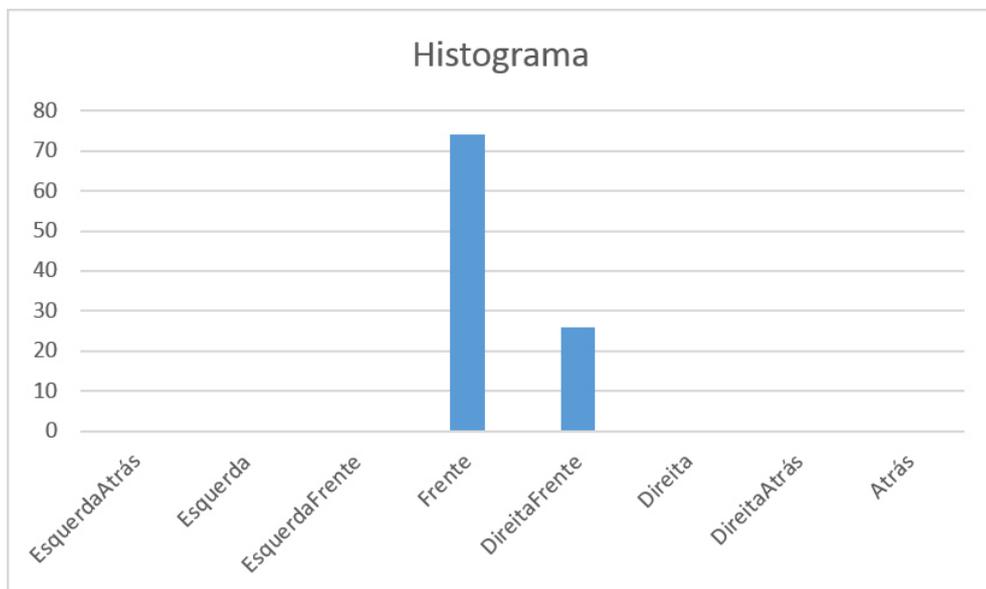
Figura 40 – Histograma para o *Bloco 3 - Vermelho* na perspectiva do Agente Robô 1



Fonte: Autor

Para o *Bloco 6 - Verde* na Ego-Esfera do Agente Robô 1 foi observado um perfil de resposta similar as respostas para o *Bloco 1 - Amarelo* e *Bloco 2 - Verde*, em que há uma taxa elevada de acerto na região, mas uma porcentagem de acerto baixa para a distância. Pôde-se observar que 74,10% dos voluntários classificaram o *Bloco 6 - Verde* na região *Frente* (tabela 34). Em relação à distância 61,20% classificaram como *Longe* (tabela 35) e somente 38,70% classificaram como *Perto* (tabela 36). Dessa forma 25,80% responderam conforme o padrão ouro, ou seja, *Frente - Perto* conforme a tabela 36. A figura 41 apresenta o histograma que possui a porcentagem de respostas dos 31 agentes humanos entrevistados referente a região para o *Bloco 6 - Verde* na perspectiva do Agente Robô 1. Pode-se observar as respostas mais frequentes na tabela 34 enquanto que as respostas que são exatamente iguais ao padrão ouro estão na tabela 36, para este caso a resposta mais frequente é também exatamente igual ao padrão ouro.

Figura 41 – Histograma para o *Bloco 6 - Verde* na perspectiva do Agente Robô 1



Fonte: Autor

7 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Com as análises individuais para as respostas dos voluntários para cada bloco nas seções 6.4.2 e 6.4.3 foi possível identificar algumas características humanas, para o conjunto de voluntários, referentes à descrição do espaço para as relações estudadas neste trabalho.

As perguntas 1 e 12 tem como objetivo informar ao Agente Robô 1 a orientação do Agente Humano para que o Agente Robô 1 seja capaz de discretizar o espaço ao redor do humano utilizando as definições da Ego-Esfera Qualitativa.

Dentre todos os voluntários, obtivemos três respostas erradas para a pergunta 12, de modo que o Agente Robô 1 estava localizado na região *EsquerdaFrente* do Agente Humano, porém dois voluntários responderam *Esquerda* e um voluntário respondeu *Frente*. Assim, observou-se que no resultado do sistema a posição dos blocos estava deslocada em relação a posição real. Como o sistema tem uma percepção deslocada da orientação do Agente Humano (por causa da resposta errada), a posição dos blocos será proporcionalmente deslocada no resultado do sistema. Contudo observou-se que as respostas referentes aos blocos não seguiam um padrão lógico coerente com a distorção na resposta da pergunta 12, ou seja, para alguns blocos existia o mesmo deslocamento que o observado na resposta da pergunta 12, para outros blocos a resposta era equivalente à posição do bloco sem o deslocamento informado na resposta da pergunta 12. Para melhor descrever esse comportamento, um dos usuários respondeu *Frente*, quando deveria responder *EsquerdaFrente* (de acordo com as definições de região da Ego-Esfera Qualitativa estabelecidas neste trabalho), para este voluntário foi observado que duas de suas respostas seriam coerentes com as respostas que o sistema retornaria se o voluntário tivesse informado ao sistema que a posição do Agente Robô 1 em sua Ego-Esfera Qualitativa era *EsquerdaFrente*, enquanto que somente uma de suas respostas é coerente com as respostas que o sistema retorna ao informar que o Agente Robô 1 está localizado na *Frente*. Os outros dois voluntários classificaram o Agente Robô 1 em *Esquerda* quando deveriam ter classificado em *EsquerdaFrente*, para esses dois voluntários foi observado que duas de suas respostas seriam coerentes com as respostas que o sistema retornaria se o voluntário tivesse informado ao sistema que a posição do Agente Robô 1 em sua Ego-Esfera Qualitativa era *EsquerdaFrente*, enquanto que somente uma de suas respostas é coerente com as respostas que o sistema retorna ao informar que o Agente Robô 1 está localizado na *Esquerda*. Dessa forma as respostas enviadas pelo sistemas não são condizentes com a noção de espaço ao redor desses três usuários.

Um resultado interessante é a ambiguidade ao classificar um bloco, ou seja, observou-se que ao mudar a forma como uma pergunta era feita foram obtidas respostas diferentes para a posição de um mesmo bloco. Por exemplo, ao solicitar que o voluntário classificasse um bloco, era feito um certo esforço para classificá-lo em uma das oito regiões previamente informadas (como por exemplo *EsquerdaFrente*); porém ao pedir que o voluntário identificasse quais blocos correspondiam à uma determinada região (como por exemplo *Frente*), qualquer objeto no campo de visão era considerado na *Frente*, incluindo o bloco que na pergunta anterior foi classificado em outra região da Ego-esfera Qualitativa (neste exemplo *EsquerdaFrente*). No total foram feitas 465 perguntas a respeito da posição dos blocos, e deste total 9,46% das respostas eram ambíguas, conforme discutido na seção 7.1.

Ao analisar a quantidade de respostas correspondentes quanto à região (região angular ou setor) e distância com o padrão ouro, foi obtida uma média de 21,23% de acerto com desvio padrão (Σ) de 23,12%. Porém analisando separadamente as respostas referentes à região e à distância dos blocos, foi observado que a média de acerto por região é de 65,01% com desvio padrão (Σ) de 29,71%, enquanto que a média de acerto de distância é de 36,27% com desvio padrão (Σ) de 35,08%. Uma possível justificativa para essa diferença entre distância e região é que, por não receber um critério para classificar os blocos em *Muito Perto*, *Perto* ou *Longe*, os voluntários utilizavam outros blocos como parâmetro; Por exemplo, para o *Bloco 3 - Vermelho* que era o único bloco que era observado sem outro bloco por perto, o acerto de região foi superior a 90%, enquanto que o acerto de distância foi próximo de zero (com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano).

Assim observou-se que as definições da Ego-Esfera Qualitativa para região angular (ou setores) ao redor de um agente, está próxima as respostas obtidas do conjunto de voluntários, de modo que mais da metade dos voluntários deram respostas coerentes com as definições da Ego-Esfera Qualitativa. Contudo a definição de distâncias na Ego-Esfera Qualitativa demonstrou-se vaga, de modo que aproximadamente um terço dos voluntários deram respostas coerentes com as definições de distâncias definidas na Ego-Esfera Qualitativa.

Também foi observado que alguns voluntários relataram que ao olhar para atrás a descrição da localização de um bloco (na região *DireitaAtrás* do Agente Humano) em relação ao Agente Robô 1 era prejudicada. Desse modo nota-se que, como o voluntário não possui uma visão global do ambiente, sua descrição de localização de um bloco em relação à uma referência é impactada se o Agente Humano perder o contato visual com a referência (neste caso o Agente Robô 1).

Com os resultados obtidos pode-se concluir que, não podemos considerar a Ego-Esfera Qualitativa uma descrição do espaço próxima a concepção humana ao redor de um agente ao considerar *Região e Distância*, pois foi obtida uma média de 21,23% de acerto. Porém, se for considerada apenas a *Região*, a média de respostas certas é de 65,01%, e assim pode-se considerar a Ego-Esfera Qualitativa uma aproximação (mesmo que grosseira) da localização de objetos no espaço de acordo com a concepção humana. Para reduzir os efeitos da ambiguidade e da generalização, causada pela interpretação humana de que *Frente* é praticamente tudo em seu campo de visão e de que *Atrás* é tudo atrás e fora do campo de visão, uma possibilidade é adaptar a Ego-Esfera Qualitativa redimensionalizando ou excluindo algumas regiões para que as relações nela definidas fiquem mais próximas da descrição humana do ambiente.

