

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

O48e Oliveira, Rafael Rodrigues de, 1981-  
O estudo da modelagem computacional qualitativa através do fenômeno de difusão de gás : um estudo exploratório com estudantes universitários / Rafael Rodrigues de Oliveira. – 2006.  
241 f. : il.

Orientador: Laércio Ferracioli.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Modelagem de dados. 2. Dinâmica dos gases. 3. Termodinâmica. 4. Simulação por computador. I. Ferracioli, Laércio. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53

---

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Rafael Rodrigues de Oliveira**

**O ESTUDO DA MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA  
ATRAVÉS DO FENÔMENO DE DIFUSÃO DE GÁS:  
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM  
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA  
VITÓRIA – ES, ABRIL 2006

**Rafael Rodrigues de Oliveira**

**O ESTUDO DA MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA  
ATRAVÉS DO FENÔMENO DE DIFUSÃO DE GÁS:  
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM  
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS**

Dissertação realizada sob a orientação do Prof. Dr. Laércio Ferracioli, apresentada ao Programa de Pós Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Físicas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA  
VITÓRIA – ES, ABRIL 2006

## **Dedicatória**

A minha mãe e a meu irmão,  
Divina Maria Rodrigues e Leonardo Rodrigues de Oliveira,  
que sempre apoiaram e incentivaram meus estudos.

## **Agradecimentos**

Agradeço aos amigos de graduação em Viçosa, Pablo, Leo, Daniel, Alessandro, Paulo, Édio, Flávia, Marcelo, Paula e Beth, pelos melhores anos de nossas vidas.

Aos amigos da pós-graduação Célio, Francis e Paulo Moscom pelas intermináveis horas de estudo de Quântica e Eletromagnetismo e também pelas escapadas para a cantina do IC-1.

Aos amigos do fantástico time de futebol de salão da Física, terceiro colocado na copa dos IC(s), Roskinha, Belinha, Kabelim, Soneto, Droop, Hermano, Glauber, Piekas, Rovilsom, Patrik, Nikole, It's e Coxinha.

Aos amigos do Model@b, Mara, Leandro, Júnior, Talita, Leandro (Bina), Marlom e Thiéberon, pelos bons momentos passados em nossas horas de trabalho.

Aos amigos da Republica Etanóis em especial ao Cristiano, Leonardo, Rogério, Milso e Marcos.

Ao meu orientador, Prof. Laércio Ferracioli pela sua contribuição à minha formação profissional e intelectual nesses quase dois anos de convivência.

A CAPES pelo suporte financeiro.

*“O valor das coisas não está no tempo que elas duram,  
mas na intensidade com que acontecem.  
Por isso, existem momentos inesquecíveis,  
coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”*

Fernando Pessoa

# Sumário

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
1.INTRODUÇÃO.....	17
1.1.O CONTEXTO DO ESTUDO.....	17
1.2.A ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	19
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1.INTRODUÇÃO.....	20
2.2.A ATIVIDADE DE MODELAGEM NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM.....	21
2.2.1.MODELOS E MODELAGEM.....	21
2.2.2.DA CONCEPÇÃO À CONSTRUÇÃO DE UM MODELO NO COMPUTADOR.....	23
2.2.3.OS MODELOS COMPUTACIONAIS E AS CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES.....	24
2.3.AMBIENTES DE MODELAGEM.....	26
2.3.1.AMBIENTES DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA.....	26
2.3.2.AMBIENTES DE MODELAGEM COMPUTACIONAL SEMIQUANTITATIVA.....	27
2.3.3.AMBIENTES DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA.....	27
2.3.4.TIPOS DE ATIVIDADE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	28
2.4.ESTUDOS BASEADOS NA MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVA.....	29
2.4.1.UM ESTUDO COM AMBIENTE DE MODELAGEM LINUX 88.....	29
2.4.2.UM ESTUDO COM AMBIENTE DE MODELAGEM EXPERT BUILDER PARA O DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES CURRICULARES.....	31
2.5.O AMBIENTE DE MODELAGEM QUALITATIVO BASEADO NA METÁFORA DE OBJETOS E EVENTOS WORLDMAKER E A APRENDIZAGEM EXPLORATÓRIA.....	32
2.5.1.A CONCEPÇÃO DO AMBIENTE DE MODELAGEM QUALITATIVO WORLDMAKER E O PROCESSO DA APRENDIZAGEM.....	32
2.5.2.AUTÔMATOS CELULARES: A BASE DO AMBIENTE WORLDMAKER.....	35
2.5.3.ALGUNS ESTUDOS DESENVOLVIDOS COM O AMBIENTE WORLDMAKER.....	36
2.5.3.1. O AMBIENTE WORLDMAKER NO ENSINO FUNDAMENTAL.....	37

2.5.3.2.O AMBIENTE WORLDMAKER NA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE DIFÍCIL OBSERVAÇÃO.....	40
2.5.3.3.O AMBIENTE WORLDMAKER NA EDUCAÇÃO SUPERIOR.....	41
3.CONCEPÇÃO DO ESTUDO.....	43
3.1.INTRODUÇÃO.....	43
3.2.METODOLOGIA.....	44
3.2.1.EXTRUTURAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	45
3.2.2.O MATERIAL INSTRUCIONAL.....	45
3.2.3.A ESCOLHA DO FENÔMENO DE INTERESSE.....	47
3.2.4.A AMOSTRAGEM.....	48
3.2.5.O DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO.....	48
3.2.6.COLETA DE DADOS.....	49
3.3.O AMBIENTE DE MODELAGEM QUALITATIVA WORLDMAKER: UMA VISÃO GERAL.....	49
3.3.1.PRIMEIRA REGIÃO: OBJETOS E OBJETOS-CENÁRIO.....	51
3.3.2.SEGUNDA REGIÃO: BOTÕES DE PREENCHIMENTO E GRADE DO MUNDO.....	52
3.3.3.TERCEIRA REGIÃO: EXECUÇÃO DO MUNDO E ARQUIVOS.....	53
3.3.4.QUARTA REGIÃO: REGRAS.....	54
3.4.4.1.ENTENDENDO CADA ETAPA DE CONSTRUÇÃO DE UMA REGRA.....	55
3.4.DISSCUSSÃO DO MODELO UTILIZADO NO EXPERIMENTO.....	59
3.4.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO GÁS-RECIPIENTE A PARTIR DOS PASSOS DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS (PCM's).....	60
4.ANALISE DOS DADOS DO SISTEMA GÁS-RECIPIENTE.....	65
4.1.INTRODUÇÃO.....	65
4.2.A TÉCNICA DA REDE SISTÊMICA.....	66
4.3.REDE SISTÊMICA PARA A ANALISE DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	67
4.3.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL: A ANALISE DO TERCEIRO QUARTO E QUINTO PASSOS DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	69
4.3.1.1.ASPECTOS DE DESCRIÇÃO DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	69

4.3.1.2 ASPECTOS DE ANÁLISE DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	70
4.3.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL: A ANÁLISE DO SEXTO PASSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	73
4.3.2.1 ASPECTOS DE DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL .....	74
4.3.2.2 ASPECTOS DA ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	76
4.3.3.ASPECTO CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM: A ANÁLISE DO SÉTIMO, OITAVO E NONO PASSOS DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	78
4.3.3.1.ASPECTOS DE DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	78
4.3.3.2.ASPECTOS DA ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	79
4.4.ANALISE DOS DADOS DAS ATIVIDADES DE MODELAGEM EXPRESSIVA.....	81
4.4.1.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_01.....	81
4.4.1.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	82
4.4.1.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	85
4.4.1.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM1.....	88
4.4.2.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_02.....	95
4.4.2.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	96
4.4.2.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	99
4.4.2.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	100
4.4.3.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_03.....	107
4.4.3.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	107
4.4.3.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	109
4.4.3.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	114
4.4.4.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_04.....	119
4.4.4.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	
4.4.4.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	120
4.4.4.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	123
4.4.5.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_05.....	125
4.4.5.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	126

4.4.5.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	128
4.4.5.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	130
4.4.6.ANALISE DOS DADOS DA DUPLA_06.....	135
4.4.6.1.ASPECTOS DA DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	135
4.4.6.2.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	137
4.4.6.3.ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM.....	140
4.5 RESUMO GERAL DA ANÁLISE DOS DADOS.....	145
4.5.1 SUMÁRIO DE CADA DUPLA PARA A PRIMEIRA REDE: DISCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL.....	145
4.5.1.1.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_01.....	145
4.5.1.2.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_02.....	146
4.5.1.3.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_03.....	147
4.5.1.4.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_04.....	148
4.5.1.5.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_05.....	149
4.5.1.6.DISSCUSSÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_06.....	150
4.5.2.SUMÁRIO EM RELAÇÃO AOS ASPECTOS ABORDADOS NA PRIMEIRA REDE.....	151
4.5.2.1.ASPECTOS DE DESCRIÇÃO.....	151
4.5.2.2.ASPECTOS DE ANÁLISE.....	152
4.5.3.SUMÁRIO DE CADA DUPLA PARA A SEGUNDA REDE: CONSTRUÇÃO DE REGRAS NO PAPEL.....	155
4.5.3.1.CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_01.....	155
4.5.3.2.CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_03.....	156
4.5.3.3.CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_04.....	157
4.5.3.4.CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_05.....	158
4.5.3.5.CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO PAPEL DA DUPLA_06.....	158
4.5.4.SUMÁRIO EM RELAÇÃO AOS ASPECTOS ABORDADOS NA SEGUNDA REDE.....	159
4.5.4.1.ASPECTOS DE DESCRIÇÃO.....	159
4.5.4.2.ASPECTOS DE ANÁLISE.....	160
4.5.5.SUMÁRIO DE CADA DUPLA PARA A TERCEIRA REDE: CONSTRUÇÃO DAS REGRAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL WORLDMAKER.....	162

4.5.5.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_01.....	162
4.5.5.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_02.....	163
4.5.5.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_03.....	164
4.5.5.4. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_04.....	165
4.5.5.5. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_05.....	166
4.5.5.6. CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE MODELAGEM DA DUPLA_06.....	167
4.5.6. SUMÁRIO EM RELAÇÃO AOS ASPECTOS ABORDADOS NA TERCEIRA REDE.....	168
4.5.6.1. ASPECTOS DA DESCRIÇÃO.....	169
4.5.6.2. ASPECTOS DA ANÁLISE.....	170
4.5.7. SUMÁRIO DOS MODELOS FINAIS DE CADA DUPLA.....	170
4.5.7.1. MODELO FINAL DA DUPLA_01.....	171
4.5.7.2. MODELO FINAL DA DUPLA_02.....	172
4.5.7.3. MODELO FINAL DA DUPLA_03.....	172
4.5.7.4. MODELO FINAL DA DUPLA_04.....	173
4.5.7.5. MODELO FINAL DA DUPLA_05.....	174
4.5.7.6. MODELO FINAL DA DUPLA_06.....	175
4.5.7.7. PADRÃO GERAL DE CONSTRUÇÃO DE REGRAS DOS MODELOS FINAIS DAS DUPLAS.....	176
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	184
5.1. INTRODUÇÃO.....	184
5.2. RESPOSTAS AS PERGUNTAS.....	185
5.2.1. QUAIS SÃO OS CRITÉRIOS UTILIZADOS PELAS DUPLAS PARA A LISTAGEM DOS ELEMENTOS IMPORTANTES PARA O MODELO DO SISTEMA GÁS-RECIPIENTE?.....	185
5.2.2. EM QUE ASPECTOS OS PCM5 E PCM6 CONTRIBUÍRAM PARA OS ESTUDANTES INCORPORAREM O FORMALISMO DA FERRAMENTA ANTES DE CONSTRUIREM AS VERSÕES COMPUTACIONAIS?.....	191
5.2.3. QUAIS AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA PRIMEIRA VERSÃO DO MODELO DO SISTEMA GÁS-RECIPIENTE CONSTRUÍDO PELAS DUPLAS NO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVO WORLDMAKER?.....	195

5.2.4	QUAIS SÃO OS PROCEDIMENTOS ADOTADOS PELAS DUPLAS NA MODIFICAÇÃO DA PRIMEIRA VERSÃO DOS MODELOS CONSTRUÍDOS NO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUALITATIVO WORLDMAKER PARA A OBTENÇÃO DOS MODELOS FINAIS?.....	197
5.2.5	CONSIDERANDO O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL WORLDMAKER (PCM7) QUAIS FORAM AS SEQÜÊNCIAS DE ALTERAÇÕES MAIS FREQUENTES OBSERVADAS NAS DIFERENTES VERSÕES DOS MODELOS ATÉ A SUA VERSÃO FINAL?.....	202
5.2.6	CONSIDERANDO O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL WORLDMAKER (PCM7) COMO CARACTERIZAR AS REGRAS DOS MODELOS FINAIS EM RELAÇÃO AO MODELO ESPERADO?.....	203
5.3	AVALIAÇÃO DO MATERIAL INSTRUCIONAL.....	208
5.4	TRABALHOS FUTUROS.....	210
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	213
	APÊNDICE A – TRANSCRIÇÃO DOS DADOS DA DUPLA_03.....	217
	APÊNDICE B – MATERIAL INSTRUCIONAL.....	229

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO III – CONCEPÇÃO DO ESTUDO

Figura 3.1 Layout do ambiente de modelagem WorldMaker.....	50
Figura 3.2 Regiões dos objetos e objetos-cenário.....	51
Figura 3.3 Botões de preenchimento do mundo.....	52
Figura 3.4 Grade do mundo.....	53
Figura 3.5 Botões de execução e manipulação de arquivos.....	53
Figura 3.6 Região das regras.....	54
Figura 3.7 Os três passos de edição de uma regra.....	55
Figura 3.8 Primeiro passo: condição inicial.....	56
Figura 3.9 Segundo passo: mudança executada pela regra.....	57
Figura 3.10 Segunda opção de passo dois.....	57
Figura 3.11 Terceiro passo: resultado da mudança.....	58
Figura 3.12 Objetos partículas de gás e parede do recipiente.....	62
Figura 3.13 Conjunto de regras que compõem o modelo de difusão de gases (a) bounce, (b) swap e (c) jump.....	62
Figura 3.14 Painel de probabilidades das regras construídas para o sistema <i>Gás-Recipiente</i> .....	63
Figura 3.15 Posível disposição dos objetos na grade do mundo.....	63
Figura 3.16: Disposição dos objetos após passado um tempo de simulação.....	64

### CAPÍTULO IV – ANÁLISE DOS DADOS DO SISTEMA GÁS-RECIPIENTE

Figura 4.1 Rede sistêmica do processo de construção de modelos.....	68
Figura 4.2 Rede sistêmica do aspecto de discussão das regras no papel.....	71

Figura 4.3 Formas de construção do PCM6: (a) escrita, (b) escrita/desenhada e (c) desenhada.....	74
Figura 4.4 Erros de preenchimento do PCM6: (a) construção do PCR3 no PCR2, (b) Repetição do PCR2 no PCR3, (c) construção do PCM5 no PCR1 do PCM6 e (d) definição errada do PCR2.....	75
Figura 4.5 Rede sistêmica do aspecto de construção das regras no papel.....	77
Figura 4.6 Rede sistêmica do aspecto de construção das regras no ambiente de modelagem.....	80
Figura 4.7 Rede sistêmica da discussão das regras no papel da Dupla_01.....	82
Figura 4.8 Rede sistêmica da construção das regras no papel da dupla_01.....	85
Figura 4.9 Representação das regras no papel feitas pela dupla_01.....	87
Figura 4.10 Botão de efeito both repel.....	91
Figura 4.11 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_01.....	93
Figura 4.12 Rede Sistêmica da discussão das regras no papel da dupla_02.....	96
Figura 4.13 Representação das regras no papel feitas pela dupla_02.....	99
Figura 4.14 Ícone de efeito final from background.....	101
Figura 4.15 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_02.....	105
Figura 4.16 Rede sistêmica da discussão das regras no papel da dupla3.....	108
Figura 4.17 Representação das regras no papel feitas pela dupla_03.....	110
Figura 4.18 Ícone de efeito bounce.....	111
Figura 4.19 Rede sistêmica da construção das regras no papel da dupla_03.....	114
Figura 4.20 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_03.....	115
Figura 4.21 Rede sistêmica da discussão das regras no papel da dupla_04.....	120
Figura 4.22 Representação das regras no papel feitas pela dupla_04.....	121
Figura 4.23 Rede sistêmica da construção das regras no papel da dupla_04.....	122
Figura 4.24 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_04.....	124
Figura 4.25 Rede sistêmica da discussão das regras no papel da dupla_05.....	126
Figura 4.26 Representação das regras no papel feitas pela dupla5.....	129
Figura 4.27 Rede sistêmica da construção das regras no papel da dupla_05.....	130
Figura 4.28 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_05.....	131
Figura 4.29 Rede sistêmica da discussão das regras no papel da dupla_06.....	136