Após analisar os resultados obtidos a respeito da precisão do sistema de visão, observou-se que considerar um valor quantitativo como margem de erro aceitável não necessariamente torna o resultado preciso. Por exemplo, se considerarmos cinco centímetros como margem de erro aceitável existem duas interpretações possíveis:

1. Se o objeto estiver a mais de cinco centímetros de uma fronteira, e se o ruído for inferior ou superior (desde que inferior a distância da fronteira) a margem de erro, o resultado do sistema com a classificação do bloco em uma região deverá ser igual e retornar a região que o bloco está localizado, de modo que para um usuário não será perceptível que havia ruído na obtenção da posição do objeto.
2. Se o objeto estiver a menos de cinco centímetros da fronteira, e se o ruído for superior a margem de erro, o resultado do sistema com a classificação do objeto em uma região poderá ser diferente da região em que o objeto realmente está localizado. Entretanto se o valor do ruído for inferior a cinco centímetros, a classificação do bloco em uma região pode ou não ser igual a região em que o bloco está realmente localizado.

Para as situações em que o objeto estiver próximo à fronteira, há uma possibilidade de que ele seja classificado na região vizinha, mesmo que o resultado quantitativo esteja dentro da margem de erro considerada aceitável. Assim, pode-se concluir que, independente do valor quantitativo para as coordenadas dos objetos estar dentro de uma margem de erro considerada aceitável, não há garantias de que o sistema classificará o bloco na localização qualitativa (região e distância) que ele realmente está localizado.

Também foi possível observar que, as respostas do conjunto de voluntários apresentam imprecisão ao classificar qualitativamente um objeto que está próximo a uma região de fronteira. Dessa forma neste trabalho é proposto como trabalho futuro desenvolver a Ego-Esfera

Adaptativa, que propõe expandir a região de busca de um agente robótico para as regiões vizinhas. Ou seja, na Ego-Esfera Adaptativa quando um agente humano informar a classificação de um objeto ao agente robótico, o agente deverá levar em consideração a região informada pelo humano, assim como as regiões vizinhas. Por exemplo, se o humano informar *EsquerdaFrente*, o agente robótico deverá iniciar a busca pelo objeto na região *EsquerdaFrente* e em seguida deverá buscar pelos objetos nas regiões *Esquerda* e *Frente*. Dessa forma o problema da margem de erro ser quantitativa, descrito acima, poderá ser resolvido ao considerar a margem de erro qualitativamente. Ou seja, para os blocos próximos a regiões de fronteira, as duas regiões serão respostas aceitáveis, uma vez que ambas as regiões fazem parte da região de busca do robô. O desenvolvimento desta idéia é tarefa de trabalhos futuros.

7.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA AMBIGUIDADE

Foi observado que 58,06% dos voluntários deram respostas que apresentavam ambiguidade, assim do total de respostas, 9,46% eram ambíguas. As perguntas 2, 3, 4 e 5 são equivalentes à pergunta 6, similarmente as perguntas 7, 8, 9 e 10 são equivalentes à pergunta 11, assim como as perguntas 13, 14, 15 e 16 são equivalentes à pergunta 17 e dessa forma quaisquer blocos classificados nas perguntas 2, 3, 4 e 5 deveriam receber uma classificação coerente na pergunta 6 (idem para as demais perguntas). As perguntas são consideradas equivalentes porque o que muda é a forma como elas são feitas, mas abordam os mesmos blocos e assim espera-se que as respostas sejam iguais. Contudo foram obtidas respostas diferentes para essas questões. As tabelas 37, 38 e 39, apresentam a quantidade de respostas ambíguas para cada bloco.

Tabela 37 – Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano

Bloco	Porcentagem de respostas ambíguas
1 - Amarelo	19,35%
2 - Verde	19,35%
3 - Vermelho	0,00%
6 - Verde	0,00%

Fonte: Autor

A tabela 37 apresenta a quantidade de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano. Para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas seis respostas ambíguas (correspondente à 19,35%, conforme tabela 37), de modo que na pergunta 2, quatro voluntários responderam *EsquerdaFrente* e dois responderam como *Esquerda*, porém na pergunta 6 os seis voluntários responderam que o *Bloco*

1 - Amarelo estava na *Frente*. Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas seis respostas ambíguas (correspondente à 19,35%, conforme tabela 37). Na pergunta 3, cinco voluntários responderam *EsquerdaFrente* e um voluntário respondeu *Esquerda*, porém na pergunta 6 responderam que o *bloco 2 - Verde* estava na *Frente*. Para os blocos *Bloco 3 - Vermelho* e *Bloco 6 - Verde* não foram observadas respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *Esquerda* do Agente Humano.

Tabela 38 – Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano

Bloco	Porcentagem de respostas ambíguas
1 - Amarelo	3,23%
2 - Verde	16,13%
3 - Vermelho	0,00%
6 - Verde	32,26%

Fonte: Autor

A tabela 38 apresenta a quantidade de respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente Humano. Para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foi observada uma resposta ambígua (correspondente à 3,23%, conforme tabela 38): na pergunta 13, o voluntário respondeu *EsquerdaFrente* porém na pergunta 17 respondeu que o *Bloco 1 - Amarelo* estava na *Frente*. Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas cinco respostas ambíguas (correspondente à 16,13%, conforme tabela 38). Na pergunta 14, os cinco voluntários responderam *EsquerdaFrente* porém na pergunta 17 responderam que o *Bloco 2 - Verde* estava na *Frente*. Para o *Bloco 6 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas dez respostas ambíguas (correspondente à 32,26%, conforme tabela 38). Na pergunta 16, quatro voluntários responderam *EsquerdaFrente* e seis responderam como *Esquerda*, porém na pergunta 17 os dez voluntários responderam que o *Bloco 6 - Verde* estava na *Frente*. Para o *Bloco 3 - Vermelho* não foram observadas respostas ambíguas com o Agente Robô 1 à *EsquerdaFrente* do Agente humano.

Tabela 39 – Tabela com a porcentagem de respostas ambíguas para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1

Bloco	Porcentagem de respostas ambíguas
1 - Amarelo	3,23%
2 - Verde	12,90%
3 - Vermelho	22,58%
6 - Verde	12,90%

Fonte: Autor

A tabela 39 apresenta a quantidade de respostas ambíguas para a posição dos blocos na perspectiva do Agente Robô 1. Para o *Bloco 1 - Amarelo* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano foi observada uma resposta ambígua (correspondente à 3,23%, conforme tabela 39): na pergunta 8, o voluntário respondeu *EsquerdaFrente* porém na pergunta 11 respondeu que o *Bloco 1 - Amarelo* estava na *Frente*. Para o *Bloco 2 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas quatro respostas ambíguas (correspondente à 12,9%, conforme tabela 39): na pergunta 8, os quatro voluntários responderam *EsquerdaFrente* porém na pergunta 11 responderam que o *Bloco 2 - Verde* estava na *Frente*. Para o *Bloco 3 - Vermelho* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas sete respostas ambíguas (correspondente à 22,58%, conforme tabela 39): na pergunta 9, seis voluntários responderam *DireitaFrente* e um voluntário respondeu *Direita* porém na pergunta 11 responderam que o *Bloco 3 - Vermelho* estava na *Frente*. Para o *Bloco 6 - Verde* na Ego-Esfera Qualitativa do Agente Humano, foram observadas quatro respostas ambíguas (correspondente à 12,9%): na pergunta 10, os quatro voluntários responderam *DireitaFrente* porém na pergunta 17 responderam que o *Bloco 6 - Verde* estava na *Frente*.

7.2 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ALTURA

Neste trabalho o cálculo da altura se resume em obter a altura do agente e a altura do objeto e calcular a diferença entre os dois, e fazer as verificações necessárias quanto a valores negativos. Deve-se ressaltar que, para obter a altura é suficiente ter conhecimento do ângulo de inclinação do Agente Robô 1 (tilt do Kinect) e a distância do agente e objeto, e através de cálculos trigonométricos é possível obter a altura do outro agente ou do objeto.

Nos experimentos realizados neste trabalho, a altura não foi levada em consideração devido à restrições do ambiente. Para analisar a descrição humana quanto às definições de altura da Ego-Esfera Qualitativa seria necessário colocar objetos em diversos níveis de altura, incluindo acima e abaixo de um voluntário, a fim de observar a partir de que altura um voluntário humano classificaria o bloco em *Profundo*, *Abaixo*, *Baixo* ou *Alto*. Contudo a percepção de altura se assemelha à descrição de distância, por exigir informações do ambiente em que os objetos estão distribuídos.

Conforme descrito anteriormente observou-se que as definições de distância na Ego-Esfera Qualitativa (*Muito Perto*, *Perto* ou *Longe*) é muito vaga devido a baixa quantidade de respostas dos voluntários que são coerentes com as definições de distância da Ego-Esfera Qualitativa. De modo que, ao informar aos voluntários quanto às possíveis classificações de dis-

tância, houve uma alta quantidade de voluntários que questionou como deveriam definir essas distâncias. Essa vagueza pode ser observada nas tabelas da seção 6.4.2 em que foi observada uma elevada taxa de acerto quanto às regiões angulares (ou setores) onde os blocos estavam localizados, contudo foi obtido uma taxa de acerto muito inferior quanto à distância dos blocos.

Apesar de não termos testado a altura, resultados similares à distância deverão ser observados dada a existência da mesma vagueza em definir o que é alto ou baixo. Assim consideramos como trabalho futuro o estudo das definições de altura.

7.3 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi utilizada a definição da Ego-Esfera Qualitativa como base para realizar a comunicação de expressões espaciais entre sistemas robóticos e entre robôs e humanos. Quatro situações foram propostas e implementadas de modo a abordar ambientes homogêneos (somente com robôs) e ambientes heterogêneos (com humanos e robôs). Nos testes realizados com dados simulados foi observado 100% de acerto em todas as situações, enquanto que para os testes com humanos foi observado aproximadamente 25,80% de acerto nas situações 2 e 3, e aproximadamente 12,09% de acerto na situação 4 ao levar em consideração região e distância. Ao considerar região e distância separadamente, nas situações 2 e 3 a taxa de acerto é de 68,10% para região e de 33,86% para distância. Para a situação 4 a taxa de acerto para região é de 58,83% e de 41,1% para distância. Enquanto que juntas as situações 2, 3 e 4 obtiveram uma taxa de acerto média dos voluntários de 65,01% para região e de 36,27% para distância. Também foi observada a existência de ambiguidade na descrição humana sobre a localização de objetos quando, ao fazer a mesma pergunta de forma diferente não obteve-se a mesma resposta. Apesar das respostas com ambiguidade (9,46%), a definição das regiões é razoável por ter apresentado uma média de 65,01% de respostas corretas, sem considerar as respostas referentes à distância. Assim, entende-se que em relação à região, o resultado é razoável uma vez que mais da metade das respostas foram coerentes. Ainda é necessário fazer alguns ajustes, em relação à distância o resultado não foi razoável por ter apresentado média de 36,27% de acerto, e faz-se necessário desenvolver um método para que a classificação fique mais próxima da descrição humana. Como trabalhos futuros, propomos analisar respostas humanas quanto à altura, assim como implementar esse sistema em agentes robóticos móveis em conjunto com um sistema de visão capaz de identificar pessoas e objetos mais complexos. Também propomos desenvolver um modelo matemático e implementar experimentalmente a Ego-Esfera Adaptativa para minimizar os problemas de inconsistência na comunicação humano-robô.

REFERÊNCIAS

- BALBIANI, P.; CONDOTTA, J.-F.; LIGOZAT, G. On the consistency problem for the INDU calculus. **Journal of Applied Logic**, Elsevier, v. 4, p. 119–140, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570868305000388>>. Acesso em: 30 set. 2015.
- BURHANS, D. T.; CHOPRA, R.; SRIHARI, R. K. Domain specific understanding of spatial expressions. In: CITESEER. **Proceeding of the IJCAI-95 Workshop on Representation and Processing of Spatial Expressions, Montreal**. [S.l.], 1995.
- COHN, A. G.; RENZ, J. Qualitative spatial representation and reasoning. **Handbook of knowledge representation**, Elsevier, v. 3, p. 551–596, 2008. Disponível em: <<http://users.cecs.anu.edu.au/~jrenz/papers/cohn-renz-krbook07.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- COMANICIU, D.; MEER, P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. **Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on**, v. 24, n. 5, p. 603–619, maio 2002. ISSN 0162-8828. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1000236&tag=1>. Acesso em: 19 set. 2015.
- DOBNIK, S. et al. Teaching a robot spatial expressions. In: **Second ACL-SIGSEM**. Colchester, UK: [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.robots.ox.ac.uk/~mobile/Papers/prepositions2.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- FREKSA, C. Conceptual neighborhood and its role in temporal and spatial reasoning. In: SINGH, M.; TRAVÉ-MASSUYÈS, L. (Ed.). **Decision Support Systems and Qualitative Reasoning**. Amsterdam: North-Holland, 1991. p. 181–187. Disponível em: <<http://sandbox.academic-puma.de/bibtex/24072b74e17df8e787366ef3add69b606/alistair>>. Acesso em: 10 set. 2015.
- _____. Using orientation information for qualitative spatial reasoning. In: FRANK, A. U.; CAMPARI, I.; FORMENTINI, U. (Ed.). **Spatio-Temporal Reasoning**. Springer, 1992. (Lecture Notes in Computer Science, v. 639), p. 162–178. ISBN 3-540-55966-3. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/gis/gis92.html#Freksa92>>. Acesso em: 29 set. 2015.
- GUADARRAMA, S. et al. Grounding Spatial Relations for Human-Robot Interaction. In: **Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)**. [s.n.], 2013. p. 1640–1647. Disponível em: <<http://www.eecs.berkeley.edu/~sguada/pdfs/2013-IROS-grounding-final.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.
- HUO, L.; OUYANG, J.; SUN, W. A model for the 3D relative orientation based on TPCC. **Journal of Visual Languages & Computing**, Elsevier, v. 9, n. 1, p. 23–44, 2013.

II, R. A. P.; HAMBUCHEN, K. A.; BODENHEIMER, R. E. The sensory ego-sphere: a mediating interface between sensors and cognition. **Autonomous Robots**, v. 26, n. 1, p. 1–19, 2009. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/arobots/arobots26.html#PetersHB09>>. Acesso em: 27 set. 2015.

ISLI, A.; MORATZ, R. **Qualitative spatial representation and reasoning: algebraic models for relative position**. [S.l.]: Univ., Bibliothek des Fachbereichs Informatik, 1999.

LEVINSON, S. **Space in Language and Cognition: Explorations in Cognitive Diversity**. Cambridge University Press, 2003. Disponível em: <<https://antro-ling.wikispaces.com/file/view/Levinson.Space+in+Language+and+Cognition.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

LEVINSON, S. C. Frames of reference and molyneux's question: Crosslinguistic evidence. In: **Language and space**. Cambridge, MA: MIT Press, 1996. p. 109–169–. Disponível em: <http://www.mpi.nl/publications/escidoc-66625/@_@popup>. Acesso em: 27 set. 2015.

LEVIT, M.; ROY, D. Interpretation of spatial language in a map navigation task. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B**, v. 37, n. 3, p. 667–679, 2007. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/tsmc/tsmcb37.html#LevitR07>>. Acesso em: 10 set. 2015.

LIGOZAT, G. . Reasoning about cardinal directions. **Journal of Visual Languages Computing**, v. 9, n. 1, p. 23 – 44, 1998. ISSN 1045-926X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X97999997>>. Acesso em: 29 set. 2015.

LIU, C.; WALKER, J.; CHAI, J. Y. Ambiguities in spatial language understanding in situated human robot dialogue. In: **AAAI Fall Symposium: Dialog with Robots**. AAAI, 2010. (AAAI Technical Report, FS-10-05). Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/aaais/aaais2010-05.html#LiuWC10>>. Acesso em: 30 set. 2015.

LOETZSCH, M.; STEELS, L. Perspective Alignment in Spatial Language. In: COVENTRY, K. R.; TENBRINK, T.; BATEMAN, J. A. (Ed.). **Spatial Language and Dialogue**. Oxford: Oxford University Press, 2008. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/cs/0605012.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

LÖTZSCH, M. et al. Designing agent behavior with the extensible agent behavior specification language xabsl. In: POLANI, D. et al. (Ed.). **RoboCup**. Springer, 2003. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3020), p. 114–124. ISBN 3-540-22443-2. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/robocup/robocup2003.html#LotzschBBJ03>>. Acesso em: 19 set. 2015.

MEL, B. W. SEEMORE: combining color, shape, and texture histogramming in a neurally inspired approach to visual object recognition. **Neural computation**, v. 9, n. 4, p. 777–804, maio 1997. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9161022>>. Acesso em: 19 set. 2015.

MILLER, G. A.; JOHNSON-LAIRD, P. N. **Language and perception**. [S.l.]: Belknap Press, 1976.

MOHAN, A. C. **Learning qualitative models by an autonomous robot**. [S.l.], 2008. 64 p. (Technical Report / University of Applied Sciences Bonn-Rhein-Sieg, Department of Computer Science, 03-2008). Disponível em: <<https://pub.h-brs.de/frontdoor/index/index/docId/3>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

MORATZ, R. Representing relative direction as a binary relation of oriented points. In: **Proceedings of the 2006 Conference on ECAI 2006: 17th European Conference on Artificial Intelligence August 29 – September 1, 2006, Riva Del Garda, Italy**. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press, 2006. p. 407–411. ISBN 1-58603-642-4. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1567016.1567106>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

MORATZ, R.; RAGNI, M. Qualitative spatial reasoning about relative point position. **Journal of Visual Languages Computing**, v. 19, n. 1, p. 75 – 98, 2008. ISSN 1045-926X. Spatial and Image-based Information Systems. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X06000723>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

MORATZ, R.; RENZ, J.; WOLTER, D. Qualitative spatial reasoning about line segments. In: HORN, W. (Ed.). **ECAI**. IOS Press, 2000. p. 234–238. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/ecai/ecai2000.html#MoratzRW00>>. Acesso em: 30 set. 2015.

MOSSAKOWSKI, T.; MORATZ, R. Qualitative reasoning about relative direction of oriented points. **Artif. Intell.**, Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, UK, v. 180-181, p. 34–45, abr. 2012. ISSN 0004-3702. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2011.10.003>>. Acesso em: 28 set. 2015.

RANDELL, D. A.; CUI, Z.; COHN, A. A Spatial Logic Based on Regions and Connection. In: NEBEL, B.; RICH, C.; SWARTOUT, W. (Ed.). **KR'92. Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference**. San Mateo, California: Morgan Kaufmann, 1992. p. 165–176. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/references/cohn_rcc.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

RANDELL, D. A.; WITKOWSKI, M.; SHANAHAN, M. From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax. In: NEBEL, B. (Ed.). **IJCAI**. Morgan Kaufmann, 2001. p. 57–66. ISBN 1-55860-777-3. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/ijcai/ijcai2001.html#RandellWS01>>. Acesso em: 29 set. 2015.

REGIER, T. **The human semantic potential: Spatial language and constrained connectionism**. Cambridge, MA: MIT Press, 1996. ISBN 0-262-18173-8. Disponível em: <<http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=7544>>. Acesso em: 26 set. 2015.