Figura 4.30 Rede sistêmica da construção das regras no papel da dupla6.....	138
Figura 4.31 Representação das regras no papel feitas pela dupla_06.....	139
Figura 4.32 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da dupla_06.....	142
Figura 4.33 Rede resumo da discussão das regras no papel.....	154
Figura 4.34 Rede resumo da construção das regras no papel.....	161
Figura 4.35 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_01.....	178
Figura 4.36 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_02.....	179
Figura 4.37 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_03.....	180
Figura 4.38 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_04.....	181
Figura 4.39 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_05.....	182
Figura 4.40 Rede sistêmica da construção das regras no WorldMaker da Dupla_06.....	183

## **CAPÍTULO V – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

Figura 5.1 Disposições dos objetos e objetos-cenário na grade do mundo, dupla_01, (b) dupla_02, (c) dupla_03, (d) dupla_04, (e) dupla_05 e (f) dupla_06.....	186
--	-----

## **APÊNDICE A – TRANSCRIÇÃO DOS DADOS DA DUPLA\_01**

Figura 1 Construção das regras no PCM6, dupla_03.....	220
Figura 2 Objetos selecionados pela dupla_03 no WorldMaker.....	221
Figura 3 Primeira tentativa de construção da primeira regra no WorldMaker.....	222
Figura 4 Construção da primeira regra no WorldMaker.....	222
Figura 5 Disposição dos Objetos na grade do Mundo.....	223
Figura 6 PCR1 da Construção da Regra de Movimento.....	224
Figura 7 PCR1 de uma nova regra Bounce.....	224
Figura 8 PCR1 de Uma Nova Regra Bounce.....	225

Figura 9 Construção da Regra Roll.....	225
Figura 10 Construção da Regra Jump.....	226
Figura 11 Segunda Construção da Regra Jump.....	227
Figura 12 Tentativa de Construção da Regra Swap.....	227
Figura 13 Construção da Regra Swap.....	228

## **APÊNDICE B – MATERIAL INSTRUCIONAL**

Figura 1 Tela principal do WorldMaker.....	231
Figura 2 Painel dos objetos e objetos-cenários.....	232
Figura 3 Tipos de preenchimento.....	232
Figura 4 Ferramenta de direções.....	233
Figura 5 Painel das regras.....	233
Figura 6 Passos de criação da regra “raposa come coelho.....	234
Figura 7 Passo 1 – condição inicial.....	234
Figura 8 Passo 2 – mudança executada pela regra .....	235
Figura 9 Outra possibilidade de Passo 2.....	235
Figura 10 Passo 3 – resultado da mudança.....	236
Figura 11 Disposição dos elementos.....	236
Figura 12 Nova disposição dos elementos.....	237
Figura 13 Botões de execução da simulação.....	238
Figura 14 Ferramentas de para criar, abrir e salvar um mundo.....	238
Figura 15 Botão que mostra o painel dos gráficos.....	238
Figura 16 Painel dos gráficos.....	239
Figura 17 Painel onde é editado o que será contado.....	239

## Lista de Tabelas

### **CAPÍTULO IV – ANÁLISE DOS DADOS DO SISTEMA GÁS-RECIPIENTE**

Tabela 4.1 Regras construídas pelas duplas na construção do modelo.....	176
---	-----

### **CAPÍTULO V – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

Tabela 5.1 Objetos definidos por cada dupla no PCM3.....	187
Tabela 5.2 Comparativo entre o número de regras construídas no PCM5 e PCM6	191
Tabela 5.3 Variação das estrutura de regras construídas pelas duplas no PCM5	192
Tabela 5.4 Semelhanças das regras do PCM6 com as regras construídas no WorldMaker.....	193
Tabela 5.5 Comparação entre os objetos definidos e classificados no PCM3 e PCM4 com os objetos escolhidos e classificados no PCM7.....	196
Tabela 5.6 Comparação entre o número de regras construídas no papel com o número de regras construídas na primeira versão do modelo construída no WorldMaker.....	197
Tabela 5.7 Procedimentos utilizados pelas duplas para obtenção das várias versões dos modelos.....	201
Tabela 5.8: Seqüência de implementação de regras no ambiente WorldMaker pelas duplas.....	203

## Resumo

Este estudo exploratório investigou a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo Baseado na Metáfora de Objetos e Eventos denominado *WorldMaker* na investigação do processo de modelagem computacional do fenômeno de *difusão de gás* através de atividade de modelagem no modo expressivo com estudantes universitários provenientes das áreas de Ciências Exatas e Biológicas. Para o desenvolvimento do estudo foi organizado um curso de curta duração com duração média de duas horas que consistiu de dois módulos. Os estudantes foram agrupados em duplas, cada uma formada com estudantes da mesma área de estudo, e as aulas foram ministradas exclusivamente para cada dupla. O material utilizado no primeiro módulo consistia de uma introdução ao estudo da metáfora dos objetos e eventos e ao Ambiente de Modelagem *WorldMaker*, onde os estudantes de cada dupla desenvolveram atividades no modo exploratório; no segundo módulo os estudantes foram solicitados a desenvolver atividades de modelagem expressiva sobre o fenômeno de difusão de gás caracterizado no estudo pelo sistema *gás-recipiente*. As atividades de modelagem de cada dupla foram filmadas em VHS e os dados consistiram do material escrito pelos estudantes das duplas durante o processo de construção dos modelos, dos modelos por eles construídos e das transcrições de suas argumentações feitas a partir do material gravado em VHS. Os dados são de natureza inerentemente qualitativa e para a sua análise foi utilizada a técnica de Rede Sistêmica, onde foram considerados os aspectos relacionados ao Processo de Modelagem Computacional. Os resultados sugerem que os estudantes foram capazes de desenvolver um modelo sobre o fenômeno abordado sendo possível observar dificuldades, habilidades e estratégias no processo de construção de modelos desde a sua primeira versão até a versão final. Esses resultados contribuem tanto para o aprimoramento das atividades de modelagem propostas quanto para o desenvolvimento de um Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo com design apropriado para a implementação dessas atividades.

## Abstract

This exploratory study investigated the use of the Qualitative Computer Modelling Environment based on the *Objects* and *Events* Metaphor named *WorldMaker* in the investigation of the computer modelling process of gas-diffusion phenomenon through modelling activity in an expressive way with students from both Technological and Biological areas. To carry on the study a 2-hour course was organized which one consisted of two modules. Students were separated in couple according to their own areas of study and the classes were done for each couple separately. The instructional material used in the first module consisted of an introduction to study of *Objects and Events* metaphor and to the Qualitative Computer Environment *WorldMaker*, where students from each couple developed activities in the expressive way; in the second module students were asked to develop expressive modelling activities about the gas-diffusion phenomenon characterized in the study as the gas-recipient system. The modelling activities of each couple were recorded in VHS, then the data consisted of the material written by students during the model building process, of the models built by them and of the transcriptions of their argumentations from the video recorded material. All collected data have inherently qualitative nature and to analyse them was used the Systemic Network technique, where the aspects concerned to the Model Building Process were considered. The results suggest that students were able to develop a model about the system in study and show that they presented some difficulties, abilities and strategies in the Model Building Process from the first to the final version. These results give contribution as the improving of the proposed modelling activities as the development of a Qualitative Computer Modelling Environment whit an tailored design to implement these activities.

# Capítulo I

## Introdução

### 1.1 O Contexto do Estudo

Uma das principais atividades da Ciência é a teorização para a construção de modelos que expliquem o mundo a nossa volta. Com o avanço da tecnologia da informática essa importante atividade da Ciência tem se tornado cada vez mais acessível na Educação em Ciências através do desenvolvimento de Ambientes de Modelagem Computacional (Ogborn, 1999). No entanto, via de regra, não é realizada uma avaliação sistemática sobre as reais possibilidades da aplicação e/ou integração desses ambientes no processo de aprendizagem visando escrutinar as vantagens e desvantagens que o uso desses ambientes pode trazer para o estudo de tópicos específicos em Ciências.

Nessa perspectiva o Modelab – Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva – vem desenvolvendo um programa de pesquisa com o objetivo de investigar a integração de ambientes computacionais ao aprendizado exploratório em Ciências através dos conceitos de modelos e modelagem computacional (Ferracioli, 2004). Dessa forma, a investigação tem abordado a modelagem computacional quantitativa, semiquantitativa e qualitativa. A modelagem quantitativa tem sido investigada a partir dos ambientes STELLA – **Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation** – e Vensin que permitem

a construção e simulação de modelos dinâmicos a partir de variáveis, suas relações e seus valores numéricos (e.g. Camiletti & Ferracioli 2001, 2002, Dominicini & Ferracioli, 2005). A modelagem computacional semiquantitativa que permite a construção e simulação de modelos dinâmicos a partir de variáveis, suas relações mas baseada no raciocínio em termos de tendências de variação das quantidades tem sido investigada através do ambiente **WLinkIt** (e.g. Camiletti, 2001, Camiletti & Ferracioli, 2002). Por fim, a investigação da modelagem qualitativa tem sido desenvolvida com o ambiente **WorldMaker** que é um ambiente de modelagem computacional que permite a representação de mundos artificiais a partir da metáfora de objetos e eventos (e.g. Gomes, 2003; Gomes & Ferracioli, 2003, 2005).

O presente trabalho dá continuidade ao estudo da modelagem computacional qualitativa baseada na metáfora de objetos e eventos visando investigar o processo de construção dos modelos por estudantes universitários. O processo de construção dos modelos é analisado desde a sua primeira versão escrita no papel até a sua versão computacional final com enfoque principal na análise da evolução das regras do modelo. O estudo foi desenvolvido a partir de atividades de modelagem computacional expressiva onde os estudantes foram solicitados a construir modelos a partir de suas próprias idéias sobre o fenômeno da *difusão de gás* caracterizado por uma certa quantidade de gás no interior de um recipiente localizado em um canto de uma sala e referenciado por sistema *gás-recipiente*.

Nesse sentido, este estudo foi desenvolvido no contexto da Educação em Ciência buscando a articulação do conhecimento específico de Ciências com o ferramental da tecnologia da informática visando avaliar as possibilidades de integração de um ambiente de modelagem computacional qualitativo ao aprendizado exploratório em Ciências (Ferracioli, 2004).

O objetivo dessa pesquisa é o estudo da modelagem computacional qualitativa expressiva desenvolvida por estudantes universitários, através de Passos de Construção de Modelos (PCM's) que são diretrizes básicas para os estudantes construir seus modelos durante o Processo de Modelagem Computacional (PMC), e formalmente apresentados e discutidos no capítulo II. O estudo foi norteado por cinco questões básicas de pesquisa, apresentadas no capítulo III, que

teve por objetivo o entendimento do Processo de Modelagem Computacional. A base de dados, coletados a partir dos Passos de Construção de Modelos, consistiu de gravações em VHS (áudio-vídeo), material instrucional preenchido pelos estudantes e o modelos construídos pelas duplas ao longo das atividades de modelagem expressivas.

A análise dos dados apresentada no capítulo IV possibilitou as discussões e conclusões geradas pelas questões básicas de pesquisa e respondidas no capítulo V. Dessa forma, foi possível concluir que os Passos de Construção de Modelos (PCMs) constituíram-se em uma metodologia adequada tanto para levar os estudantes a desenvolverem as atividades de modelagem quanto para analisar a evolução dos modelos construídos durante o Processo de Modelagem Computacional. Esta evolução pode ser descrita através da observação dos procedimentos adotados para a modificação das versões dos modelos bem como do processo de construção de regras no papel e sua implementação no ambiente de modelagem. Foi também possível observar habilidades e dificuldades encontradas pelos estudantes na utilização do ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker e sobre a metáfora de *Objetos* e *Eventos* utilizada nesse ambiente, permitindo, dessa forma, inferir diretrizes para o desenvolvimento de um novo ambiente de modelagem computacional qualitativo baseado na metáfora de *Objetos* e *Eventos*.

## 1.2 A Organização da Dissertação

Esta dissertação é organizada em cinco capítulos e dois apêndices que são resumidamente descritos a seguir.

Este Capítulo de Introdução tem o objetivo de situar o leitor no contexto, bem como apresentar de modo sucinto os tópicos que serão desenvolvidos nesse trabalho.

O Capítulo II apresenta o Referencial Teórico onde são apresentados e discutidos os conceitos utilizados no desenvolvimento desse estudo.

O Capítulo III descreve a Concepção do Estudo onde são apresentadas as Questões Básicas de Pesquisa, descrita a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo, bem como uma descrição detalhada do ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker utilizado no estudo.

O Capítulo IV descreve a Análise dos Dados onde é apresentada a técnica das redes sistêmicas utilizada para a análise do processo de modelagem computacional, bem como a análise dos dados referentes às atividades de modelagem expressiva do sistema *gás-recipiente*.

O Capítulo V apresenta a Discussão e Conclusões deste trabalho.

Ao final é disponibilizado um exemplar de transcrição do processo de construção do modelo *gás-recipiente* da Dupla\_03 no Apêndice A e o material instrucional utilizado para o desenvolvimento e coleta dos dados de cada dupla desse estudo no Apêndice B.

# Capítulo II

## Referencial Teórico

### 2.1 Introdução

Este capítulo tem por objetivo abordar questões relacionadas à modelagem desde sua forma mais geral e abstrata até sua forma mais específica e aplicada e apresentar uma revisão de literatura de exemplares de ambientes de modelagem computacional qualitativos utilizados no contexto educacional buscando suporte teórico para o estudo que será desenvolvido.

No contexto educacional a expressão *processo de ensino-aprendizagem* é utilizada de forma indiscriminada e independente do resultado de sua ação. Esse jargão educacional parece ser ambicioso na medida que faz uma conseqüente ligação entre dois processos que não necessariamente ocorrem paralela e simultaneamente que são o *processo de ensino* e o *processo de aprendizagem*. Em uma visão mais abrangente, essa expressão pode ser desdobrada e esses dois processos entendidos como independentes e que podem ser abordados de forma específica de acordo com sua caracterização. Nesta perspectiva, no *processo de ensino* o foco é no professor e no *processo de aprendizagem* o foco é no estudante (Ferracioli, 1999). É importante ressaltar que, neste contexto, esses dois processos podem, eventualmente, mas não de forma pré-estabelecida, ocorrer de forma simultânea.

## **2.2 A Atividade de Modelagem no Processo de Aprendizagem**

Uma abordagem distinta vem sendo investigada no contexto educacional onde se considera, de forma independente, os processos de ensino e de aprendizagem, visando buscar alternativas que permita ao aluno escolher diferentes modalidades para a sua aprendizagem. Essa abordagem é baseada na integração da modelagem computacional ao aprendizado exploratório em Ciências (Ferracioli, 2004). Dessa forma, essa perspectiva proporciona uma ênfase maior no processo da aprendizagem e, conseqüentemente, uma maior enfoque no estudante.

### **2.2.1 Modelos e Modelagem**

Para se definir o que é modelagem será necessário em primeiro lugar, definir o que é um modelo, cuja definição não é simples e depende do contexto de sua aplicação e utilização. Segundo Boulter & Gilbert (1998) um modelo pode ser definido como a representação de uma idéia, um objeto, um evento, um processo ou um sistema. Essa definição pode evoluir em direção ao entendimento de modelos tanto como representações concretas, tais como, um objeto, uma maquete, um protótipo ou um sistema físico, quanto ao entendimento de modelos como representações abstratas, tais como, um pensamento, uma idéia, um evento ou um processo.

Assim, a partir dessa definição pode-se dizer que a modelagem é a atividade humana de construir modelos, sejam eles concretos ou abstratos. Os modelos construídos, por sua vez, são os mais variados possíveis, possuindo aplicabilidade nas mais variadas atividades humanas. O processo de modelagem pode abranger desde um simples jogo ou brinquedo lúdico como, pôr exemplo, um quebra-cabeça onde as crianças vão montando desenhos peça por peça, até uma construção abstrata e sofisticada do pensamento humano que se manifesta na sua forma mais precisa através do pensamento científico. Um exemplo dessa construção abstrata é a geometria de Euclides, ou geometria euclidiana, que é baseada em cinco axiomas e alguns objetos, tais como, ponto, reta e ângulo.

Apesar de toda a variedade e aplicabilidade dos modelos e do processo de modelagem pode-se destacar, segundo Ogborn (1994), pelo menos, três características comuns a todos os modelos:

- Uma coisa é usada no lugar de outra;
- Simplificação e idealização dos recursos de modelagem;
- Tendência de usar os recursos de modelagem para os nossos próprios objetivos.

A primeira característica apontada pelo autor pode ser melhor entendida a partir de uma melhor análise da frase. Uma coisa, o *modelo*, é usada no lugar de outra, *mundo que nos cerca*. A modelagem faz o uso de uma gama de objetos, variáveis, relações e eventos os quais pode-se chamar de elementos que constituem os modelos os quais podem ser construídos ou modelados com a finalidade de representar sistemas e processos do mundo que nos rodeia.