RENZ, J.; MITRA, D. Qualitative direction calculi with arbitrary granularity. In: ZHANG, C.; GUESGEN, H. W.; YEAP, W.-K. (Ed.). **PRICAI 2004: Trends in Artificial Intelligence**. Springer Berlin Heidelberg, 2004, (Lecture Notes in Computer Science, v. 3157). p. 65–74. ISBN 978-3-540-22817-2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-28633-2_9>. Acesso em: 22 dez. 2015.

RÖFER, T. et al. GermanTeam 2004: The German national RoboCup team. In: NARDI, D. et al. (Ed.). **RoboCup 2004: Robot Soccer World Cup VIII**. Springer, 2005. (Lecture Notes in Artificial Intelligence, v. 3276). Full team report can be downloaded at <http://www.germanteam.org/>. Disponível em: <<http://www.robocup.de/aiboteamhumboldt/papers/2004-07-rc04-GermanTeam2004.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

ROY, D. A trainable visually-grounded spoken language generation system. In: **In: Proc. Int. Conference of Spoken Language Processing (2002)**. [s.n.], 2002. Disponível em: <http://www.media.mit.edu/cogmac/publications/describer_icslp02.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

ROY, D. et al. A trainable spoken language understanding system for visual object selection. In: **7th International Conference on Spoken Language Processing, ICSLP2002 - INTERSPEECH 2002, Denver, Colorado, USA, September 16-20, 2002**. [s.n.], 2002. Disponível em: <http://www.isca-speech.org/archive/icslp_2002/i02_0593.html>. Acesso em: 12 set. 2015.

ROY, D.; HSIAO, K.-Y.; MAVRIDIS, N. Mental imagery for a conversational robot. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B**, v. 34, n. 3, p. 1374–1383, 2004. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/tsmc/tsmcb34.html#RoyHM04>>. Acesso em: 12 set. 2015.

SANTOS, P.; SANTOS, D. N. dos. Towards an image understanding system for multiple viewpoints. In: **Proc. of Simposio Brasileiro de Automação Inteligência (SBAI)**. [s.n.], 2013. p. 1–6. Disponível em: <<http://fei.edu.br/~psantos/sbai13-view.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SANTOS, P. E. Reasoning about depth and motion from an observer’s viewpoint. **Spatial Cognition and Computation**, Taylor & Francis, v. 7, n. 2, p. 133–178, 2007. Disponível em: <<http://fei.edu.br/~psantos/DPC-2007.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SCHÖBER, M. F. Addressee-and object-centered frames of reference in spatial descriptions. In: **American Association for Artificial Intelligence, Working Notes of the 1996 AAAI Spring Symposium on Cognitive and Computational Models of Spatial Representation**. [s.n.], 1996. v. 47, p. 92–100. Disponível em: <<https://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/1996/SS-96-03/SS96-03-012.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

SLEATOR, D.; TEMPERLEY, D. Parsing English with a link grammar. In: **Third International Workshop on Parsing Technologies**. [s.n.], 1993. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/link/pub/www/papers/ps/LG-IWPT93.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2015.

TRAFTON, J. G. et al. Enabling effective human-robot interaction using perspective-taking in robots. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A**, IEEE, v. 35, n. 4, p. 460–470, 2005. Disponível em: <http://www.nrl.navy.mil/lasr/sites/www.nrl.navy.mil.lasr/files/pdfs/trafton.pt_.smc05.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

WEGHE, N. Van de et al. A qualitative trajectory calculus as a basis for representing moving objects in geographical information systems. **Control and Cybernetics**, v. 35, n. 1, p. 97–119, 2006. Disponível em: <<http://www.comp.leeds.ac.uk/qsr/pub/ControlCyb05.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

YU, C.; BALLARD, D. H. On the integration of grounding language and learning objects. In: MCGUINNESS, D. L.; FERGUSON, G. (Ed.). **AAAI**. AAAI Press / The MIT Press, 2004. p. 488–494. ISBN 0-262-51183-5. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/aaai/aaai2004.html#YuB04>>. Acesso em: 12 set. 2015.

ZENDER, H.; KRUIJFF, G.-J. M.; KRUIJFF-KORBAYOVÁ, I. Situated Resolution and Generation of Spatial Referring Expressions for Robotic Assistants. In: **AAAI. Proceedings of the Twenty-first International Joint Conference on Artificial Intelligence**. 2009. Disponível em: <<http://ijcai.org/papers09/Papers/IJCAI09-268.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2015.

APÊNDICE A – ARTIGOS PUBLICADOS

RODRIGUES, F. M. E.; SANTOS, P. E.; LOPES, M. Comunicação de expressões espaciais em sistemas multi-agentes utilizando a ego-esfera qualitativa. In: Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, Brasil, 2015. p. 26–33.

Comunicação de expressões espaciais em sistemas multi-agentes utilizando a Ego-Esfera Qualitativa

Felipe Martino Esposito Rodrigues
fmartino.er@gmail.com
Centro Universitário da FEI

Paulo E. Santos
psantos@fei.edu.br
Centro Universitário da FEI

Marcos Lopes
marcoslopes@usp.br
Universidade de São Paulo

I. RESUMO

A necessidade de representações espaciais e raciocínio espacial é onipresente em Inteligência Artificial. O Raciocínio Espacial Qualitativo tem como desafio fornecer cálculos que permitam a uma máquina representar e raciocinar sobre entidades espaciais. Este trabalho utiliza a definição da Ego-Esfera Qualitativa como base para realizar a comunicação espacial em sistemas multi-agentes utilizando expressões espaciais. A partir da definição dessas regiões, serão estudadas quatro situações referentes a ambientes homogêneos (somente com robôs) e ambientes heterogêneos (com humanos e robôs).

II. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais tornou-se clara a necessidade de desenvolver um sistema robótico capaz de realizar missões de busca e resgate de modo a diminuir, ou até mesmo substituir, o papel de profissionais humanos em ambientes hostis que podem afetar sua integridade física ou psicológica. A fim de atingir tal objetivo, o sistema precisaria identificar objetos em áreas de busca e transmitir informações de localização dos objetos para um humano ou um agente artificial. Para resolver essa questão, é necessário que o sistema consiga lidar com mudanças de referência e perspectivas, assim como entender as informações recebidas, a fim de localizar objetos ou regiões espaciais informadas por outro agente (humano ou robótico).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os conceitos da área de Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ), que tem como objetivo formalizar e executar raciocínio automático a respeito de conhecimento espacial.

Em particular, este trabalho utiliza as definições da Ego-Esfera Qualitativa proposta por Santos and dos Santos [21] na qual o espaço ao redor de um agente é dividido em regiões longitudinais e de altura. Para classificar objetos e outros agentes em uma das regiões, são utilizadas definições do cálculo de configurações de pontos ternários (CCPT) definido por Moratz and Ragni [12].

Além de definir as regiões ao redor do agente, é necessário que um robô compreenda as diferentes perspectivas e referências espaciais para enviar uma declaração linguística com expressões espaciais, assim como para interpretar uma instrução recebida de outro agente. Neste trabalho, serão utilizadas as perspectivas espaciais definidas por Levinson [5] como base para as referências espaciais, enquanto que, para

identificar a expressão espacial correspondente à região em que objetos e outros agentes estão localizados, levando em conta a perspectiva dos agentes, foram utilizados os cálculos propostos por Peters II et al. [14], de modo a possibilitar o estudo de quatro situações:

- Comunicação entre dois robôs: Corresponde à Situação 1, em que um robô localiza um objeto e outro agente robótico, em seguida, envia uma declaração linguística contendo a região na qual o objeto está localizado na Ego-Esfera Qualitativa do segundo agente.
- Comunicação entre um humano e um robô: Corresponde às situações 2, 3 e 4. Nessas situações, o agente robótico localiza um ou mais objetos, assim como o agente humano, e, em seguida, identifica em qual região da Ego-Esfera Qualitativa do agente humano o objeto está localizado. Apenas na situação 4 a localização dos objetos nas regiões da Ego-Esfera Qualitativa é feita em relação ao próprio agente robótico.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Os trabalhos relacionados ao Raciocínio Espacial Qualitativo envolvem navegação de robôs, perspectivas espaciais, identificação de objetos e associação de termos linguísticos a imagens. Têm sido amplamente estudados na comunidade científica.

O trabalho de Pulman et al. [15] propõe utilizar comandos em linguagem natural para navegação de um agente robótico. Em um primeiro experimento, os comandos são restritos a um pequeno conjunto de expressões espaciais com nenhuma referência ao ambiente externo, e somente em um segundo experimento foram inseridas referências ao ambiente externo. O trabalho apresentado por Pulman et al. [15] se assemelha ao trabalho deste artigo por utilizar expressões espaciais em linguagem natural para interação com o agente robótico. O trabalho deste artigo, porém, é diferente deste último por estar focado em localizar objetos em relação a perspectivas espaciais diversas e conseguir classificá-los em uma expressão espacial coerente com a perspectiva do observador.

O trabalho de Liu et al. [9] trata da ambiguidade linguística ao utilizar comandos em linguagem natural com expressões espaciais para um agente robótico, de modo que o trabalho investiga a ambiguidade causada por *frames* de referência distintos, utilizando conceitos de referência apresentados em Levinson [6].

Dentre outros trabalhos que abordam o uso de linguagem natural com expressões espaciais, Burhans et al. [1] apresenta um modelo para identificar expressões espaciais em textos em linguagem natural para, em seguida, realizar uma análise sintática e semântica a fim de interpretar adequadamente as expressões espaciais. Outro trabalho interessante é Guadarrama et al. [3], onde é apresentado um sistema para interagir com um agente robótico em linguagem natural que permite dar comandos ou fazer perguntas (ao agente robótico) referentes à configuração espacial dos objetos no ambiente. O trabalho de Zender et al. [24] apresenta uma forma de gerar e interpretar expressões de referência para comunicação em linguagem natural com agentes robóticos móveis.