A segunda característica é a simplificação e idealização dos recursos de modelagem. Toda a atividade de modelagem, seja ela uma simples brincadeira de criança até o mais avançado modelo científico, faz o uso de simplificações e idealizações das características, relações ou componentes dos sistemas que se queira representar. Segundo Ogborn (1994) essas características mudam ou evoluem com o tempo, mas são sempre ideais.

Finalmente toda a atividade de modelagem começa com o interesse de se construir ou entender algum processo do mundo que nos cerca. Esse interesse é sempre o de usar os recursos de modelagem para os nossos próprios objetivos sejam eles quais forem.

Essas três características comuns a todos os modelos podem ser resumidas em três palavras; *representação*, *simplificação* e *benefício*. Porém, no contexto educacional é necessário entender como o estudante raciocina e concebe os seus modelos internos e como ele os representa externamente, seja no papel ou em um computador. É também necessário entender se o estudante é capaz de usar

simplificações na atividade de modelagem e, finalmente, avaliar se ele é capaz de se beneficiar dos modelos construídos para entender situações diversas. Pode-se dizer que o objetivo desse estudo é investigar os caminhos percorridos pelos estudantes para representar e construir os seus modelos internos, desde sua forma inicial, que é a concepção ou idéia do estudante, passando por vários estágios intermediários, até chegar a sua forma final, que é a representação computacional.

### **2.2.2 Da Concepção à Construção de um Modelo no Computador**

A concepção de um modelo, seja ela qual for, surge de nossa interação com o mundo que nos cerca. Segundo Normam (1993), na interação com o mundo as pessoas constroem suas próprias idéias, que ele denominava de modelos mentais, sobre as coisas com as quais estão interagindo. Esses modelos mentais são úteis, pois, a partir deles somos capazes de entender fenômenos, relações, processos e obter uma melhor compreensão do mundo ao nosso redor. Porém, para se construir um modelo satisfatório é preciso percorrer um caminho intermediário entre a concepção do modelo e a sua efetiva validação, seja esse modelo computacional ou não.

Camiletti (2001) propôs a utilização de sete passos de construção de modelos como orientação para o desenvolvimento de atividades de modelagem com um ambiente de modelagem computacional semiquantitativo: esses passos vão desde a primeira concepção do modelo escrita em papel, passado pela sua representação no computador até sua validação através de simulações. O objetivo desses passos é levar o estudante a refletir sobre o sistema em estudo para, depois, construir um modelo sobre o mesmo, além de permitir uma análise da evolução de suas idéias. Em uma adaptação desses passos para atividades de modelagem com um ambiente de modelagem computacional qualitativo, Gomes (2003) propôs a utilização de oito passos:

- **1º Passo:** Definição do sistema a ser estudado;
- **2º Passo:** Escolha do fenômeno de interesse;

- **3º Passo:** Listagem dos elementos – objetos – relevantes;
- **4º Passo:** Classificação dos elementos listados em Objeto – Cenários e Objetos;
- **5º Passo:** Construção do modelo através de regras de interação entre os elementos;
- **6º Passo:** Representação das interações no Ambiente WorldMaker;
- **7º Passo:** Simulação;
- **8º Passo:** Validação do modelo.

Considerando o computador como uma máquina de processamento simbólico que permite que a representação de modelos no computador se torne difundida nas mais variadas atividades humana (Ogborn, 1994), pode-se então utilizar a modelagem computacional para levar estudantes a um melhor entendimento de fenômenos de difícil compreensão a partir de suas próprias concepções sobre esses fenômenos. Assim, a integração desses passos de construção de modelos ao processo de modelagem tanto orienta os alunos na construção de seus próprios modelos, podendo levá-los a repensar, compreender e melhorar seus modelos iniciais, quanto poderá se constituir em uma base de dados para se analisar em detalhe o processo de modelagem computacional desenvolvido por eles.

### **2.2.3 Os Modelos Computacionais e as Concepções de Estudantes**

Baseado em suas observações, Normam (1983) aponta algumas características sobre o que define como modelo mental, das quais pode-se avaliar e destacar duas delas:

- Modelos mentais são incompletos.
- As habilidades das pessoas em dinamizar os seus modelos são muito limitadas.

Esses aspectos vão ao encontro de duas características dos modelos computacionais destacados por Forrester (1994): a primeira, que com o uso dos modelos computacionais pode-se analisar o modelo de uma forma completa através

de um todo dinâmico ao invés de fragmentos estáticos, e a segunda, que a modelagem computacional dinamiza os modelos de forma a se poder observar a evolução dinâmica do sistema em foco.

Ogborn & Miller (1994) afirmam que um modelo computacional pode gerar rapidamente resultados que levariam um grande tempo se fossem gerados por cálculos manuais. O fato é trivial, mas suas conseqüências não são. Uma conseqüência imediata é que o ajuste entre o modelo construído no computador e o modelo inicialmente concebido pelo estudante gera uma sistematização a partir de uma rápida simulação computacional do modelo: isto não é simples de se conseguir através do pensamento humano uma vez que os modelos mentais possuem sérias desvantagens. Em parte a fraqueza dos modelos mentais aparecem a partir da deficiência de sistematização e de suas contradições internas (Forrester, 1994). Aliada a esses aspectos, pode-se ressaltar nossa inabilidade mental para extrair conclusões a partir da dinâmica das estruturas que regem os nossos modelos mentais.

Forrester (1994) também aponta que a partir de simulações computacionais podem surgir novos insights sobre comportamentos que dão um novo significado para os modelos concebidos em nossa mente. Esses modelos continuaram a ser a base para a tomada de decisões, mas eles podem se tornar mais relevantes e mais confiáveis a partir da interação com modelos computacionais. Nesse aspecto a reflexão sobre os modelos pode ser complementada pela modelagem computacional, e vice e versa, num constante elo de retroalimentação. Porém, é importante ressaltar que para ir de uma concepção inicial de modelo até um modelo computacional satisfatório é preciso percorrer um caminho intermediário de extrema importância caracterizado pelos passos de construção de modelos, uma vez que eles constituem a base de dados para o entendimento de como os alunos concebem e constroem os seus modelos.

## **2.3 Ambientes de Modelagem Computacional**

Um ambiente de modelagem computacional consiste em uma ferramenta computacional onde o estudante pode construir modelos a partir de suas próprias concepções sobre o fenômeno abordado. Essas ferramentas são denominadas de ambiente de modelagem devido ao fato de haver uma proposta educacional associada à sua utilização. Os ambientes de modelagem computacional podem ser classificados de acordo com o tipo de raciocínio a ele associado, podendo ser quantitativo, semiquantitativo e qualitativo (Gomes, 2003).

### **2.3.1 Ambientes de Modelagem Computacional Quantitativo**

A modelagem baseada no raciocínio quantitativo, também denominada de modelagem matemática, é a forma mais antiga de modelagem e existe antes do advento dos computadores. Esse tipo de modelagem pode ser definido a partir de uma característica geral e comum a quase todos os modelos quantitativos que é o fato do comportamento de muitos sistemas simples poderem ser previstos com precisão usando-se princípios físicos, dada uma condição inicial conhecida (Boohan, 1994). Uma grande variedade de sistemas pode ser descrita dessa forma e isso só é possível devido a linguagem através da qual a Física se expressa, ou seja, a linguagem matemática.

Pode-se dizer, ainda, que os modelos quantitativos possuem dois tipos de variáveis: as dependentes e as independentes. As variáveis independentes são especificadas pelas condições iniciais do problema e as variáveis dependentes são especificadas por relações matemáticas. Assim sendo, um modelo pode ser caracterizado pelas condições iniciais especificadas através de valores das variáveis independentes e pelo cálculo dos valores das variáveis dependentes através das relações algébricas (Boohan, 1994). Dessa forma, o comportamento do modelo quantitativo depende tanto dos valores das variáveis independentes quanto da natureza das relações algébricas entre elas, ou seja, os modelos são constituídos por variáveis independentes, suas relações algébricas e seus valores iniciais. Exemplos de

ambientes de modelagem computacional quantitativo são as planilhas eletrônicas, o ambiente STELLA (e.g. Camiletti & Ferracioli, 2001, 2003; Santos et al, 2000) e o ambiente Vensim (e.g. Dominicini & Ferracioli, 2005).

### **2.3.2 Ambientes de Modelagem Computacional Semiquantitativo**

Bliss (1994) afirma que uma inovação para os programas de aprendizagem exploratória é a utilização da modelagem baseada no raciocínio semiquantitativo. Esse tipo de raciocínio envolve o pensamento de sistemas em termos de relações causais baseadas em variáveis, mas não de seus valores específicos como é demandado pela modelagem quantitativa: envolve o pensamento sobre sistemas em termos de um olhar ou leitura dessas variáveis e sobre as direções de seus efeitos. Assim, este tipo de raciocínio permite a argumentação em termos de tendência das variáveis do sistema como, por exemplo, quanto maior o número de poluentes existentes na atmosfera menor será a qualidade do ar (Camiletti, 2001). Dessa forma este tipo raciocínio pode ser caracterizado pelo entendimento de relações causais entre os elementos do sistema e a análise do efeito nessas relações - acréscimo e decréscimo – mas não o conhecimento dos valores numéricos das relações algébricas. Exemplos de ambientes de modelagem computacional semiquantitativo são ambiente VISQ (e.g. Santos et al, 2001; Santos, 1997) e o ambiente WLinkIt (e.g. Sampaio, 1996; Camiletti & Ferracioli, 2002).

### **2.3.3 Ambientes de Modelagem Computacional Qualitativo**

A modelagem baseada no raciocínio qualitativo tem um objetivo ambicioso que, de acordo com Tompsett (1994), é desvincular o raciocínio do confinamento do mundo matemático. A modelagem, de maneira geral, é extremamente enraizada na matemática, fazendo com que esta atividade fique limitada ao conhecimento científico não permitindo atingir o conhecimento do senso comum dos estudantes de forma adequada.

Uma alternativa de implementação dessas idéias na modelagem qualitativa é a representação de fenômenos baseada na escolha de objetos que interagem de acordo com regras construídas de tal forma que gerem eventos. Esse tipo de modelagem é mais flexível e aberta ao pensamento dos estudantes do que os outros dois tipos discutidos anteriormente, uma vez que não se trabalha, a princípio, com variáveis e suas possíveis relações algébricas (Gomes, 2003). Desse modo o aluno não modela necessariamente usando conhecimento científico e sim usando apenas suas concepções e seus conhecimentos prévios sobre o assunto de interesse.

Nesse sentido, Ogborn (1999) pondera que o raciocínio em termos de variáveis e relações entre essas variáveis não é freqüente em crianças e em indivíduos mais jovens pensam o mundo em termos de objetos e eventos. Visando investigar esse tipo de modelagem através do computador, desenvolveu um ambiente de modelagem computacional qualitativo denominado WorldMaker (Ogborn et al, 1992) que permite a construção de modelos baseados na especificação dos objetos relevantes e das regras que regem o comportamento destes objetos. Este será o ambiente de modelagem utilizado no presente estudo o qual será abordado nas próximas seções e descrito em maior detalhe no próximo capítulo.

#### **2.3.4 Tipos de Atividade de Modelagem Computacional**

Existem dois tipos de atividades utilizando a modelagem computacional denominadas por Mellar & Bliss (1994) de atividade expressiva e a exploratória cuja diferenciação é baseada na relação de interação entre o estudante e a ferramenta computacional.

Na **Atividade Modelagem Exploratória** o estudante é levado a explorar um modelo previamente construído por um professor ou especialista sobre determinado fenômeno, visando leva-lo a confrontar suas concepções com àquelas apresentadas no modelo. Embora nesse tipo de atividade o estudante não explicita suas próprias concepções, ela pode ser de grande valia para, por exemplo, apresentar um ambiente de modelagem computacional ao estudante, promover uma possível

evolução de suas concepções ou mesmo leva-lo a raciocinar em termos abstratos que é uma característica do processo de modelagem (Weeb, 1994).

Na **Atividade de Modelagem Expressiva** o estudante é levado construir seus próprios modelos a partir de suas concepções sobre um fenômeno ou sistema visando elicitá-lo seu conhecimento sobre o assunto. Uma vez construído o modelo o estudante pode simula-lo e, então, comparar os resultados obtidos com os resultados esperados e, caso ache se necessário, modifica-lo em direção a suas concepções ou que esteja de acordo com o esperado.

## **2.4 Estudos Baseados na Modelagem Computacional Qualitativa**

Nesta seção serão apresentados dois relatos de trabalhos desenvolvidos com modelagem baseada no raciocínio qualitativo aplicada na educação e que é o foco de estudo dessa dissertação. Serão abordados estudos desenvolvidos com dois ambientes de modelagem qualitativos: Linx 88 (Bliss & Sakonidis, 1994) e Expert Builder (Webb, 1994). Na próxima seção será abordado o ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker que é o ambiente utilizado no presente estudo: será feita apresentação de sua origem e relatados estudos realizados com o mesmo.

### **2.4.1 Um Estudo com o Ambiente de Modelagem Linx 88**

Bliss & Sakonidis (1994) descrevem o Linx 88 como sendo um ambiente de modelagem qualitativo que permite a construção de hipertextos que relatam *situações* e *ações*. Qualquer situação pode ser associada a três possibilidades de ação: uma ação conduz a uma nova situação e ações distintas podem conduzir a mesma situação. Ambas, *situação* e *ação* são expressas no Linx 88 em forma de texto.

O estudo foi desenvolvido com estudantes de ensino médio a partir de atividades exploratória e expressiva abordando dois temas:

- Assessorar conselho de uma cidade com problemas de tráfego;
- Assessorar o gerente de um shopping a usar seus funcionários para expandir seus negócios.

Na atividade exploratória os estudantes trabalharam com um modelo construído pelo professor e na expressiva eles foram entrevistados para descrever o modelo para em seguida construir seus próprios modelos narrados no ambiente de modelagem. A atividade de modelagem exploratória se dividiu em duas fases: uma onde os alunos exploraram os modelos passo a passo e outra de avaliação onde eles analisaram o modelo como um todo avaliando suas partes e suas respectivas conseqüências para o todo. A atividade de modelagem expressiva foi dividida em três fases: uma de introdução a modelos e modelagem, outra de construção dos modelos e a última de avaliação do modelo construído. Em qualquer das atividades os estudantes eram solicitados a avaliar os modelos de acordo com a estratégia:

- Avaliação de partes convergentes
- Avaliação de partes com conseqüências ruins
- Avaliação de duas partes mal sucedidas
- Comparação de uma parte bem sucedida com uma mal sucedida

Os resultados foram relacionados a cada tipo de atividade de modelagem e os autores relatam que a partir da exploração de modelos previamente construídos, fase exploratória, pode-se perguntar, por exemplo, em que circunstâncias a experiência e os conhecimentos prévios do mundo poderiam ajudar os alunos na interpretação de um modelo. Ou ainda, quando exploravam os modelos os estudantes teriam a noção de que esses modelos constituíam em um sistema de escolhas estruturadas e conectadas. Na avaliação dos modelos qualitativos construídos a partir das entrevistas na fase expressiva, pode-se investigar as habilidades e dificuldade dos estudantes se moverem, a partir de uma narrativa do problema, para a construção de um modelo de escolhas articuladas e baseadas nas

suas narrativas. Os autores relatam que o raciocínio qualitativo é iniciado a partir da narrativa do problema, porém, não é trivial para os estudantes de nível médio transformar essas narrativas em um modelo estruturado de escolhas conectadas. Também, não é fácil para eles explorar modelos que sintetizam um conjunto de escolhas e conseqüências dentro de um todo e nem comparar e avaliar esses modelos.

#### **2.4.2 Um Estudo com o Ambiente de Modelagem Expert Builder para o Desenvolvimento de Atividades Curriculares**

Webb (1994) descreve o ambiente de modelagem Expert Builder como sendo um ambiente de construção de modelos com estruturas em forma de diagramas lógicos. Essas estruturas lógicas são feitas a partir do uso do mouse para a escolha de opções lógicas: a partir do menu essas opções podem ser, por exemplo, *And*, *Or* e *Not*. A representação a partir de diagramas lógicos evita a necessidade de se adotar uma caixa de texto para interpretar as opções existentes.

O relato destaca as observações feitas por professores de ensino fundamental e médio que utilizaram este ambiente de modelagem com estudantes e que identificaram um longo caminho que esses estudantes, de ambos os níveis, puderam trilhar para desenvolver e consolidar seus conhecimentos em vários tópicos específicos a partir da construção ou interação com modelos no ambiente de modelagem.

Nas escolas de ensino fundamental o ambiente Expert Builder foi usado para desenvolver atividades complementares ao currículo e os professores observaram que, a partir do uso desse ambiente de modelagem, os alunos apresentaram melhor desempenho na compreensão de temas relacionados a informação e tecnologia. Apesar da construção de modelos requerer um razoável nível de raciocínio abstrato, o que geralmente ainda não ocorre com as crianças do ensino fundamental, os professores relataram que elas puderam se beneficiar da interação com os modelos previamente construídos.

Nas escolas de ensino médio, além de atividades de modelagem com foco na discussão e organização de idéias de tópicos específicos, a partir de modelos previamente construídos, após uma clara definição dos propósitos da atividade, os estudantes foram levados a construir seus próprios modelos baseados em suas concepções.

A autora relata que a partir das observações dos professores de ensino fundamental e do ensino médio foi possível concluir que crianças entre 8 e 11 anos de idade já eram capazes de construir seus próprios modelos simples. Outro resultado relevante relatado pelo professores foi de que eles observaram que a atividade de modelagem exploratória parece ser uma boa alternativa de introdução da modelagem aos estudantes, mesmo que de início eles não sejam capazes de construir seus próprios modelos: crianças que começaram a trabalhar com modelagem exploratória teriam menor dificuldade para criar seus próprios modelos no futuro.

## **2.5 O Ambiente de Modelagem Qualitativo Baseado na Metáfora de Objetos e Eventos WorldMaker e a Aprendizagem Exploratória**

Com o avanço da tecnologia da informática, vários ambientes de modelagem computacional têm sido desenvolvidos visando sua integração no contexto educacional. No contexto de Educação em Ciências e Tecnologia, em 1994 foi produzida a primeira versão do ambiente WorldMaker baseado nas regras dos autômatos celulares. Esta seção apresenta as bases teóricas desse ambiente e a revisão de alguns estudos desenvolvidos.

### **2.5.1 A Concepção do Ambiente de Modelagem Qualitativo WorldMaker e o Processo da Aprendizagem**

Ogborn (1999) analisa o processo da aprendizagem classificando-o em cinco estágios:

1. Aprendizado de alguma aritmética: ensino fundamental
2. Aprendizado de alguma álgebra: ensino médio
3. Aprendizado de cálculo: ensino superior
4. Aprendizado de cálculo computacional
5. Utilização de modelos computacionais.

O número de estudantes que chegam até o quinto estágio é reduzido e, somente estudantes de matemática, ciência, e engenharia chegam até o terceiro estágio, sendo que os dois últimos estágios só são alcançados em cursos de pós-graduação.

Além de se mostrar contrário a esse processo da aprendizagem o autor propõe uma seqüência para a aprendizagem baseada no uso de modelos computacionais e argumenta que a partir do processo de construção dos modelos é que os estudantes devem aprender mais sobre matemática. Assim, propõe que o processo de aprendizagem deve seguir a seguinte seqüência:

- Construção de alguns modelos computacionais, para aprender alguma aritmética;
- Construção de mais modelos computacionais, para aprender alguma álgebra.
- Análise dos modelos computacionais, para aprender cálculo.

O autor expõe algumas justificativas para se adotar essa seqüência no processo da aprendizagem afirmando, primeiramente, que quando os estudantes modelam, eles começam a pensar matematicamente. Em segundo lugar quando os estudantes começam a comparar os modelos e analisá-los, eles podem ser conduzidos a entender estruturas matemáticas mais profundas, como por exemplo o cálculo, a partir da noção de mudança de taxa. No entanto, é necessário compreender como as pessoas tentam entender o mundo ao seu redor, pois, dessa forma, pode-se explorar melhor os aspectos relacionados às concepções que as pessoas têm em relação à modelagem de fenômenos da natureza.

Dessa forma, refletindo a respeito de como as pessoas tentam construir os seus modelos mentais, formulou duas hipóteses fundamentais, baseada na premissa de

que as pessoas pensam através de objetos imaginários e eventos, e que deram sustentação à concepção de um ambiente de modelagem computacional qualitativo:

- *Necessitamos de um sistema de modelagem computacional que expresse os modelos em termos de objetos e ações desses objetos uns com os outros;*
- *Necessitamos de um sistema de modelagem computacional que expresse relações entre coisas grandes e pequenas, acréscimo e decréscimo, porém, sem usar variáveis e equações matemática.*

Dessa forma, o WorldMaker (Ogborn et al, 1992) é fundamentado para que os modelos neles construído sejam baseados em objetos e eventos, ou seja, *objetos* interagem uns com os outros e com os lugares onde vivem, *Objetos-Cenário* gerando eventos, mas não sendo necessário expressar essas interações em termos de variáveis e equações.

Segundo o autor o WorldMaker foi construído com o objetivo de tornar acessível a prática da modelagem para as crianças desde seus primeiros estágios de desenvolvimento intelectual, uma vez que, a princípio, a modelagem no ambiente de modelagem computacional qualitativo é acessível a criança mais novas por fazer o uso apenas de objetos e eventos. No entanto, o uso do WorldMaker não se restringe apenas com crianças em seus primeiros estágios de desenvolvimento intelectual, pois os modelos construídos no ambiente podem ser complexos tanto na sua construções quanto nos resultados por eles gerados. Dessa forma, pode-se construir modelos simples ou complexos nos mais variados tópicos de Ciência que são estudados desde o ensino fundamental até a educação superior.

A autor destaca alguns resultados obtidos com a utilização do WorldMaker no contexto escolar. Em primeiro lugar pode-se constatar que a idéia de se fazer modelos a partir de objetos e eventos é de fácil compreensão para os estudantes que rapidamente aprendem a fazer e interpretar as regras dos modelos (Ogborn, 1999). Um segundo ponto é que os estudantes têm dificuldades em estabelecer quais são as ações fundamentais que ocorrem em um sistema para se construir o modelo: o que ocorre freqüentemente é que os estudantes têm uma explosão inicial

de idéias, mas, ao final, constroem somente poucas regras. A autor argumenta que este fato ocorre pelo fato das pessoas freqüentemente serem levadas a pensar que quanto mais complexo é um modelo, mais preciso ele será. Especificamente com o WorldMaker essa complexidade só é atingida quando são inseridas muitas regras no modelo.

A maioria dos modelos possui uma representação simples no ambiente WorldMaker e o autor exemplifica com o modelo *predador-presa* que representa o equilíbrio entre duas espécies e apresenta um comportamento de equilíbrio oscilatório complexo que é conseguido a partir de um conjunto simplificado de dez regras (Ogborn, 1999). Destaca, ainda, um aspecto ao qual denominou de *aspecto matemático do WorldMaker*, que é o fato de se poder construir os mesmos modelos com os mesmos objetos e regras, porém, atribuindo diferentes nomes para os objetos e para as regras de cada modelo. Desse modo, o estudante é levado a observar que os modelos possuem o mesmo comportamento, independentes do nome que se dá aos objetos e regras. Assim, o autor ressalta que o aspecto mais importante dos modelos construídos no WorldMaker é o fato de que apenas com algumas regras é possível representar aspectos importantes do mundo que nos rodeia, fato esse que é aprendido lentamente pelos estudantes, uma vez que esse aprendizado requer um longo tempo de experiência com modelos, sendo este um dos aspectos motivadores do presente estudo.

### **2.5.2 Autômatos Celulares: A Base do Ambiente WorldMaker**

O ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker é uma ferramentas computacional desenvolvida a partir do conceito dos autômatos celulares. A teoria sobre autômatos celulares foi desenvolvida por John Von Neumam (1903-1957) e Stanislaw Marcin Ulam (1909-1984) a partir de seus interesses por matemática e estruturas de auto-reprodução.

Um autômato celular consiste em um arranjo de células onde cada célula pode existir dentro de um reduzido número de estados possíveis, e.g. on-off, high-mediun-low. Ele é guiado no tempo pelas mesmas regras, aplicadas a todas as células e

todas as interações, para determinar os estados das células nas próximas gerações (Gomes, 2003). As regras que governam a dinâmica dos autômatos celulares são, em geral, simples e só dependem dos vizinhos adjacentes dos autômatos celulares.

A idéia e a simplicidade na construção de modelos através dos autômatos celulares e a possibilidade de visualização do comportamento de modelos tem gerado interesse em se investigar a sua aplicação na educação em ciência e matemática, sendo o ambiente de modelagem computacional WorldMaker um exemplar deste interesse.

De acordo com Boohan (1994) o conceito de autômatos celulares parece satisfazer e capacitar crianças a criar seus próprios modelos pois, as regras são essencialmente simples e os modelos criados podem mostrar comportamentos que são visualmente atraentes para as crianças. O ambiente de modelagem WorldMaker estende o conceito dos autômatos celulares permitindo que cada célula contenha duas entidades: *Objeto* e *Objeto-Cenário*. Nos autômatos celulares só é permitido uma entidade por célula e essa entidade não pode se mover de uma célula para outra. Os *Objetos-Cenário* comportam-se como um autômato celular típico, ficando sempre fixos nas suas células. Porém, os *Objetos* não são obrigatoriamente fixos e podem se mover de uma célula para outra, bastando para isso que eles, os *Objetos*, possuam regras que determine o seu movimento. A introdução desses *Objetos* faz com que o conceito dos autômatos celulares fique simples para o entendimento das crianças.

### **2.5.3 Alguns Estudos Desenvolvidos com o Ambiente WorldMaker**

Nesta seção serão descritos três estudos que apresentam diferentes abordagens na utilização do ambiente de modelagem WorldMaker. O trabalho de Boohan (1994) com estudantes de ensino fundamental, a proposição de Law (1999) para a simulação de sistemas de difícil observação e a investigação de Gomes (2003) com estudantes universitários.

### 2.5.3.1 O Ambiente WorldMaker no Ensino Fundamental

Desenvolvendo-se tarefas na sala de aula do ensino fundamental, Boohan (1994) observa que os estudantes, em sua maioria, foram capazes de pensar em várias idéias a partir dos modelos que elas interagiram. O problema não era encorajar as crianças a interagir e explorar os modelos, mas, sim garantir que essa interação e exploração fossem produtivas: em geral a melhor produtividade se dava quando o trabalho era feito com problemas que tinham opções de escolhas limitadas e uma clara solução previamente conhecida.

O autor destaca que o trabalho com o ambiente WorldMaker pode ser feito em três perspectivas diferentes:

- *Explorando o Mundo*  
Os alunos já conhecem os Objetos e Objetos-Cenário, os quais já foram criados previamente pelo professor e investigam os modelos escolhendo a disposição dos Objetos e Objetos-Cenário na grade do mundo do WorldMaker;
- *Mudando o Mundo*  
O comportamento dos Objetos e Objetos-Cenário podem ser modificados pela alteração das probabilidades de cada regra;
- *Criando o Mundo*  
Os alunos criam novos tipos de Objetos e Objetos-Cenário e constróem as regras desses Objetos e Objetos-Cenário, criando seus próprios modelos.

Pare se trabalhar em cada uma dessas perspectivas é necessário uma grande variedade de modelos que, em sua maioria, são modelos científicos construídos no WorldMaker e que descrevem por exemplo, crescimento de bactérias, decaimento radioativo, epidemias, dinâmica de populações, difusão de gases, cristalização, reações químicas, entre outros. Esses modelos diferem dos modelos matemáticos pois, em geral os modelos matemáticos são muito mais complexos e difíceis de serem entendidos pelos alunos.

Boohan (1994) destaca que quando um aluno começa a trabalhar com WorldMaker ela não sabe sobre regras. Todos eles vêem apenas o que acontece com os objetos na *grade do mundo*. No entanto, esse tipo de abordagem pode levar os estudantes a entender e explicar o comportamento dos modelos em termos do comportamento de suas partes, como é o exemplo de um aluno de um grupo de idade média de onze anos de idade. Quando eles observavam um modelo de cristalização, o aluno comentou o seguinte: *“As bolas estão grudando a todo momento e quando as bolas que andam aleatoriamente batem nelas, elas também se grudam”*.

Outra observação feita foi a de que os adultos, via de regra, utilizam os modelos para explicar o mundo real, mas as crianças, algumas vezes fazem o caminho inverso, ou seja, usam o mundo real para explicar o modelo. Tentando explicar porque o número de coelhos estava diminuindo em um modelo de população populacional, um grupo de estudantes com idade média de dez anos argumentou:

*“Oh, eles estão diminuindo, porque eles estão andando e eles estão se perdendo.*

*Eles morrem.*

*Porque eles estão ficando velhos.*

*E as pessoas matam eles.*

*Mas não existe ninguém matando eles.”*

A explicação que as pessoas estão matando os coelhos é uma explicação tirada do mundo real e não uma explicação tirada a partir do modelo, pois nesse modelo não existia representação algumas de seres humanos.

O autor aponta que as crianças são capazes de fazer previsões sobre o comportamento de um modelo quando o ajuste de uma regra é mudada. Um exemplo desta situação é tirado de um grupo de crianças com idade média de dez anos que interagiram com um modelo de supermercado e viram os efeitos do comprimento de uma fila. Elas argumentavam:

*“Olhe como eles estão indo. Não existe fila! Eles param quando ela é igual 100 (cliente não entra).*

*Faça ele 0 (cliente entra).*

*Vá para 10 (cliente entra).*

*Coloque 10 em ambos deles.*

*Coloque ele (cliente entra) igual a 10, e veja se a coisa inteira aglomera. E então coloque 100 na entrada.”*

De qualquer forma não é fácil para as crianças predizerem os efeitos na mudança de ajuste das regras, principalmente se elas não estão familiarizadas com a estrutura das regras.

Uma capacidade dos estudantes é ressaltada: criar algumas formas de regras, para depois inferir sobre o possível comportamento da regra se ela fosse construída no WorldMaker. Essas regras podem refletir um comportamento de mundo a nossa volta ou não. Ele destaca o seguinte exemplo, de uma criança de dez anos de idade:

*“O tubarão anda, você vê.*

*Não, o tubarão come peixe.*

*O tubarão anda para uma célula vazia se houver peixe lá.”*

Eventualmente o aluno vê que uma regra pode ser feita, mas ele não acredita nela.

*“O tubarão anda até o peixe - talvez o peixe coma o tubarão.*

*Oh não isso é estúpido!”*

A partir desses resultados Boohan (1994) ressaltava que o ambiente WorldMaker pode ser usado com estudantes, em três estágios, de modo que eles: *usem, mudem* ou *criem* modelos. Assim, esse ambiente de modelagem permite que alunos desde cedo, ensino fundamental, criem seus próprios modelos simples a partir de criação de novas regras, capacitando-os, dessa forma, para a exploração e criação de seus próprios modelos visando o aprendizado de habilidades cognitivas necessários em níveis mais avançadas de estudo.

### 2.5.3.2 O Ambiente WorldMaker na Simulação de Sistemas de Difícil Observação

Law (1999) aborda alguns exemplos de utilização do ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker para representação de fenômenos da natureza que não podem ser observados de uma forma direta. Para a autora, esses fenômenos são, em geral, de difícil compreensão para os estudantes e o seu estudo através da modelagem pode ser muito útil na compreensão dos mesmos. Para exemplificar sua argumentação a autora aborda dois fenômenos específicos: *decaimento radioativo* e *difusão de gases*.

O fenômeno do *Decaimento Radioativo* é considerado pela autora como um exemplo clássico de mudança de probabilidade que conduz ao comportamento determinístico macroscópico. Esses sistemas podem ser construídos e simulados no ambiente WorldMaker com a construção de apenas de uma regra. Primeiramente é necessário definir *dois Objetos* para o mundo: m objeto que represente um *elemento radioativo A* e um outro objeto que represente um átomo de *elemento estável B*, o qual é produto do decaimento de A. Definido esses dois objetos é preciso construir apenas uma regra baseada na seguinte afirmativa: existe uma certa probabilidade que o átomo do *elemento radioativo A* decaia e se transforme no átomo do *elemento estável B* (Law, 1999). Uma vez construído o modelo a simulação mostrará que átomos do *elemento estável B* começaram a aparecer e os átomos do *elemento radioativo A* começaram a decair. Ao mesmo tempo em que o modelo é simulado pode-se acessar um gráfico onde o decaimento do *elemento radioativo A* pode ser observado, esse gráfico é uma curva exponencial decrescente. Uma outra possibilidade a ser explorada a partir desse modelo é a alteração da barra de probabilidade referente a regra construída, essa alteração conduz a diferentes meias vidas que pode-se associar o *elemento radioativo A* à vários átomos radioativos existentes na tabela periódica.

Outro fenômeno que segundo a autora é de difícil compreensão por parte dos alunos é o *Movimento Browniano*. Para o modelo é necessário definir tanto *Objetos* quanto de *Objetos-Cenário*, e construir apenas uma regra que determina que as partículas se movem de uma forma aleatória. A disposição das partículas na *grade do mundo*

pode ser feita de modo que as partículas fiquem juntas em um recipiente que está ligado a outro recipiente vazio, como no caso da expansão livre. Quando o modelo começa a ser simulado nota-se que o número de moléculas do recipiente cheio começa a diminuir e o número de moléculas do recipiente vazio começa a aumentar. De acordo com a autora pode-se representar a densidade de um gás dentro de cada recipiente, uma delas aumentando e a outra diminuindo. Essas densidades podem ser vistas pelos alunos em um gráfico, onde eles observam o comportamento das densidades do gás. A autora ressalta que existem uma série de outros fenômenos que não possuem uma observação direta e que podem ser facilmente modelados e explorados por estudantes, entre eles, massa crítica, reações químicas, cristalização e mudança de estado.