Em relação à perspectiva e orientação espacial, o trabalho de Levinson [5] aborda referências espaciais para que um robô consiga interpretar as expressões espaciais que recebe, assim como para enviar declarações linguísticas com as expressões espaciais apropriadas, conforme abordado na seção V. Outra forma de lidar com o problema de percepções espaciais é apresentada em Roy and Mavridis [19], em que um modelo de imagens mentais é proposto. Esse modelo permite que um agente entenda preposições espaciais e identifique sua perspectiva em relação a um objeto de acordo com uma declaração linguística.

O artigo de Levit [7] se relaciona com este trabalho por apresentar um método para interpretar declarações linguísticas com orientações de navegação. Foi projetado, porém, para ambientes 2D e para mapas previamente conhecidos. Também é necessário que o robô identifique os objetos que procura. Os trabalhos [23] e [20], apresentam sistemas capazes de associar palavras com objetos, de modo que o sistema de Roy et al. [20] possa interpretar declarações linguísticas e identificar classes de palavras.

As expressões espaciais fazem necessária a associação de palavras não apenas com objetos, mas principalmente com posições espaciais. Ou seja, as expressões espaciais consistem em orientações que envolvem posições espaciais e o movimento de objetos ou agente. Dessa forma, as expressões espaciais sempre envolvem perspectiva. O trabalho de Steels [22] apresenta um método para associar a perspectiva de um objeto em relação a outro agente, e assim associar a expressão espacial apropriada.

Os trabalhos citados acima estão relacionados ao Raciocínio Espacial Qualitativo, que é crucial para o desenvolvimento deste trabalho e é abordado em mais detalhes na seção IV.

IV. RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO

O Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ) é uma subárea da inteligência artificial que busca desenvolver uma representação formal do conhecimento espacial utilizando entidades básicas e relações primitivas, de modo a permitir métodos eficientes de inferência sobre o espaço. Para isso, o raciocínio espacial qualitativo endereça alguns aspectos do espaço, como *mereologia*, *topologia*, *orientação*, *forma*, *tamanho* e *distância* [10], [17], [2], [16], [8], [11] e [13].

A necessidade de representações espaciais e raciocínio espacial é onipresente em Inteligência Artificial, desde o planejamento e a navegação do robô até a interpretação de informações visuais para a compreensão da linguagem natural. O desafio em REQ é desenvolver cálculos que permitam a uma máquina representar e raciocinar sobre entidades espaciais sem recorrer às técnicas quantitativas tradicionais que prevalecem em, por exemplo, computação gráfica ou visão computacional [2].

Neste trabalho utilizaremos este tipo de representação para que um agente robótico observe uma cena, identifique o posicionamento e a orientação relativas dos objetos e agente e, a partir daí, possa executar as ações apropriadas.

Entre os cálculos mais significativos para este trabalho está o cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT) [12], que apresenta um método para dividir o espaço em torno de um agente em regiões representando a localização relativa de pontos ao redor de uma linha direcionada. Sua principal vantagem é a utilização de distinções mais completas sobre as regiões. Dessa forma, ao localizar um objeto e um segundo agente é possível dividir o espaço ao redor do segundo agente e identificar em qual região o objeto está localizado. Contudo, o trabalho de [12] é somente para ambientes bidimensionais.

A partir das definições do cálculo de configuração de pontos ternários, em Huo et al. [4] foi desenvolvido o 3DCCPT, o qual tem como base as definições de regiões propostas por Moratz and Ragni [12], porém adicionando uma terceira dimensão. A seção IV-A aborda o CCPT em maiores detalhes.

Neste trabalho, o espaço ao redor dos agentes foi dividido utilizando as definições de região da Ego-Esfera Qualitativa, conforme apresentado em Santos and dos Santos [21], enquanto que para classificar os objetos e agentes em uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa são utilizadas as definições do cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT), que utiliza um sistema de referência relativo entre os agentes e objetos envolvidos.

A. Cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT)

O cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT) tem como base um modelo computacional para as relações projetadas em sistemas de referência relativos. Na definição apresentada em Moratz and Ragni [12], é utilizado o sistema de referência relativa particionado conforme a figura 1, onde o espaço ao redor da origem está dividido em 25 regiões espaciais, *straight-front*, *left-front*, *front-left*, *straight-left*, *back-left*, *left-back*, *straight-back*, *back-right*, *right-back*, *straight-right*, *front-right*, *right-front*, *distant* e *close*. Essas regiões correspondem às letras *sf*, *lf*, *fl*, *sl*, *bl*, *lb*, *sb*, *br*, *rb*, *sr*, *fr*, *rf*, *d* e *c*, respectivamente, e pode-se observar na figura 1 que as letras *c* e *d* são inseridas à frente das demais letras e representam a distância da região em relação ao agente localizado no centro *sam*. Dessa forma, quando um agente localiza um segundo agente e um objeto, basta conhecer a orientação espacial do segundo agente para dividir o espaço ao redor do segundo agente corretamente e assim classificar o objeto na região correta.

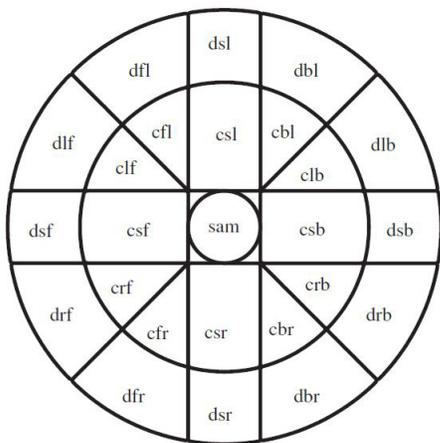


Figura 1. Divisão do espaço ao redor de um agente de acordo com as regiões estabelecidas em Moratz and Ragni [12].

B. Cálculo de configurações de pontos ternários para ambientes tridimensionais

Na seção IV-A foi descrito o cálculo de configuração de pontos ternários para ambientes bidimensionais de acordo com a definição apresentada por Moratz and Ragni [12]. Contudo, no presente trabalho, é essencial o raciocínio espacial qualitativo em ambientes tridimensionais. A partir das definições do cálculo de configuração de pontos ternários, em Huo et al. [4] foi desenvolvido o 3DCCPT, que tem como base as definições de regiões propostas por Moratz and Ragni [12] (figura 1), porém adicionando uma terceira dimensão.

No trabalho apresentado em Santos and dos Santos [21] é proposta a extensão tridimensional do cálculo de configuração de pontos ternários (CCPT), através da definição de um sistema de referência qualitativa tridimensional egocêntrica, chamado de Ego-Esfera Qualitativa, que é similar à Ego-Esfera Sensorial apresentada por Peters II et al. [14].

Em uma Ego-Esfera Qualitativa, o ponto de vista de um robô está na origem da esfera, em que o espaço ao seu redor está discretizado em relação à altitude e longitude e não depende da orientação do agente na origem. Desse modo, longitudinalmente, a esfera está dividida em *at*, que representa uma distância próxima o suficiente para evitar uma colisão entre o objeto e o robô; *near*, que corresponde a uma região que pode ser alcançada em pouco tempo e *far*, que representa uma região que pode ser alcançada após andar algum tempo, que seja maior do que o necessário para alcançar o limite da região *near*. A fronteira da região *far* corresponde ao limite do alcance do sensor do robô. Em relação ao eixo vertical, a esfera está dividida em *upper*, *lower*, *below* e *under*. Assim as fronteiras entre essas regiões são sempre paralelas ao horizonte. Na figura 2 são exibidas as divisões do espaço a partir da origem de uma Ego-Esfera Qualitativa, conforme as definições em Santos and dos Santos [21].

A Ego-Esfera Qualitativa difere do cálculo da configuração de pontos ternários definido em Moratz and Ragni [12] quanto à discretização das regiões ao redor da origem. Enquanto o

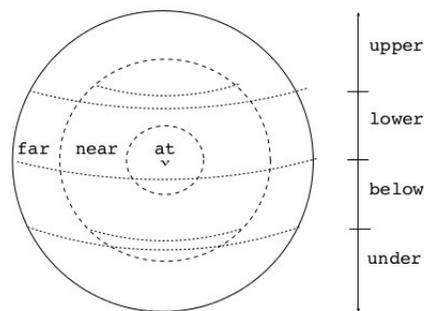


Figura 2. Divisão do espaço em relação à longitude e altura a partir da origem de uma Ego-Esfera Qualitativa [21].

cálculo de configuração de pontos ternários divide o entorno da origem em 12 setores, a Ego-Esfera Qualitativa utiliza uma versão do *Star Calculi* descrito em Renz and Mitra [18], que divide o espaço ao redor da origem em 8 setores. Na figura 3 é exibida a discretização no equador da Ego-Esfera Qualitativa, utilizando *STAR₄* para obter os 8 setores. Cada um dos 8 setores está dividido longitudinalmente nas 3 regiões, *at*, *near* e *far* explicadas anteriormente, totalizando 24 regiões.