### **2.5.3.3 O Ambiente WorldMaker na Educação Superior**

O ambiente WorldMaker é uma ferramenta de modelagem qualitativa concebida para representar os fenômenos através de objetos e eventos, não necessitando de nenhuma representação em termos de variáveis e equações algébricas. Dessa forma, apesar do WorldMaker poder ser utilizado em atividades de modelagem com estudantes nos seus primeiros estágios de desenvolvimento intelectual, o uso desse ambiente pode ser estendido a estudantes em níveis de escolaridade mais adiantando uma vez que, como destacado anteriormente, os modelos construídos no WorldMaker, podem ser complexos, tanto na sua construção, quanto nos resultados por eles gerados.

Neste contexto Gomes (2003) realizou um experimento com estudantes de nível universitário para estudar dois tópicos específicos em Ciência: *difusão de gás* e *dinâmica populacional*. O experimento foi desenvolvido através de um curso de extensão onde os estudantes eram introduzidos ao ambiente WorldMaker e, em seguida, solicitados a desenvolver atividades de modelagem expressiva sobre os fenômenos citados acima através da metodologia apresentada na seção 2.2.2 deste capítulo. O objetivo do experimento era o de investigar o processo de modelagem computacional através da interação estudante-ambiente de modelagem e estudante-

estudante, uma vez que as atividades de modelagem expressivas foram desenvolvidas em duplas.

Os resultados sugerem que os estudantes foram capazes de desenvolver um modelo sobre cada fenômeno proposto, apresentando uma série de habilidade e dificuldades relacionadas ao processo de modelagem computacional. Dentre as habilidades pode-se citar, uso de analogia com outros modelos, entendimento de probabilidade, sugerir comportamento para o modelo construído antes da simulação, explicar o comportamento de modo qualitativo, analisar o comportamento de diferentes objetos do modelo e alterar o modelo na busca de uma versão esperada. As dificuldades foram relacionadas ao desenvolvimento dos passos de construção de modelos propostos na metodologia de trabalho, criação de regras no ambiente de modelagem e com o idioma da ferramenta. Do trabalho em dupla foi possível observar que, em alguns casos, havia uma seqüência de interação que foram classificadas como *Conflito*, seguida de *Questionamento* e finalizando, via de regra, no *Consenso*. Em relação ao ambiente de modelagem os resultados apontaram a necessidade de modificações na ferramenta visando reduzir a carga cognitiva do estudante.

O presente estudo parte dos resultados de Gomes (2003) visando analisar o processo de evolução dos modelos através da evolução da construção das regras. O próximo capítulo descreve como este estudo foi desenvolvido, apresentando uma descrição detalhada do ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker, a partir de versão desenvolvida em Hong Kong por Law (1998) sob a coordenação de seus criadores. Ao final é apresentada uma descrição detalhada da atividade de modelagem expressiva proposta.

# Capítulo III

## Concepção do Estudo

### 3.1 Introdução

Esse estudo tem o objetivo de investigar o *Processo de Modelagem Computacional (PMC)* através da análise dos *Passos de Construção de Modelos (PCM's)* desenvolvidos por estudantes universitários para o fenômeno de *Difusão de Gás* no Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo baseado na Metáfora de Objetos e Eventos denominado *WorldMaker*. O estudo analisa o processo de construção dos modelos desde a sua primeira versão escrita no papel até a sua versão computacional final com enfoque principal na análise da evolução das regras do modelo.

Neste contexto, o presente estudo foi estruturado a partir das seguintes questões básicas de pesquisa:

1. Quais são os critérios utilizados pelas duplas para a listagem dos elementos importantes para o modelo do sistema *Gás-Recipiente* no Terceiro Passo de Construção de Modelos (PCM3)?

2. Em que aspectos o *Quinto Passo de Construção de Modelos (PCM5)* e o *Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)* contribuíram para os estudantes incorporarem o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais?
3. Quais as principais características da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído pelas duplas no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker?
4. Quais são os procedimentos adotados pelas duplas para implementar as versões finais dos modelos construídos no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker a partir das primeiras versões construídas?
5. Considerando o processo de implementação de regras no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker (PCM7):
  - 5.1 Quais foram as seqüências de alterações mais freqüentes observadas nos modelos até as suas versões finais?
  - 5.2 Como caracterizar as regras dos modelos finais em relação às regras do modelo esperado?

Estabelecida as questões básicas que nortearam esse estudo na próxima seção será descrita a metodologia do experimento.

### **3.2 Metodologia**

O estudo foi desenvolvido a partir da estruturação de um experimento realizado com estudantes de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo durante o semestre 2005/2.

### 3.2.1 Estruturação do Experimento

O experimento foi estruturado em dois módulos com duração de 01 hora cada e seguiu a seguinte programação:

- **Primeiro Módulo (1 hora)**

*Introdução a metáfora de Objetos e Eventos e ao Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker*

- **Segundo Módulo (1 hora)**

*Atividades de modelagem utilizando o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker*

### 3.2.2 O Material Instrucional

O material instrucional utilizado no desenvolvimento desse experimento foi baseado no material de Gomes (2003) com a inclusão de alterações sugeridas pelo autor na conclusão do estudo. O material abordou os seguintes tópicos:

- **Primeiro Módulo**

- ✓ Objetivo: Introdução ao raciocínio em termos de objetos e eventos.
- ✓ Descrição: Estudo da metáfora dos objetos e eventos e introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker através do desenvolvimento de atividades de modelagem exploratórias e expressivas.

- **Segundo Módulo**

- ✓ Objetivo: Desenvolver atividades de modelagem expressiva com o Ambiente de modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.
- ✓ Descrição: As duplas foram solicitadas a desenvolver atividades de modelagem sobre o sistema *Gás-Recipiente*.

No processo de construção de modelos utilizando a metáfora dos objetos e eventos, devem ser identificados, inicialmente, os objetos considerados relevantes para a construção do modelo e as regras que irão reger os seus comportamentos dentro do modelo. Assim, visando orientar os estudantes neste processo Gomes (2003) utilizou uma seqüência de oito passos denominada de *Passos de Construção de Modelos (PCM)* desenvolvida a partir de Camiletti & Ferracioli (2001). Para o presente estudo, a partir de sugestão apresentada por Gomes (2003) na conclusão de seu estudo, foi incluído um passo intermediário no papel que auxiliasse os estudantes a incorporar o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais de seus modelos. Dessa forma, o material instrucional utilizado nesse experimento continha um passo a mais nesse processo, totalizando uma seqüência de nove passos. O passo intermediário acrescido foi o de construção de regras no papel representado pelo *Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)*. Assim, a seqüência de passos final foi:

**1º Passo:** Definição do sistema a ser estudado - **PCM1**

**2º Passo:** Escolha do fenômeno de interesse - **PCM2**

**3º Passo:** Listagem dos elementos importantes - **PCM3**

**4º Passo:** Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objetos - **PCM4**

**5º Passo:** Construção das regras através das interações entre os elementos - **PCM5**

**6º Passo:** Construção de cada regra descrita no 5º passo através de detalhamento de acordo com o ambiente de modelagem descrito na apostila - **PCM6**

**7º Passo:** Representação das interações no ambiente WorldMaker e simulação - **PCM7**

**8º Passo:** Simulação - **PCM8**

**9º Passo:** Validação do modelo - **PCM9**

É importante lembrar que os passos de construção de modelos têm o objetivo de levar o estudante a refletir sobre o fenômeno abordado preparando-o para a construção e representação de um modelo inicial no papel para, então, ir ao computador representa-lo no ambiente de modelagem computacional: a

representação informática é entendida como o estágio final da representação de um fenômeno (Ferracioli, 2004)

Por fim, na atividade de modelagem expressiva foi disponibilizado um texto básico que fornecia informações sobre o sistema a ser modelado com o objetivo de fornecer referências mínimas sobre o mesmo. Baseando-se nas informações contidas no texto as duplas iniciavam a construção do modelo do sistema exposto no texto. Os dois módulos que constituem o material instrucional utilizado por cada dupla para o desenvolvimento das atividades de modelagem expressiva são disponibilizados no Apêndice B.

### **3.2.3 A Escolha do Fenômeno de Interesse**

O critério de escolha do fenômeno foi que ele deveria ser um processo que tivesse interesse científico em relação a um conteúdo específico e também ao processo de modelagem computacional e que, ao mesmo tempo, pudesse ser facilmente discutido em termos de argumentos do cotidiano pelos estudantes.

Dessa forma, o fenômeno escolhido para o desenvolvimento desse estudo foi o da *Difusão de Gás* caracterizado a partir de um sistema constituído de um gás inicialmente confinado em um recipiente e localizado no canto de uma sala que é liberado, espalhando-se por toda a sala e que será referenciado ao longo deste estudo como *Sistema Gás-Recipiente*. Este é um importante sistema que permite estudar os fenômenos de expansão livre de gases que são abordados nas salas de aula apenas em termos de equações matemáticas. Ao final deste capítulo será feita uma descrição dos passos de construção de modelos (PCM's) para este sistema.

### **3.2.4 A Amostragem**

Para a realização desse estudo não foi possível obter uma amostragem aleatória e o estudo foi desenvolvido com estudantes de graduação e pós-graduação do curso de Física e com alunos de graduação de Biologia da Universidade Federal do Espírito Santo selecionados de acordo com a disponibilidade de para participarem do experimento. A amostra foi composta por alunos de ambos os sexos.

### **3.2.5 O Desenvolvimento do Experimento**

O número de estudantes selecionados para participarem do experimento foi 12 os quais foram agrupados em 06 duplas de acordo com a área de estudo de modo que as duplas fossem formadas sempre por estudantes da mesma área. Os módulos do experimento foram ministrados para cada dupla separadamente e todas as atividades desenvolvidas foram gravadas em VHS. Cada dupla realizou os seus módulos em um encontro com duração aproximada de 2 horas, onde o primeiro módulo era realizado na primeira hora e o segundo módulo na última hora de encontro. Ao final do primeiro módulo acontecia um intervalo de 10 minutos antes de começar o segundo módulo.

Durante o experimento foi disponibilizado para cada dupla o material instrucional e um computador para os trabalhos no Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker. O curso foi ministrado nas dependências do ModeLab – Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva – que pertence ao Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo.

No primeiro módulo a aula foi do tipo expositiva sendo que o pesquisador auxiliava as duplas nas atividades propostas. No segundo módulo a dupla foi levada a desenvolver atividades de modelagem computacional sem a interferência do pesquisador. Contudo, devido à algumas dificuldades encontradas pelos estudantes durante o processo de criação do modelo no ambiente de modelagem

computacional, o pesquisador eventualmente interferiu para que fosse preservado o bom andamento da atividade.

### **3.2.6 Coleta de Dados**

O material instrucional fornecido aos estudantes continha espaços em branco para que eles pudessem preencher no decorrer das atividades de modelagem expressiva. Além disso, todos os encontros foram filmados em VHS e posteriormente transcritos. Assim, foi possível obter duas fontes de dados para o processo de análise: o material escrito e filmado em VHS.

Durante a realização do experimento para a Dupla\_02, os estudantes não seguiram a seqüência de passos do material instrucional, desenvolvendo a atividade proposta no Sétimo Passo de Construção de Modelo (PCM7) antes de desenvolver a atividade proposta no Sexto Passo de Construção de Modelo (PCM6). Dessa forma, não foi possível coletar os dados relativos a esse passo. Para a Dupla\_04 não foi possível recuperar o arquivo de áudio que dá origem à transcrição das discussões realizadas durante o Quinto Passo de Construção de Modelo (PCM5), não sendo possível a obtenção dos dados de áudio desse passo. No entanto, mesmo com esses contratemplos, como a base de dados de cada dupla consiste de material escrito e filmado em VHS, essas duplas foram incluídas no processo de análise, uma vez que o conjunto de dados coletados para elas foram suficientes e não prejudicou a análise do processo de modelagem computacional apresentado no Capítulo IV.

## **3.3 O Ambiente de Modelagem WorldMaker: Uma Visão Geral.**

Uma importante parte do trabalho científico é a teorização para a construção de modelos do mundo ao nosso redor (Law, 1999). Essa importante parte da ciência: A construção de modelos do mundo a nossa volta, não é explorada nas escolas, dificultando o entendimento dos estudantes com relação a disciplinas de ciências. Com o avanço da computação, varias ferramentas de modelagem tem sido

desenvolvidas, permitindo dessa forma que os estudantes participem de atividades de construção de modelos (Law, 1999).

Uma dessas ferramentas de modelagem é o WorldMaker, que pode ser usada facilmente pelos estudantes para a construção de modelos que representem fenômenos do mundo que os cerca. Essa ferramenta de modelagem é concebida a partir do conceito de autômatos celulares e representa as interações do mundo através de regras baseadas na metáfora de objetos e eventos. No restante desse capítulo será feita uma descrição geral da ferramenta de modelagem, enfocando-se a construção de regras passo a passo, mapeando-se grande parte das possibilidades dos efeitos que são possíveis de se reproduzir na ferramenta do WorldMaker.

O WorldMaker é uma ferramenta de modelagem que possui um layout simples, Figura 3.1, Esse layout será dividido em quatro regiões. Em cada uma dessas partes será explicado a função de cada botão de uma forma simples e objetiva.

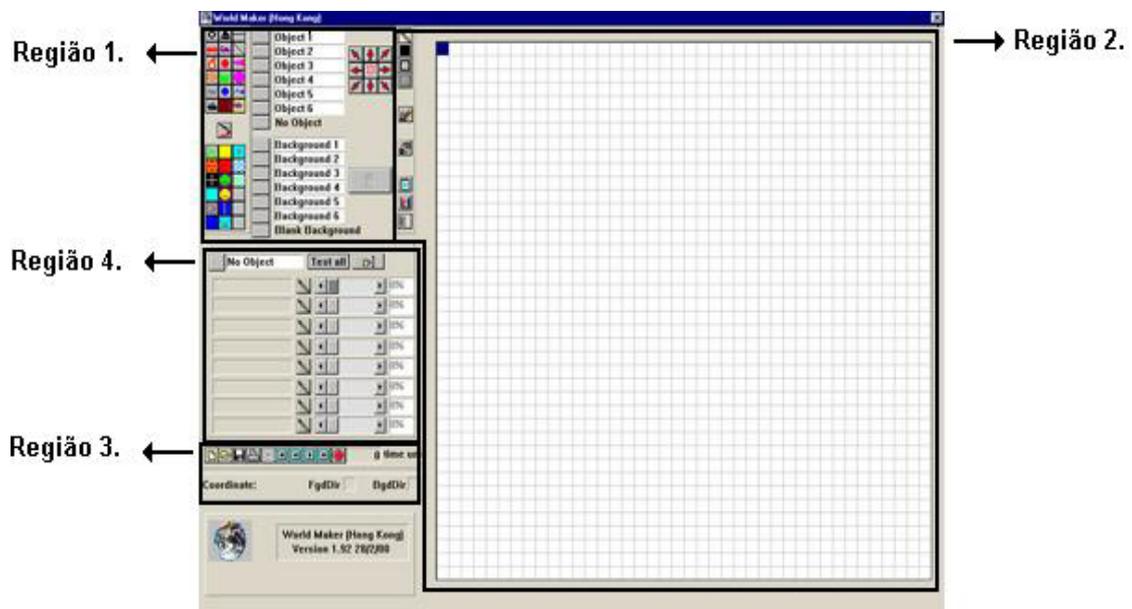


Figura 3.1: Layout do Ambiente de Modelagem WorldMaker.

### 3.3.1 Primeira Região: Objetos e Objetos-Cenários

A Figura 3.2 mostra a região do layout onde ficam localizados os Objetos e Objetos-Cenários que podem compor um modelo ou mundo modelado, mostra também alguns botões com funções associadas aos objetos, como por exemplo o botão 2 que serve para editar novos Objetos e Objetos-Cenário para a grade dos objetos.

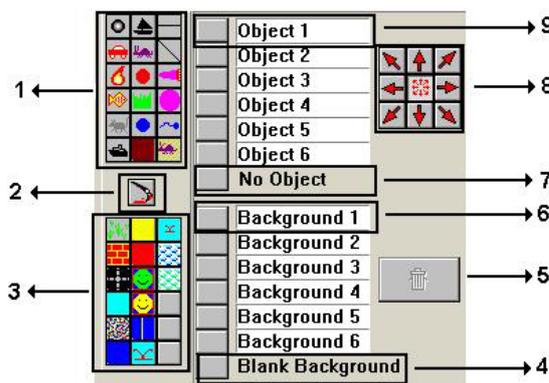


Figura 3.2: Região dos Objetos e Objetos-Cenários.

1 *Grade dos Objetos*: É onde ficam localizados todos os Objetos que podem compor um modelo.

2 *Botão de Edição dos Objetos e Objetos-Cenário*: Permite a edição de novos objetos para compor a grade dos objetos.