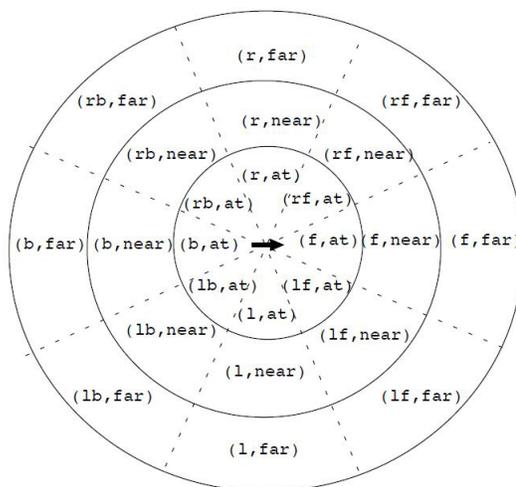


Figura 3. Divisão do espaço ao redor da origem, através do *STAR₄* para dividir em 8 setores. Em seguida, cada setor é dividido longitudinalmente em 3 regiões [21].

Este trabalho utiliza a definição da Ego-Esfera Qualitativa em Santos and dos Santos [21] como base para dividir o espaço ao redor dos agentes envolvidos e classificar os objetos identificados em uma dessas regiões, e assim desenvolver a comunicação espacial entre multi-agentes utilizando expressões espaciais.

Para este trabalho, foi definido que as fronteiras entre *below/under* e *lower/upper* correspondem ao valor do raio da região *near* e que as categorias *below* e *under* somente se aplicam em agentes robóticos aéreos. Finalmente, o limite da fronteira das regiões *far* corresponderá ao limite do sensor do robô.

A fim de obter as coordenadas espaciais dos objetos em relação ao sistema de coordenadas dos agentes que possuem orientação espacial diferente do agente na origem, foram utilizados como base os cálculos propostos em Peters II et al. [14]. Contudo, para que o agente robótico na origem seja capaz de calcular as coordenadas dos objetos em relação ao sistema de coordenadas de outro agente (que pode ser humano ou robótico) que tenha sido previamente identificado em seu próprio sistema de coordenadas, é necessário conhecimento do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas.

No caso em que há apenas agentes robóticos, o segundo agente deverá informar ao primeiro o ângulo correspondente à rotação entre os sistemas de coordenadas. Com essa informação, o agente na origem é capaz de calcular as coordenadas dos objetos e classificá-las em uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa referente ao segundo agente robótico.

Nos casos em que o segundo agente é humano, este deverá informar em que região de sua Ego-Esfera Qualitativa o agente robótico está localizado. Por sua vez, o agente robótico obtém a localização do agente humano através de seu sistema de visão e, assim, consegue calcular o valor do ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas.

V. SITUAÇÕES PROPOSTAS

Nesta seção são apresentadas quatro situações para tratar da comunicação espacial em sistemas multi-agente em ambientes homogêneos (somente com robôs) e heterogêneos (com humanos e robôs). Em uma única situação serão utilizados dois agentes robóticos. Nas demais, um dos agentes é humano e o outro é robótico.

- Situação 1 - Interação Robô-Robô:
Corresponde à comunicação entre dois agentes robóticos. O agente robótico R_1 deverá localizar o agente robótico R_2 , um objeto utilizando o seu sistema de visão, e identificar as coordenadas do agente R_2 e do objeto em relação ao seu sistema de coordenadas. Nesta situação, o agente R_2 deverá informar o ângulo referente à rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes, de forma que o agente R_1 terá conhecimento da orientação do agente R_2 . Dessa forma o agente R_1 deverá ser capaz de aplicar a Ego-Esfera Qualitativa assumindo o agente R_2 no centro, além de poder calcular as coordenadas do objeto no sistema de coordenadas do agente R_2 . Assim, R_1 poderá identificar em qual região da Ego-Esfera Qualitativa de R_2 o objeto está localizado. Por fim, o agente R_1 informa ao agente R_2 em que região da Ego-Esfera Qualitativa o objeto está localizado.
- Situação 2 - Interação Robô-Humano I:
Corresponde à situação em que um dos agentes é humano. Similarmente à situação 1, o agente robótico R_1 deverá localizar o agente humano e um objeto utilizando o seu sistema de visão, identificando as coordenadas do agente humano e do objeto em relação ao seu sistema de coordenadas. Diferentemente da situação 1, nesta situação o agente humano deverá informar em que região da Ego-Esfera Qualitativa (em cujo centro ele se encontra) o

agente robótico está localizado. Dessa forma, o agente R_1 conseguirá identificar a orientação espacial do agente humano e assim calcular as coordenadas do objeto em relação ao sistema de coordenadas do agente humano, para em seguida calcular em que região da Ego-Esfera Qualitativa do agente humano o objeto está localizado. Por fim, o agente R_1 informa ao agente humano em que região da Ego-Esfera Qualitativa o objeto está localizado.

- Situação 3 - Interação Robô-Humano II:
Nesta situação, o método para identificar a orientação espacial do humano e sua localização para calcular o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas é igual ao método descrito na situação 2. Porém, ao contrário da situação 2, neste caso existem vários objetos que podem estar em diferentes regiões da Ego-Esfera Qualitativa do agente humano, e o agente robótico deverá identificar a região em que cada objeto está localizado. Por fim, o agente humano informa ao agente robótico em que região focar a busca por objetos e qual a cor dos objetos que lhe interessam. O agente robótico deverá retornar somente os objetos que estão na região de interesse e são da cor informada pelo humano.
- Situação 4 - Interação Robô-Humano III:
Nesta situação, a localização e a orientação do agente humano é irrelevante. O sistema de visão deverá identificar vários objetos ao redor do agente robótico e classificá-los em uma das regiões da Ego-Esfera Qualitativa (com o agente robótico no centro). Por fim, de maneira similar à situação 3, o agente humano informa ao agente robótico em que região da Ego-Esfera Qualitativa do agente robótico tem interesse em buscar por objetos e qual a cor dos objetos de seu interesse. O agente robótico deverá retornar somente os objetos que estão na região de interesse e são da cor informada pelo humano.

A partir destas situações, desenvolvemos um sistema capaz de lidar com expressões espaciais para diferentes configurações do ambiente. Todas as situações são realizadas em um ambiente interno, onde entendemos como robô um agente visual representado por um sensor Kinect, e os objetos, em princípio, correspondem a blocos coloridos tridimensionais que podem ser colocados sobre uma mesa. Porém, é nosso interesse futuro estender este trabalho para dois robôs móveis (terrestres ou aéreos) e outros tipos de objetos.

VI. IMPLEMENTAÇÃO DAS SITUAÇÕES

A. Situação 1: Interação Robô-Robô.

O código implementado resolve a situação 1 em cinco passos:

- 1 O agente robótico R_1 obtém as coordenadas do agente R_2 e do objeto no ambiente.
- 2 Em seguida recebe o valor do ângulo (Θ) correspondente à rotação entre o sistema de coordenadas dos dois agentes.
- 3 Ao conhecer as coordenadas do agente R_2 foi possível traçar uma reta ligando-os e assim calcular o coeficiente

angular (K) da reta com o sistema de coordenadas do agente R_1 . O cálculo do coeficiente angular (K) é feito através da equação da tangente, e para que o valor do ângulo não seja superior a 360° , é feita uma validação para utilizar o triângulo cujo cateto oposto seja menor que o cateto adjacente.

- 4 Em seguida, o valor do coeficiente angular (K) foi comparado com o valor do ângulo de rotação (Θ) e, dependendo do quadrante que o objeto está localizado (em relação ao agente R_1), o valor de (K) é somado ou subtraído ao valor de (Θ). Dessa forma, é calculado o valor de α que corresponde ao ângulo entre o objeto e o agente robótico R_2 utilizando o sistema de coordenadas do agente R_2 .
- 5 Por fim, utilizando o ângulo α , é possível obter os valores de X e Z em relação ao sistema de coordenadas do agente R_2 .

B. Situação 2: Interação Robô-Humano I.

O código implementado resolve a situação 2 em sete passos:

- 1 Como no passo 1 da situação VI-A, o agente robótico recebe as coordenadas do agente humano e do objeto em relação ao seu sistema de coordenadas.
- 2 O agente humano informa em que região de sua própria Ego-Esfera Qualitativa o agente robótico está localizado.
- 3 O agente robótico utiliza as coordenadas do agente humano e calcula o coeficiente angular em função de seu próprio sistema de coordenadas. Dessa forma, com o valor do coeficiente angular, o agente robótico é capaz de identificar em que região de sua Ego-Esfera Qualitativa o agente humano está localizado.
- 4 Com a informação de localização enviada pelo agente humano, o agente robótico é capaz de calcular um valor aproximado do ângulo de rotação (Θ).
- 5 Equivalente ao passo 3 da situação 1, porém substituindo o agente robótico R_2 pelo agente humano.
- 6 Equivalente ao passo 4 da situação 1, porém substituindo o agente robótico R_2 pelo agente humano.
- 7 Equivalente ao passo 5 da situação 1, porém substituindo o agente robótico R_2 pelo agente humano.

C. Situação 3: Interação Humano-Robô II.

O código implementado resolve a situação 3 em nove passos. Entretanto, os sete primeiros passos são equivalentes à situação 2. A única diferença nesses passos é que as variáveis que contêm informações do objeto foram transformadas em vetores.

- 8 O agente humano informa ao agente robótico em que região de sua Ego-Esfera Qualitativa está procurando por objetos e qual a cor dos objetos que procura.
- 9 O agente robótico faz uma busca nos vetores que armazenam região e cor e retorna à localização dos objetos que atendem às características solicitadas pelo humano.

D. Situação 4: Interação Humano-Robô III.

O código implementado resolve a situação 4 em quatro passos:

- 1 O agente robótico recebe as coordenadas e a cor de cada objeto no ambiente e armazena cada um desses valores em um vetor específico.
- 2 O agente robótico calcula a região em que cada objeto está localizado em sua Ego-Esfera Qualitativa, de forma similar ao passo 3 da situação 2.
- 3 Equivalente ao passo 8 da situação 3, porém a região informada pelo agente humano é referente à Ego-Esfera Qualitativa centrada no agente robótico.
- 4 Equivalente ao passo 9 da situação 3.

VII. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Foi montado um ambiente com um Kinect (agente robótico) posicionado em uma estrutura a 35 centímetros de altura e uma região com 60 graus de abertura foi dividida em raias de 10 graus. A uma distância de 110 cm da origem da câmera está a fronteira entre *At* e *Near*; a fronteira entre *Near* e *Far* está à 180 cm da origem.

Inicialmente foi testado o sistema de visão, de modo que um bloco (com dimensões de 5cm x 5cm x 5cm) foi colocado em 45 lugares dentro do campo de visão do Kinect com o objetivo de obter as coordenadas espaciais do objeto e o ângulo do bloco em relação ao Kinect (o ângulo 0° corresponde a uma reta perpendicular à base do Kinect).

O código para as 4 situações mencionadas no tópico V foi implementado e testado primeiramente utilizando dados simulados, ou seja, foi feito um mapa em escala com a posição dos blocos, agentes e a orientação dos agentes. Em seguida, a posição e orientação dos agentes e blocos foram inseridas no sistema, de tal forma que toda informação proveniente do sistema de visão ou do segundo agente foi inserida manualmente, uma vez que o mapa fornecia as posições dos objetos e agentes. Para validar as respostas do sistema quanto às posições dos blocos, foram utilizados uma régua e um transferidor para verificar no mapa do ambiente se a região da Ego-Esfera Qualitativa do agente correspondia com a resposta do sistema. Utilizando os dados simulados verificamos que todos os valores obtidos estavam dentro de uma margem de erro inferior a 5 centímetros para os valores das coordenadas X e Z , e inferior a 2° para o valor do ângulo em cada situação. todos os valores obtidos mostraram-se dentro de uma margem de erro aceitável para cada situação. Como cada lado dos blocos possui 5 centímetros de largura e cada região da Ego-Esfera Qualitativa tem ângulo de 45° essa margem de erro foi considerada aceitável.

Para o cálculo da margem de erro foram levadas em consideração a precisão da informação enviada pelo agente robótico R_2 e pelo agente humano ao agente R_1 . Na situação 1, o agente R_2 obtém o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas de forma muito mais precisa e, dessa forma, a margem de erro foi menor que 2° . Para as situações que envolvem humanos, o agente humano deve informar em que

região de sua Ego-Esfera Qualitativa o agente robótico está localizado, porém sempre será considerado que o agente robótico está no centro da região informada pelo agente humano. Como cada região possui 45° , caso o agente robótico esteja próximo à fronteira da região, será observado um erro de aproximadamente $22,5^\circ$.

Nesses testes preliminares foi considerado que ambos os agentes estavam na mesma altura, dado que o eixo y correspondente à altura é uma referência absoluta, conforme Levinson [5].

Com os testes realizados com dados simulados, foi possível concluir que o algoritmo para calcular a posição do objeto classifica-a em uma região da Ego-Esfera Qualitativa coerente com a localização do objeto. A partir daí, foram realizados os testes com seres humanos.

O teste feito com humanos, em um primeiro momento, foi realizado sem utilizar o sistema de visão, de modo que a posição dos blocos foi medida manualmente e inserida no sistema para calcular a região e distância dos objetos. Assim, a informação obtida foi utilizada como parâmetro para comparação com as respostas dos voluntários humanos.

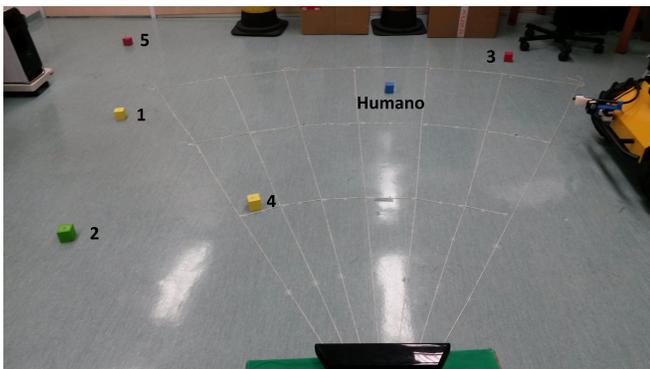


Figura 4. Ambiente de testes.

A figura 4 mostra o ambiente de teste em que um voluntário foi posicionado na frente do Kinect e este estava à esquerda do humano. As posições em que os blocos estavam dispostos correspondem às regiões da Ego-Esfera Qualitativa do agente humano, conforme a tabela I, e as regiões da Ego-Esfera Qualitativa do agente robótico são apresentadas na tabela II. O bloco azul que pode ser observado na imagem representa a posição que o humano deveria ficar e, por esse motivo, não há menção a ele nas tabelas I e II. As linhas brancas que podem ser observadas na imagem e representam o campo de visão do Kinect não estavam disponíveis durante o experimento, a fim de evitar qualquer possível interferência na resposta dos voluntários.

Os voluntários foram informados das oito regiões possíveis (Frente, DireitaFrente, Direita, DireitaAtras, Atras, EsquerdaAtras, Esquerda e EsquerdaFrente) e das três classificações de distância (MuitoPerto (equivalente ao *At* na Ego-Esfera), Perto (equivalente ao *Near* na Ego-Esfera) e Longe (equivalente ao *Far* na Ego-Esfera)). Foram instruídos a classificar os

Bloco	Em relação ao humano
1 - Amarelo	Frente - Perto
2 - Verde	EsquerdaFrente - Perto
3 - Vermelho	DireitaAtras - MuitoPerto
4 - Amarelo	EsquerdaFrente - MuitoPerto
5 - Rosa	DireitaFrente - Longe

Tabela I

TABELA COM O RESULTADO DO SISTEMA A RESPEITO DA REGIÃO E DISTÂNCIA DOS BLOCOS EM RELAÇÃO A EGO-ESFERA DO AGENTE HUMANO.

Bloco	Em relação ao Robô
1 - Amarelo	EsquerdaFrente - Longe
2 - Verde	EsquerdaFrente - MuitoPerto
3 - Vermelho	Frente - Longe
4 - Amarelo	EsquerdaFrente - MuitoPerto
5 - Rosa	EsquerdaFrente - Longe

Tabela II

TABELA COM O RESULTADO DO SISTEMA A RESPEITO DA REGIÃO E DISTÂNCIA DOS BLOCOS EM RELAÇÃO A EGO-ESFERA DO AGENTE ROBÓTICO.

objetos em uma região e distância de acordo com sua própria percepção. Em seguida, foram feitas as seguintes perguntas:

- 1 "Qual a localização do Kinect na sua percepção?"
- 2 "Qual a localização do bloco 2-Verde na sua percepção?"
- 3 "Qual a localização do bloco 2-Verde na percepção do Kinect?"
- 4 "Qual a localização do bloco 3-Vermelho na sua percepção?"
- 5 "Qual a localização do bloco 3-Vermelho na percepção do Kinect?"
- 6 "Qual ou quais blocos você classificaria como *Frente* em relação a você?"
- 7 "Qual ou quais blocos você classificaria como *Frente* em relação ao Kinect?"

A. Teste Situação 1

Para esta situação, foram realizados apenas testes com dados simulados, por serem equivalentes aos resultados que seriam obtidos utilizando dois Kinects. Assim, foi feito um mapa em escala contendo a posição dos agentes e sua orientação (que foram alteradas no decorrer dos testes) e a posição dos blocos (que também foram alteradas no decorrer dos testes) ao redor do agente R_2 . Com um transferidor e uma régua, a posição dos blocos em relação ao ângulo e a distância referentes ao agente R_2 foram obtidas (a partir do sistemas de coordenadas de R_2) a fim de identificar a região correspondente na Ego-Esfera Qualitativa de R_2 . Em seguida, as coordenadas do agente R_2 , dos blocos (no sistema de coordenadas de R_1) e o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas dos dois agentes foram inseridos no sistema (deve-se lembrar que são informações que seriam fornecidas pelo sistema de visão e pelo agente R_2 , respectivamente) e foi obtida como resposta a posição dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa do R_2 a partir da perspectiva do agente R_1 . Foram realizados sessenta e quatro testes, de modo a variar o quadrante (do agente R_1) em que o agente R_2 estava localizado, assim como a localização dos blocos. Foi observado que o erro no valor

das coordenadas não foi superior a 2,5 centímetros, enquanto que o erro no valor do ângulo α foi inferior a 2° . Dessa forma, as respostas do sistema (correspondente à posição do objeto na Ego-Esfera Qualitativa de R_2 a partir da perspectiva de R_1) foram equivalentes aos valores medidos manualmente, que correspondem à posição dos blocos na Ego-Esfera Qualitativa de R_2 a partir da perspectiva de R_2 .

B. Teste Situação 2

Nos testes realizados com dados simulados, observou-se que a região e o valor do ângulo α estavam dentro do esperado e da margem de erro de $22,5^\circ$. Em todos os testes realizados, o agente robótico identificou corretamente a região em que os blocos estavam localizados e retornou somente os blocos que atendiam às especificações fornecidas pelo humano. No experimento com voluntários, as perguntas 1, 2, 4, e 6 correspondem às situações 2 e 3. Foi observado que 100% dos voluntários responderam corretamente que o Kinect estava localizado à *Esquerda* e somente 58,34% (para o bloco 2-Verde) e 41,67% (para o bloco 3-vermelho) dos voluntários responderam corretamente que os blocos 2-Verde e 3-Vermelho estavam nas regiões *EsquerdaFrente - Perto* e *DireitaAtras - MuitoPerto* respectivamente. Uma observação interessante é referente à ambiguidade nas respostas dos voluntários, de modo que todos classificaram o bloco 2-Verde em *Esquerda-Frente* (mas apenas 58,34% acertou a região e a distância), porém na pergunta 6, 50% dos voluntários responderam que classificaria o bloco como *Frente*.