3 *Grade dos Objetos-Cenário*: É onde ficam localizados todos os Objetos-Cenário que podem compor um modelo.

4 *Blank Background*: Esse botão é usado quando se deseja apagar apenas Objetos-Cenário na grade dos mundos.

5 *Lixeira*: É usado para excluir objetos ou regras que foram criadas de um modo incorreto dentro de um modelo.

6 *Background*: Essa região é onde coloca-se um dos Objetos-Cenário que vão compor o modelo.

7 *No Object*: É usado quando se deseja apagar apenas Objetos na grade dos mundos (Região 2).

8 *Grade de Direções*: Esses botões associam aos objetos direções, pode-se associar uma única direção a todos os objetos ou direções aleatórias dentre as oito possíveis.

9 *Object*: Essa região é onde coloca-se um dos Objetos que vão compor o modelo.

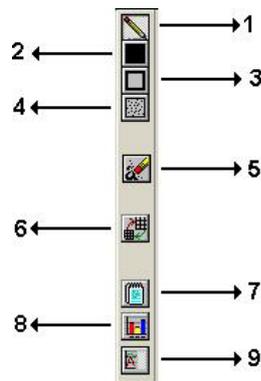
### 3.3.2 Segunda Região: Botões de Preenchimento e Grade do Mundo

A Figura 3.3 mostra a região do layout onde ficam localizados os botões de preenchimento da grade dos mundos e a Figura 3.4 mostra a própria grade dos mundos. Os botões de preenchimento servem para dispor os objetos dentro da grade dos mundos das mais diversas formas possíveis, a grade por sua vez serve como local para as interações dos objetos.

*1 Primeiro Botão de Preenchimento:* Coloca um a um os objetos na grade dos mundos.

*2 Segundo Botão de Preenchimento:* Coloca um retângulo preenchido de objetos na grade dos mundos.

*3 Terceiro Botão de Preenchimento:* Coloca um retângulo não preenchido de objetos na grade dos mundos.



**Figura 3.3:** *Botões de Preenchimento do Mundo.*

*4 Quarto botão de preenchimento:* Coloca os objetos de uma forma aleatória na grade dos mundos.

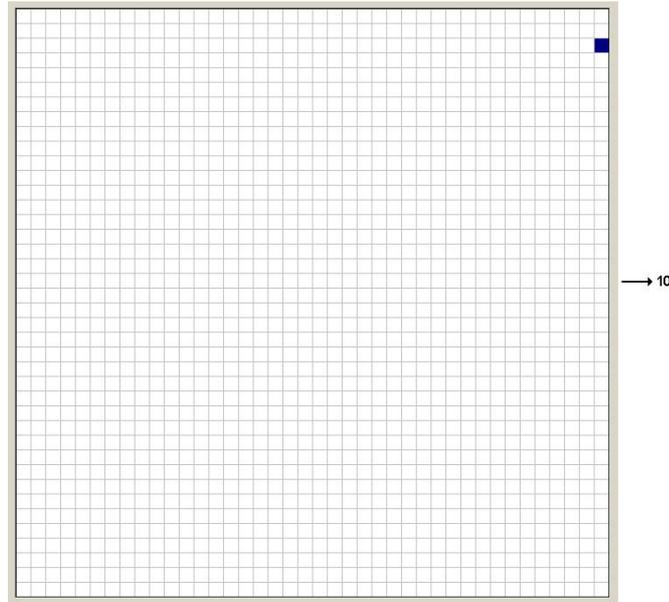
*5 Botão de Limpeza:* Deleta da grade dos mundos todos os objetos dispostos nela.

*6 Configuração da Rede:* Altera a configuração da rede na grade dos mundos de 40X40 para uma configuração de 80X80.

*7 Not Pad:* Aciona um bloco de notas no WorldMaker.

*8 Primeiro Botão de Gráficos:* Faz saídas gráficas de Números de Objetos X Número de Objetos.

*9 Segundo Botão de Gráficos:* Faz saídas gráficas de Objetos X Tempo.

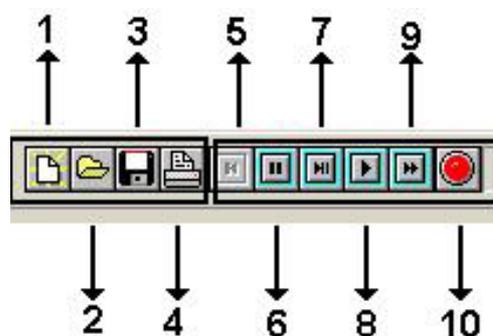


**Figura 3.4:** *Grade do Mundo.*

*10 Grade dos Mundos:* É onde interagem e ficam dispostos os Objetos e Objetos-Cenário que compõem um modelo.

### 3.3.3 Terceira Região: Execução dos Mundos e Arquivos

A Figura 3.5 mostra a região do layout onde ficam localizados os botões de execução dos mundos e os botões para se trabalhar os arquivos do mundo. Os botões de execução dinamizam os modelos construídos e os botões dos arquivos permitem a manipulação dos arquivos criados na construção de um modelo.



**Figura 3.5:** *Botões de Execução e Manipulação de Arquivos.*

*1 Mundo Novo:* Permite que se crie um novo mundo dentro do ambiente.

2 *Abrir Mundo*: Esse botão permite que o usuário abra modelos já prontos, ou guarde mundos modelados.

3 *Salvar*: Permite que o usuário salve um modelo.

4 *Impressão*: Imprime um resumo do modelo feito.

5 *Voltar*: Permite ao usuário voltar uma unidade de tempo na simulação.

6 *Parar*: Faz com que a simulação pare.

7 *Avançar*: Permite avançar o tempo em uma unidade.

8 *Executar*: Esse botão começa a execução do mundo.

9 *Avançar Rapidamente*: Permite o usuário simular o modelo mais rapidamente.

10 *Zerar o Tempo*: Faz com que o tempo de simulação volte ao zero.

### 3.3.4 Quarta Região: Regras

A região quatro mostrada na Figura 3.6 é onde se cria as regras e se associa a elas probabilidades delas ocorrerem. A criação de uma regra será abordada de uma forma mais ampla na próxima seção.

1 *Objetos*: Mostra o objeto selecionado para se construir a regra.

2 *Seqüência das Regras*: Esse botão permite que o usuário modifique a seqüência das regras.

3 *Regras*: Dá acesso as janelas de edição de regras.

4 *Probabilidades*: Essa barra permite que o usuário de uma probabilidade para uma regra acontecer, essa probabilidade varia de zero a cem por cento.

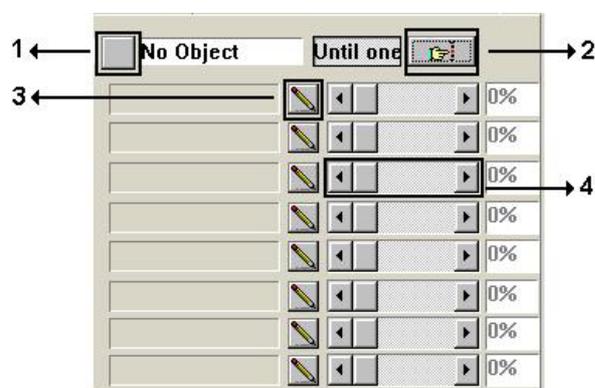
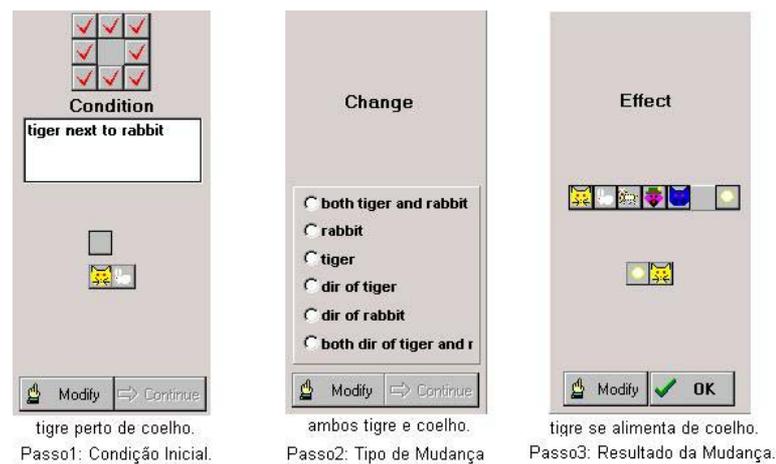


Figura 3.6: Região das Regras.

### 3.3.4.1 Entendendo as Etapas de Construção de Uma Regra

A edição de regras no ambiente de modelagem WorldMaker é a representação feita na "visão" da ferramenta dos acontecimentos do mundo a nossa volta, essa representação feita no ambiente é baseada na lógica de objetos e eventos, vimos na seção anterior que o botão três da Figura 3.6 dá acesso a janela de edição de uma regra. A janela de edição de uma regra é composta basicamente de três etapas ou passos: a primeira etapa é a montagem da *condição inicial* do evento ou regra, a segunda etapa é a escolha do *tipo de mudança* que vai ocorrer com os objetos e a terceira etapa é a montagem do *resultado final* ou efeito do evento. A janela de edição de uma regra específica, e seus respectivos passos podem ser visualizados na Figura 3.7.



**Figura 3.7:** Os Três Passos de Edição de uma Regra

Cada um dos três passos expostos na Figura 3.7 devem ser entendidos como etapas de criação de um mesmo evento. Porém, esses três passos não podem ser entendidos separadamente um do outro: dependendo da condição inicial estabelecida no Passo 1, as possíveis opções no Passo 2 serão diferentes; do mesmo modo, dependendo da opção estabelecida no Passo 2, as possíveis opções do Passo 3 também serão diferentes. Utilizando o exemplo da regra mostrada na Figura 3.7, os passos de construção das regras serão detalhados a seguir.

Para o Passo 1, detalhado na Figura 3.8, temos que:

Se [Passo 1: Condição Inicial]: Tigre ao lado do coelho.

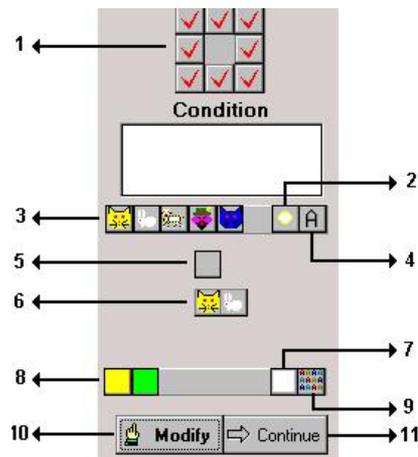


Figura 3.8: Primeiro Passo Condição Inicial(PCR1).

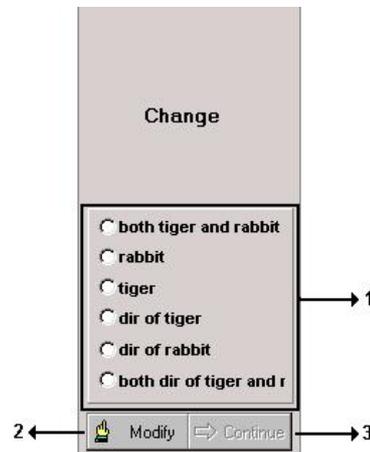
Onde:

- 1 *Grade de direções*: que determina em quais direções os objetos podem se movimentar, existem oito direções possíveis.
- 2 *No Object*: Representa a ausência de objeto.
- 3 *Objetos do Mundo*: Local onde os objetos do mundo criado ficam disponíveis.
- 4 *Any Object*: Representa qualquer objeto do mundo.
- 5 *Ícone da Seta*: Estabelece se o objeto "olhará" em todas as direções ou se apenas na sua direção específica.
- 6 *Objetos da Condição Inicial*: Local onde é estabelecido a condição inicial.
- 7 *Blank Background*: Esse ícone representa a ausência de objeto-cenário no mundo.
- 8 *Objetos-Cenário do Mundo*: Local onde os objetos-cenário do mundo criado ficam disponíveis.
- 9 *Any Background*: Esse ícone representa qualquer objeto-cenário do mundo.
- 10 *Modify*: Inicia/Reinicia a construção do Passo 1.
- 11 *Continue*: Finaliza a condição inicial, levando ao Passo 2.

Na Figura 3.9 é mostrado o Passo 2 em suas duas modalidades. Uma relacionada à mudança nas características do objeto e a outra relacionada ao movimento e à criação do objetos. Assim, de acordo com este passo, a metáfora é a seguinte:

E [Passo 2: Tipo de Mudança.]

Neste caso deve-se escolher as opções de mudanças nas características do objeto: *Objeto* e *direção do Objeto*. Estas são feitas a partir da condição inicial mostrada na Figura 3.8, as possíveis opções no Passo 2 são mostradas na Figura 3.9.



**Figura 3.9:** Segundo Passo Mudança Executada pela Regra (PCR2).

Onde:

- 1 *Tipos de Mudança*: Opções de Mudança que podem ocorrer.
- 2 *Modify*: Inicia/Reinicia a construção do Passo 2.
- 3 *Continue*: Finaliza essa etapa e conduz ao Passo 3.

Uma outra possibilidade de opções para o Passo 2 está relacionado ao *movimento do Objeto* e a *criação de outros Objetos*. Essas opções, mostradas na Figura 3.10, aparecem quando o elemento *No Object*, item 2 da Figura 3.8, é utilizado para estabelecer a condição inicial.

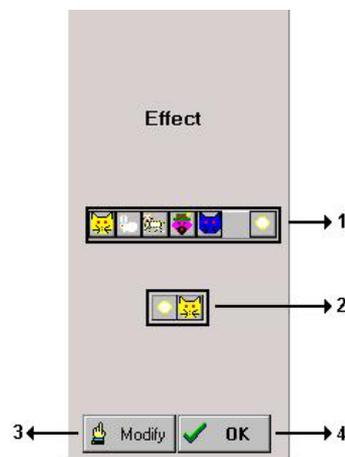


**Figura 3.10:** Segunda Opção de Passo Dois (PCR2).

Finalmente, no Passo 3 é estabelecido o resultado final da mudança da condição inicial. Na Figura 3.11 estão especificadas apenas as opções relacionadas ao Passo 1 da Figura 3.8 pois, dependendo da condição inicial estabelecida no Passo 1 e das escolhas feitas no Passo 2, surgem diferentes opções no Passo 3.

Então [*Passo 3: Resultado da Mudança.*]

Neste caso as mudanças específicas são "o coelho some e o tigre toma o lugar do coelho". Essa mudança pode ser interpretada como sendo o evento do tigre se alimentando do coelho, Figura 3.11.



**Figura 3.11:** Terceiro Passo Resultado da Mudança (PCR3).

Onde:

- 1 *Objetos*: Local onde os objetos do mundo ficam dispostos.
- 2 *Objetos do Resultado da Mudança*: Local onde é estabelecido o resultado final da regra ou evento.
- 3 *Modify*: Inicia/Reinicia a construção do Passo 3.
- 4 *Continue*: Finaliza essa etapa e conseqüentemente a regra.

Assim, este procedimento possibilita a construção de todas as regras necessárias para a criação de mundos no ambiente de modelagem WorldMaker: Modelos do mundo que nos cerca. Na próxima seção será feito uma descrição detalhada do

modelo do sistema *Gás-Recipiente* utilizado nesse experimento através da seqüência dos nove *Passos de Construção de Modelos (PCMs)*.

### 3.4 Discussão do Modelo Utilizado no Experimento

Este estudo abordou o fenômeno de *Difusão de Gases* para o desenvolvimento das atividades de modelagem computacional expressiva. Dessa forma, nesta seção será apresentada uma descrição detalhada dos passos de construção de modelos de acordo com o material instrucional utilizado pelos estudantes. É importante ressaltar que esta descrição representa uma versão considerada mais adequada para representar este fenômeno no Ambiente WorldMaker a partir do texto apresentado aos estudantes no material instrucional anexado no Apêndice B o qual é transcrito a seguir:

Pode-se considerar que um gás contido em um recipiente é constituído por partículas que interagem entre si movendo-se aleatoriamente, colidindo-se entre si e com as paredes do recipiente no qual se encontram. Imagine o fenômeno de um gás que estivesse confinado apenas em um dos cantos de um recipiente fechado como na situação de um frasco de perfume que é aberto em um dos cantos de uma sala.

Com base em suas próprias idéias sobre o fenômeno descrito acima, construa um modelo no ambiente WorldMaker.

- Desenvolva seu modelo discutindo suas idéias com o seu colega de dupla;
- Durante o desenvolvimento do modelo explique o que está sendo feito EM VOZ ALTA.

A partir deste texto, para se construir um modelo no ambiente de modelagem computacional é necessário listar dois objetos: *Partícula* e *Parede*. A partir do objeto *Partícula* constrói-se três regras. As regras que descrevem esse modelo são relativas a três tipos de eventos que ocorrem dentro do sistema *Gás-Recipiente*.

#### **Regra 01: Bounce**

Representa o evento que ocorre quando as partículas de gás colidem contra as paredes do recipiente: a regra é construída de forma que toda vez que objeto partícula encontra o objeto parede ela “bate e volta”.

#### **Regra 02: Swap**

Representa o evento que ocorre quando duas partículas colidem dentro do recipiente: ela é construída de forma que quando dois objetos partículas se encontrarem elas vão “trocar o sentido da direção”.

### **Regra 03: Jump**

Representa o evento do movimento aleatório das partículas dentro do recipiente.

A próxima seção apresenta a descrição dos passos de construção de modelos (PCM's).

## **3.4.1 Construção do Modelo do Sistema Gás-Recipiente a Partir dos Passos de Construção de Modelos (PCM's)**

### **1º Passo: Definição do sistema a ser estudado**

O sistema em estudo é representado por uma quantidade de gás confinado em um recipiente.

### **2º Passo: Escolha do fenômeno de interesse**

O fenômeno de interesse do sistema é o movimento aleatório das *Partículas de Gás* dentro do recipiente, ou seja, a *Difusão de Gás*.

### **3º Passo: Listagem dos elementos importantes**

Os elementos importantes para a construção desse modelo são, as *Partículas de Gás e Paredes do Recipiente*.

### **4º Passo: Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objeto**

As *Partículas de Gás e Paredes do Recipiente* são classificados como *Objetos*.

## 5º Passo: Construção das Regras através das interações entre os elementos

### Regra 01

**SE** *Partícula de Gás* encontra com *Parede do Recipiente*

**ENTÃO** a *Partícula de Gás* volta na direção oposta.

Essa regra representa a colisão de uma partícula de gás com a parede do recipiente e é associada à regra denominada de *Bounce* no ambiente de modelagem.

### Regra 02

**SE** *Partícula de Gás* encontra com outra *Partícula de Gás*

**ENTÃO** as duas partículas voltam na direção oposta.

Essa regra representa a colisão entre duas partículas de gás e é associada à regra denominada de *Swap* no ambiente de modelagem.

### Regra 03

**SE** *Partícula de Gás* encontra *No-Object*

**ENTÃO** ela ocupa aleatoriamente uma nova posição.

Essa regra representa o movimento aleatório das partículas de gás e é associada à regra denominada de *Jump* no ambiente de modelagem.

**6º Passo: Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com a apostila**

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
<i>Partícula de Gás</i> ao lado da <i>Parede do Recipiente</i> . Selecionar o <i>Ícone da Seta</i> .	Direção da <i>Partícula de Gás</i> .	<i>Partícula de Gás</i> ao lado da <i>Parede do Recipiente</i> . Selecionar o resultado de <i>Bounce</i> .
<i>Partícula de Gás</i> ao lado de <i>Partícula de Gás</i> . Selecionar o <i>Ícone da Seta</i>	Direção de ambas as <i>Partículas de Gás</i> .	<i>Partícula de Gás</i> ao lado de <i>Partícula de Gás</i> . Selecionar o resultado de <i>Swap</i>
<i>Partícula de Gás</i> ao lado do <i>No-Object</i> . Não selecionar o <i>Ícone da Seta</i> .	Posição da <i>Partícula de Gás</i> .	<i>No-Object</i> ao lado de <i>Partículas de Gás</i> . Selecionar o resultado de <i>Jump</i> .

## 7º Representação das interações no ambiente WorldMaker

Como definido anteriormente o modelo do sistema *Gás-Recipiente* é constituído de dois *Objetos*, esses objetos são selecionados a partir do Painel dos Objetos do Mundo, seção 3.3.1. Esses *Objetos* são mostrados na Figura 3.12.



Figura 3.12: *Objetos Partículas de Gás e Parede do Recipiente*

Após a escolha e classificação desses objetos dentro do ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker, o próximo passo é a construção das regras feitas no papel nos PCM5 e PCM6, sendo que a construção do PCM6 é feita com o objetivo de facilitar a implementação das regras no ambiente de modelagem. As três regras implementadas no ambiente de modelagem para o sistema *Gás-Recipiente* são mostradas na Figura 3.13.

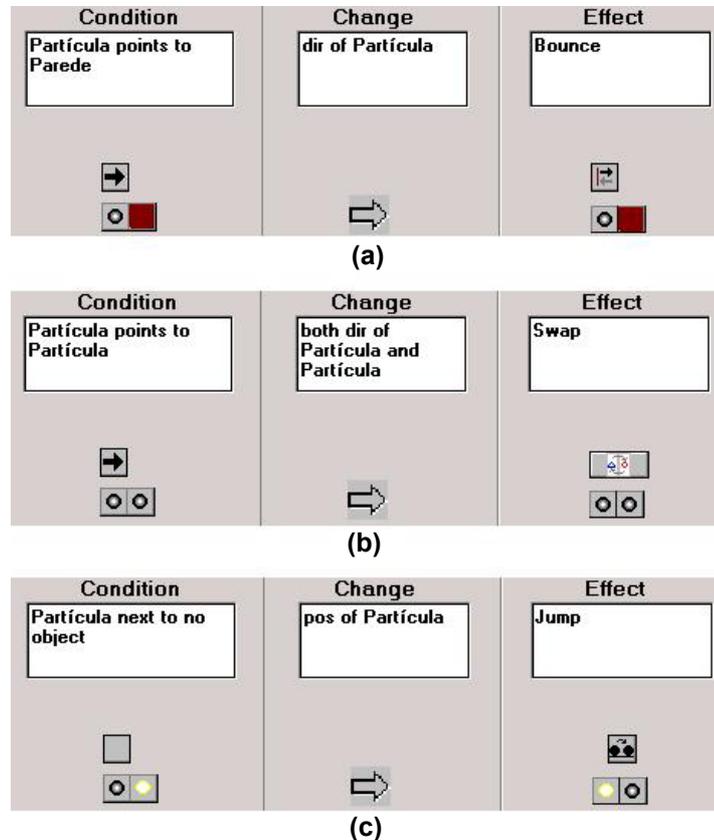


Figura 3.13: *Conjunto de Regras que Compõem o Modelo de Difusão de Gases*

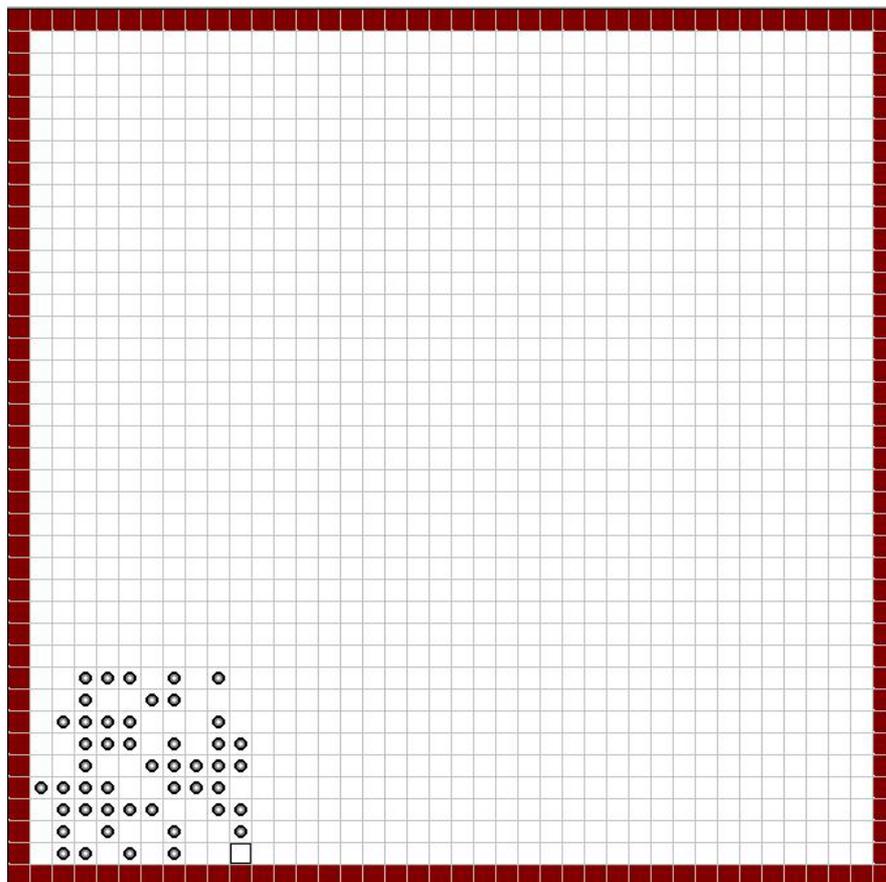
(a) *Bounce*, (b) *Swap* e (c) *Jump*.

Após a construção das regras o próximo passo é definir as probabilidades de ocorrência para cada uma delas: para o sistema *Gás-Recipiente* a probabilidade de todas as regras é de cem por cento, pois todas as regras construídas para esse modelo sempre acontecem, não sendo necessário dessa forma, especificar probabilidades diferentes. Então o Painel de Probabilidades descrito na seção 3.3.4 fica como mostrado na Figura 3.14



**Figura 3.14:** Painel de Probabilidades das Regras Construídas Para o Sistema *Gás-Recipiente*

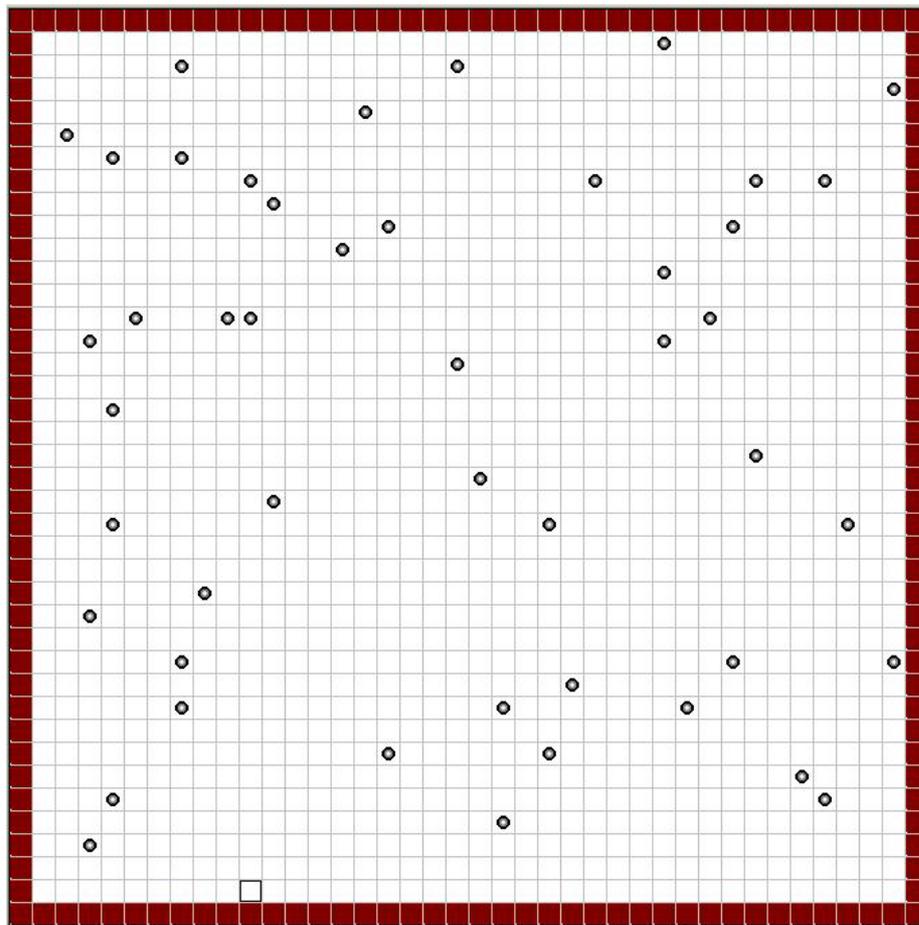
O último passo é a construção da disposição dos objetos na grade do mundo, descrita na seção 3.3.2. Uma possível disposição para esses objetos é a disposição mostrada na Figura 3.15.



**Figura 3.15:** Posível Disposição Inicial dos Objetos na Grade do Mundo

Após a construção da disposição dos objetos na *Grade do Mundo*, os próximos passos são a simulação, oitavo passo de construção de modelos e a possível validação do modelo construído, nono passo de construção de modelo.

A Figura 3.16 apresenta a disposição das partículas na grade do munda após passado algum tempo de simulação.



**Figura 3.16:** *Disposição Dos Objetos Após Passado um Tempo de Simulação*

Terminada a descrição da concepção do estudo, o Capítulo IV apresenta a análise dos dados relativos à atividades de modelagem expressiva e o Capítulo V apresenta a discussão e conclusões desse estudo.

## Capítulo IV

# Análise dos Dados do Sistema Gás-Recipiente

### 4.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a análise dos dados coletados durante as atividades de modelagem expressiva desenvolvidas pelas seis duplas que participaram desse experimento. Mais precisamente, o foco da análise foi no processo de construção de modelos desenvolvidas pelos estudantes sobre o sistema *gás-recipiente*. Os dados coletados são constituídos de: gravações das atividades em VHS, material instrucional preenchido pelos estudantes e os modelos construídos pelas duplas ao longo das atividades de modelagem. Os dados em VHS foram transcritos, para melhor embasar o processo de análise dos dados de cada dupla e no apêndice A encontra-se um exemplar da Dupla\_03. As atividades de modelagem foram trabalhadas no modo expressivo, ou seja, com as duplas construindo os modelos a partir de suas próprias idéias. Os dados coletados neste estudo são de natureza inerentemente qualitativa e para sua análise foi utilizada a técnica de *rede sistêmica* (Bliss et al, 1983).

## 4.2 A Técnica das Redes Sistêmicas

O problema central em analisar e descrever informações qualitativas é obter um conjunto de categorias descritas para cada aspecto dos dados. Esse conjunto de categorias deve possuir quatro características básicas:

- Serem fidedignos e consistentes para que possam ser utilizados por qualquer pesquisador;
- Reflitam adequadamente importantes características esperadas e não esperadas dos dados brutos;
- Respeitar a complexidade dos dados após a definição;
- Serem relevantes para as questões básicas de pesquisa.

Baseado nesse conjunto de características e na natureza dos dados deste estudo foi utilizado a técnica de redes sistêmicas (Bliss et al., 1983) para organizar estas categorias em estruturas de categorias interdependentes. Essa técnica permite construir uma estrutura de categorias mais abrangente e complexa do que no caso dessas categorias serem simplesmente definidas em uma lista de características não ordenadas. Uma rede sistêmica pode ser vista como uma gramática independente do contexto que define uma “linguagem” construída para descrever dados (Ogborn, 1994).

Dessa forma, as redes sistêmicas são utilizadas para avaliar dados qualitativos através da categorização de seus principais aspectos. Os elementos básicos de uma rede sistêmica são: a *chave* e o *colchete* (Bliss et al., 1983).

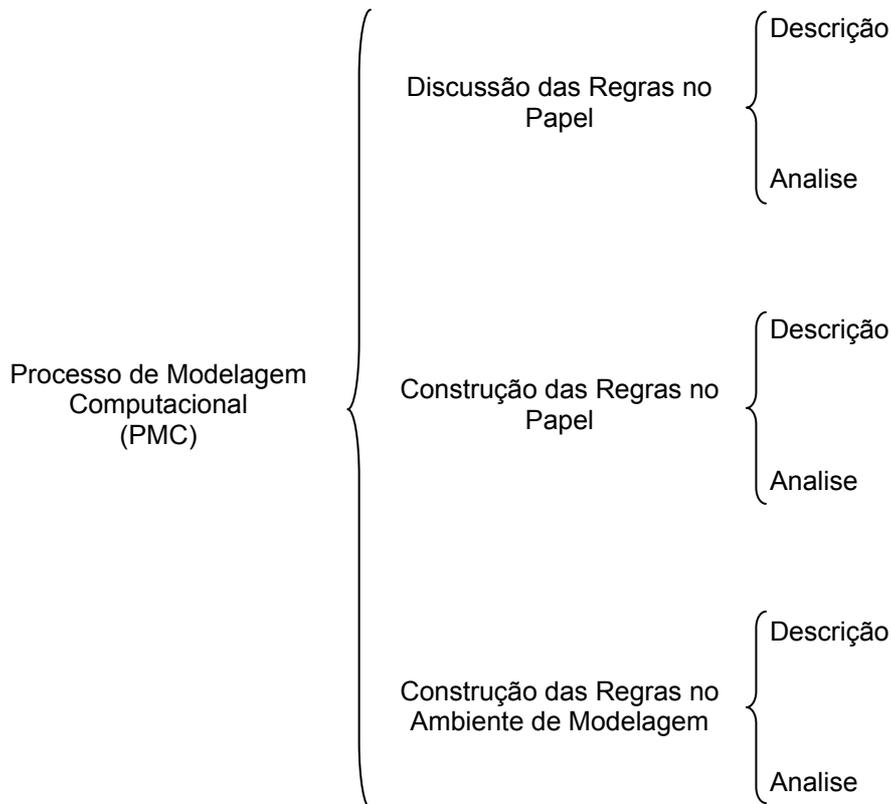
- Uma chave é utilizada para caracterizar dados que representam um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente.
- Um colchete é utilizado para caracterizar dados que representam qualquer conjunto de escolhas exclusivas.