C. Teste Situação 3

Como a situação 3 utiliza todo o código da situação 2, os testes para as duas situações foram feitos com o mesmo conjunto de dados (ver VII-B).

D. Teste Situação 4

Em todos os testes realizados com dados simulados, o agente robótico identificou corretamente a região em que os blocos estavam localizados e retornou somente os blocos que atendiam às especificações fornecidas pelo humano. No experimento com voluntários, as perguntas 3, 5 e 7 correspondem à situação 4. Somente 16,67% dos voluntários responderam corretamente que os blocos 2-Verde e 3-Vermelho estavam nas regiões *EsquerdaFrente - Longe* e *Frente - Longe*, respectivamente. Similarmente às situações 2 e 3, foi observado que a mesma ambiguidade estava presente nas respostas às perguntas referentes ao bloco 3-vermelho, onde 83,33% o classificaram como *DireitaFrente* (mas apenas 16,67% acertou a região e a distância) e na pergunta 7, 66,67% dos voluntários responderam que classificariam o bloco como *Frente* para o Kinect.

E. Resultados Gerais dos Testes

Foi observado que, ao solicitar que o voluntário classificasse um bloco, era feito um certo esforço para classificá-lo em uma das oito regiões previamente informadas. Porém, ao pedir que o voluntário identificasse quais blocos correspondiam a uma

determinada região (como, por exemplo, *Frente*), qualquer objeto no campo de visão era considerado estar à frente, mesmo os que tinham sido classificados em outras regiões como *EsquerdaFrente* (caso do bloco Verde na perspectiva do humano e do bloco vermelho na perspectiva do Kinect, respectivamente correspondentes à ambiguidade observada e descrita nos testes VII-C e VII-D).

Ao analisar a quantidade de respostas corretas quanto a região e distância, somente 33,34% estavam corretas. Entretanto, analisando individualmente as respostas referentes à região e à distância dos blocos, foi observado que o total de acerto de região é de 80%, enquanto que o total de acerto de distância é de 56,25%. Também foi observado que alguns voluntários relataram que ao olhar para atrás a percepção da localização de um bloco (na região *DireitaAtras* do humano) em relação ao Kinect era prejudicada. Desse modo, nota-se que, como o voluntário não possui uma visão global do ambiente, sua percepção de localização de um bloco em relação a uma referência é impactada se o humano perder o contato visual com a referência (neste caso o Kinect).

VIII. DISCUSSÃO

Neste trabalho, uma implementação da Ego-Esfera Qualitativa originalmente proposta em Santos and dos Santos [21] permitiu discretizar o espaço físico ao redor de agentes humanos e robóticos e classificar os objetos identificados qualitativamente. Nos testes com dados simulados, os resultados obtidos foram 100% corretos, enquanto que nos testes com humanos houve 80% de respostas corretas quanto à região e 56,25% quanto à distância. Contudo, as respostas com região e distância corretas representam apenas 33,34% do total de respostas corretas.

Também foi observado que para 66,67% dos voluntários as respostas apresentavam ambiguidades da identificação da região espacial.

Sabendo-se que a pergunta 2 é *equivalente* à pergunta 6, bem como as perguntas 3 e 5 são *equivalentes* à pergunta 7, existe a expectativa de que as classificações dos blocos para as perguntas 2 e 6 deveriam ser iguais (a posição do objeto em relação ao agente é a mesma, só muda a forma como a pergunta é feita), assim como para as perguntas 3, 5 e 7.

Com os resultados obtidos, pode-se concluir que, apesar da ambiguidade observada, a Ego-Esfera Qualitativa apresenta bons resultados ao discretizar o espaço ao redor de um agente, por apresentar uma alta taxa de acertos nos testes com humanos. Porém, para reduzir os efeitos da ambiguidade e da generalização, causada pela percepção humana de que *Frente* é praticamente tudo o que está em seu campo de visão, e de que *Atrás* é tudo o que está fora do campo de visão, é necessário adaptar a Ego-Esfera Qualitativa redimensionando ou excluindo algumas regiões para que esta fique mais próxima da percepção humana.

IX. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi utilizada a definição da Ego-Esfera Qualitativa como base para realizar a comunicação em sistemas multi-agentes utilizando expressões espaciais. As quatro

situações propostas foram implementadas de modo a abordar ambientes homogêneos (somente com robôs) e ambientes heterogêneos (com humanos e robôs). Nos testes realizados com dados simulados, foram registrados 100% de acerto em todas as situações, enquanto que para os testes com humanos foram observados aproximadamente 50% de acertos nas situações 2 e 3 e aproximadamente 16% de acerto na situação 4. Ao fazer a mesma pergunta de formas diferentes, porém esperando a mesma resposta da pergunta anterior (ou, no mínimo, uma resposta coerente com ela), foi notada a existência de ambiguidades na expressão humana. Ao analisar somente as respostas referentes à região (e desconsiderando a distância), a taxa de acerto dos voluntários foi de 80%. Levando-se em consideração somente a distância, a taxa de acerto foi de 33,34%. Dessa forma, pode-se notar a definição das regiões ao redor do agente é razoável, enquanto que a discretização em distância não reflete a noção de distância usada na linguagem natural. Esse resultado permite chegar à conclusão de que para um humano a percepção de espaço ao redor é *intrínseca*, enquanto que a percepção de distância é *relativa* [5].

Como trabalho futuro, pode-se implementar esse sistema em agentes robóticos reais em conjunto com um sistema de visão capaz de identificar pessoas e objetos mais complexos.

REFERÊNCIAS

- [1] Burhans, D. T., Chopra, R., and Srihari, R. K. (1995). Domain specific understanding of spatial expressions. In *Proceeding of the IJCAI-95 Workshop on Representation and Processing of Spatial Expressions, Montreal*. Citeseer.
- [2] Cohn, A. G. and Renz, J. (2008). Qualitative spatial representation and reasoning. *Handbook of knowledge representation*, 3:551–596.
- [3] Guadarrama, S., Riano, L., Golland, D., Gouhring, D., Jia, Y., Klein, D., Abbeel, P., and Darrell, T. (2013). Grounding spatial relations for human-robot interaction. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on*, pages 1640–1647. IEEE.
- [4] Huo, L., Ouyang, J., and Sun, W. (2013). A model for the 3D relative orientation based on TPCC.
- [5] Levinson, S. C. (1996). Frames of reference and molyneux’s question: Crosslinguistic evidence. *Language and space*, pages 109–169.
- [6] Levinson, S. C. (2003). *Space in language and cognition: Explorations in cognitive diversity*, volume 5. Cambridge University Press.
- [7] Levit, Michael e Roy, D. (2007). Interpretation of spatial language in a map navigation task. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 37(3):667–679.
- [8] Ligozat, G. É. (1998). Reasoning about cardinal directions. *Journal of Visual Languages & Computing*, 9(1):23–44.
- [9] Liu, C., Walker, J., and Chai, J. Y. (2010). Ambiguities in spatial language understanding in situated human robot dialogue. In *AAAI Fall Symposium: Dialog with Robots*.
- [10] Mohan, A. (2008). *Learning qualitative models by an autonomous robot*. University of Applied Sciences Bonn-Rhein-Sieg, Department of Computer Science.
- [11] Moratz, R. (2006). Representing relative direction as a binary relation of oriented points. In *ECAI*, volume 6, pages 407–411.
- [12] Moratz, R. and Ragni, M. (2008). Qualitative spatial reasoning about relative point position. *Journal of Visual Languages & Computing*, 19(1):75–98.
- [13] Mossakowski, T. and Moratz, R. (2012). Qualitative reasoning about relative direction of oriented points. *Artificial Intelligence*, 180:34–45.
- [14] Peters II, R. A., Hambuchen, K. A., and Bodenheimer, R. E. (2009). The sensory ego-sphere: a mediating interface between sensors and cognition. *Autonomous Robots*, 26(1):1–19.
- [15] Pulman, S. et al. (2005). Teaching a robot spatial expressions.
- [16] Randell, D., Witkowski, M., and Shanahan, M. (2001). From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax. In *IJCAI*, pages 57–66.
- [17] Randell, D. A., Cui, Z., and Cohn, A. G. (1992). A spatial logic based on regions and connection. *KR*, 92:165–176.
- [18] Renz, J. and Mitra, D. (2004). Qualitative direction calculi with arbitrary granularity. In *PRICAI*, volume 3157, pages 65–74.
- [19] Roy, Deb e Hsiao, K.-Y. and Mavridis, N. (2004). Mental imagery for a conversational robot. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 34(3):1374–1383.
- [20] Roy, Deb e Gorniak, P., Mukherjee, N., and Juster, J. (2002). A trainable spoken language understanding system for visual object selection. In *INTERSPEECH*.
- [21] Santos, P. and dos Santos, D. N. (2013). Towards an image understanding system for multiple viewpoints. In *Proc. of Simposio Brasileiro de Automação Inteligência (SBAI)*, pages 1–6.
- [22] Steels, Luc e Loetzsch, M. (2008). Perspective alignment in spatial language. *Spatial language and dialogue*, pages 70–89.
- [23] Yu, Chen e Ballard, D. H. (2004). On the integration of grounding language and learning objects. In *AAAI*, volume 4, pages 488–493.
- [24] Zender, H., Kruijff, G.-J. M., and Kruijff-Korbayová, I. (2009). Situated resolution and generation of spatial referring expressions for robotic assistants. In *IJCAI*, pages 1604–1609.