A partir desses elementos básicos foi construída uma rede sistêmica que descreve o Processo de Modelagem Computacional – PMC, baseados nos passos de construção de modelos apresentados no material instrucional e na sua implementação no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker. A conjunção desses componentes geram estruturas em rede nas quais categorias descritivas aparecem ligadas em uma estrutura que mostra, entre outras coisas, quais categorias pertencem a categorias mais abrangentes, as quais são independentes, e quais são condicionadas a escolha de outras categorias. A rede é mostrada na Figura 4.1 e é descrita na próxima seção.

Dessa forma, este capítulo é organizado nas próximas seções na seguinte seqüência: na seção 4.3 é descrita a rede sistêmica construída para a caracterização e análise dos dados das duplas deste estudo; na seção 4.4 é apresentado a análise dos dados de acordo com as redes sistêmicas construídas para cada dupla e, finalmente, na seção 4.5 é apresentado a análise geral dos dados feita para cada dupla e entre as duplas que constituíram a amostra desse estudo.

### **4.3 Rede Sistêmica Para a Análise do Processo de Construção de Modelos**

A rede sistêmica representa o comportamento dos estudantes ao longo de todo o processo de construção de modelos no desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva. Os aspectos incluídos na rede refletem o conjunto de componentes observados em todas as duplas. No entanto, é importante ressaltar que isso não significa que necessariamente todas as duplas apresentaram todos estes comportamentos. Para isso foi utilizado um recurso técnico das redes sistêmicas denominado *recursão* que é representado pela notação  $\curvearrowright$ . Esse recurso técnico foi utilizado, por exemplo na chave *Estrutura das Regras*, mostrada na Figura 4.2 e significa que se deve passar pela chave quantas vezes forem necessárias, antes de seguir adiante na rede, até se obter a descrição desejada da situação em foco (Bliss et al., 1983).



**Figura 4.1:** Rede Sistêmica do Processo de Construção de Modelos.

Dessa forma, a rede sistêmica foi construída a partir de três aspectos mais gerais denominados por, *Discussão das Regras no Papel*, onde são abordados características do processo de modelagem do sistema *gás-recipiente* no terceiro, quarto e quinto passos de construção de modelos – PCM3, PCM4 e PCM5 discutidas na seção 3.3.2. No segundo aspecto, *Construção das Regras no Papel*, são abordadas características do processo de modelagem do sistema *gás-recipiente* no sexto passo de construção de modelos – PCM6. Finalmente, no aspecto, *Construção das Regras no Ambiente de Modelagem*, são abordados características do processo de modelagem computacional no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker. Cabe ainda ressaltar que esses três aspectos são subdivididos em dois aspectos, *Descrição*, onde são abordados aspectos que descrevem o processo de desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva, e *Análise*, onde são abordados aspectos relativos ao processo de construção de modelos propriamente ditos.

É importante lembrar que partindo destes aspectos mais gerais à esquerda e, seguindo para a direita, o nível de detalhamento vai aumentando até atingir os termos mais a direita que representam informações mais próximas dos dados brutos. Durante a descrição das subredes correspondentes a cada aspecto da rede sistêmica da Figura 4.1 serão feitas referências aos colchetes e chaves que compõem cada uma delas. As subredes são apresentadas nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4. Para que o comportamento da descrição possa ser feito de uma forma clara será feita uma contagem de chaves e colchetes, respeitando a ordem da esquerda para a direita e de cima para baixo em cada uma dessas figuras.

### **4.3.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel: A Análise do Terceiro, Quarto e Quinto Passos de Construção de Modelos**

A Figura 4.2 apresenta a rede sistêmica construída para o primeiro aspecto do Processo de Modelagem Computacional – PMC, *Discussão das Regras no Papel*, representado pela primeira chave e que abrange os aspectos de *Descrição* e *Análise*. O primeiro aspecto, *Descrição*, inclui, na segunda chave, o *Número de Objetos do Modelo*, *Classificação dos Objetos* e *Números de Regras* e é usado para se descrever e caracterizar os dados relativos aos terceiro, quarto e quinto Passos de Construção de Modelos – PCM3, PCM4 e PCM5 respectivamente. O segundo aspecto, *Análise*, inclui, na terceira chave, *Discussão Sobre a Estrutura das Regras* e *Estrutura das Regras* e é usado para descrever e caracterizar, em maior detalhe os dados referentes ao quinto Passo de Construção de Modelo – PCM5.

#### **4.3.1.1 Aspectos de Descrição da Discussão das Regras no Papel**

O primeiro aspecto da *Descrição*, na segunda chave, *Número de Objetos do Modelo*, representado pelo primeiro colchete, descreve o número de objetos que cada dupla listou para o modelo no terceiro passo de construção de modelos – PCM3. O segundo aspecto, *Classificação dos Objetos*, representado pelo segundo colchete, é usado para caracterizar os objetos do aspecto anterior em *Objetos* ou *Objetos-*

*Cenários*. O ambiente WorldMaker permite a seleção de objetos que são classificados como *Objetos* propriamente dito e *Objetos-Cenário*. Da análise dos dados foi observado que algumas duplas classificaram como *Objetos-Cenário* elementos que deveriam ser classificados como *Objetos*. O terceiro colchete descreve se os objetos foram definidos adequadamente como objetos ou se foram definidos como objetos-cenário. Da mesma forma, o quarto colchete, faz essa descrição para os objetos-cenário definidos para o modelo. O terceiro aspecto da segunda chave, *Nº de regras*, quinto colchete, descreve o número de regras construídas pelas duplas no quinto passo de construção do modelo – PCM5.

#### **4.3.1.2 Aspectos de Análise da Discussão das Regras no Papel**

A terceira chave da rede, *Análise*, inclui dois aspectos: *Discussão Sobre a Estrutura das Regras* e *Estrutura das Regras*. O primeiro aspecto, *Discussão Sobre a Estrutura de Regras*, representado pela quarta chave da rede, analisa os aspectos que são abordados na discussão que precede a construção das regras no quinto passo de construção do modelo – PCM5. Esse aspecto inclui o *Uso de Conhecimento Prévio* e *Raciocínio com as Regras*. O *Uso de Conhecimento Prévio*, sexto colchete, analisa se na discussão precedente a versão construída das regras no papel – PCM5, os estudantes utilizaram algum conhecimento prévio específico sobre o sistema em estudo.

O uso de conhecimento prévio específico inclui, ainda no sétimo colchete, os aspectos conhecimento prévio sobre o *Fenômeno*, como por exemplo: “*uma grande quantidade de gás confinada num espaço pequeno... vai haver um maior choque entre elas*”, ou sobre *Probabilidades*, “*... acho que isso pode acontecer, mas a probabilidade é muito pequena.*”. O primeiro aspecto do sétimo colchete, *Fenômeno*, inclui ainda *Criar uma Regra*, *Explicar uma Regra*, *Prever Comportamento* e *Explicar Comportamento*, para analisar se esse conhecimento prévio específico foi usado para criar ou explicar alguma regra do modelo, ou se foi usado para prever ou explicar algum comportamento do modelo, oitavo colchete.

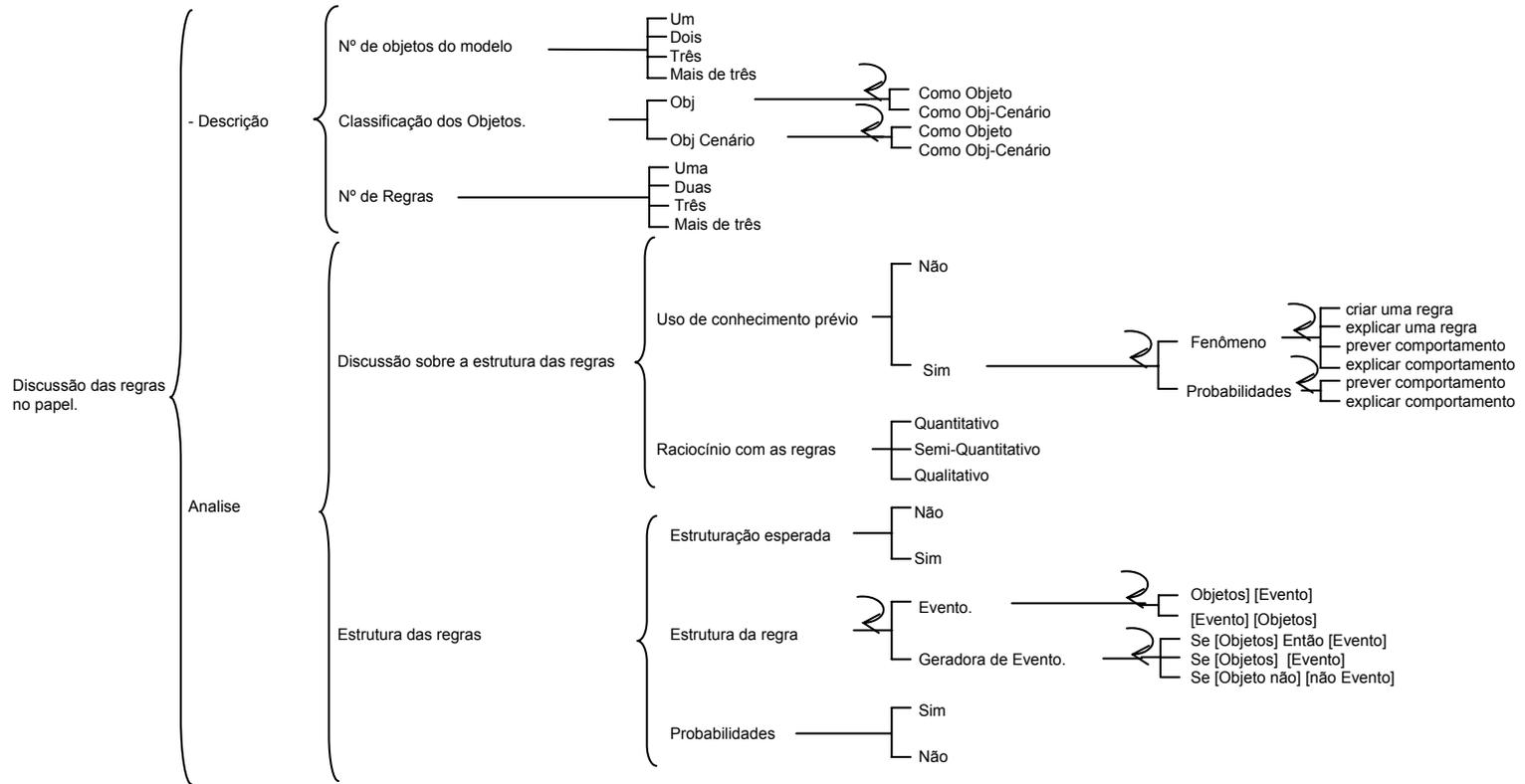


Figura 4.2: Rede Sistêmica do Aspecto de Discussão das Regras no Papel.

O segundo aspecto do sétimo colchete, *Probabilidades*, inclui *Prever Comportamento* ou *Explicar Comportamento*, nono colchete. Para fechar a descrição da quarta chave, o segundo aspecto *Raciocínio com as Regras*, analisa se a discussão que precede a construção das regras feita no papel: se o raciocínio foi *quantitativo*, “...Mesma velocidade...”, usando-se variáveis, *semi-quantitativo*, “...tendência de agitação vai ser maior...”, usando-se tendências de variáveis ou *qualitativo*, “...ela tem que bater e voltar.”, usando-se objetos e eventos, décimo colchete.

Retornando ao segundo aspecto da análise, representada pela terceira chave, *Estrutura das Regras*, este é usado para caracterizar a estrutura das regras construídas no papel no PCM5 pela dupla. Esse aspecto inclui outros três aspectos, representados pela quinta chave, que são: *Estrutura Esperada*, *Estrutura da Regra* e *Probabilidades*. O primeiro aspecto dessa quinta chave, *Estrutura Esperada*, caracteriza se a regra tem uma estrutura esperada ou não, décimo primeiro colchete. Uma estrutura é considerada como esperada se ela é construída usando-se os objetos definidos nos passos anteriores e se é estabelecido na regra algum evento. No segundo aspecto, *Estrutura da Regra*, as regras construídas no PCM5 são caracterizadas em *Evento* ou *Geradoras de Evento*. As regras foram caracterizadas em *Eventos*, décimo segundo colchete, quando a dupla, ao listar a regra, apenas escreveu o evento resultante da regra representada pelas estruturas:

- *[Objeto] [Evento]*  
e.g.: “coelho-grama: coelho come a grama.”
- *[Evento] [Objeto]*  
e.g.: “colisões molécula-molécula”.

As regras foram caracterizadas em *Geradoras de Evento*, décimo terceiro colchete, quando a dupla construiu a regra baseada, explícita ou implicitamente, na estrutura “**se ... então**”, podendo assumir as seguintes formas:

- **Se** *[Objeto]* **Então** *[Evento]*  
e.g.: “Se o gás encontrar com qualquer objeto, Então ele reflete”,

- **Se [Objeto] [Evento]**  
e.g.: “Se a partícula encontra o objeto-cenário dentro/fora ela muda de posição”
- **Se [Objeto não] [não Evento]**  
e.g.: “Se o gás não se encontrar com nenhum objeto não mudará a posição”,

Ou seja, possuem em sua construção o uso de pelo menos um dos conectores, *Se* ou *Então*. O terceiro aspecto da quinta chave, *probabilidades*, mostra se as duplas utilizaram ou não, argumentos baseados no uso de probabilidades de ocorrência para as regras, décimo quarto colchete.

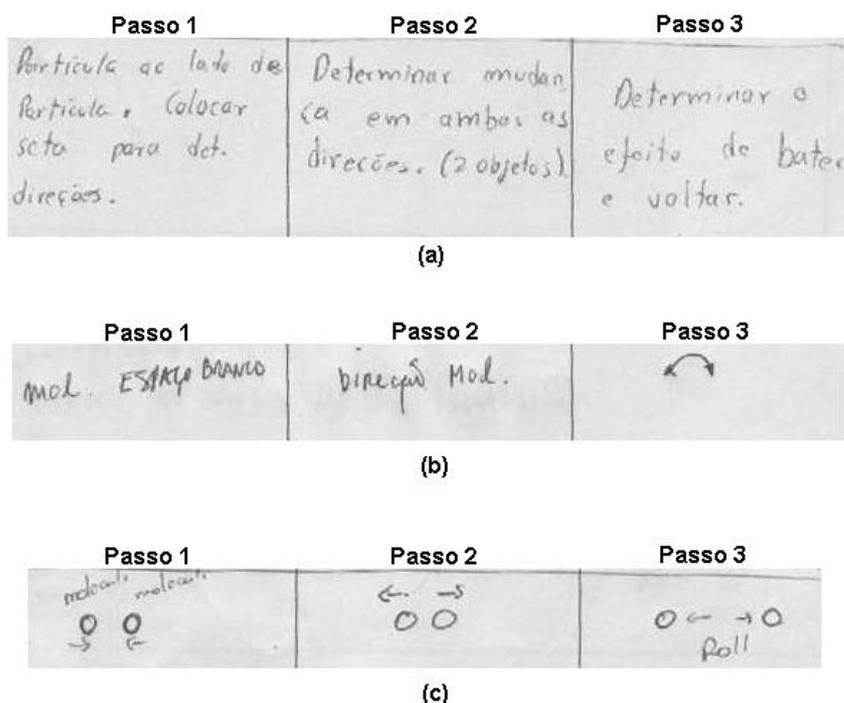
- “Se partícula interage com partícula então muda de direção (100%)”,

#### **4.3.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel: A Análise do Sexto Passo de Construção de Modelos**

A Figura 4.5 apresenta a rede sistêmica construída para o segundo aspecto do Processo de Modelagem Computacional, *Construção das Regras no Papel*, mostrado na Figura 4.1. Pode-se observar na Figura 4.5 que a primeira chave da rede aborda dois aspectos: *Descrição* e *Análise* respectivamente. O primeiro aspecto, *Descrição*, descreve e caracteriza dados coletados no sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6) e inclui os aspectos *Número de Regras*, *Forma de Preenchimento* e *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção de Regras (PCRs)*. O segundo aspecto, *Análise*, caracteriza os dados relativos PCM6 e inclui os aspectos *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelos (PCM5) para o Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)* e *Semelhanças com a Representação do Ambiente WorldMaker*.

### 4.3.2.1 Aspectos de Descrição da Construção de Regras no Papel

O aspecto, *Número de Regras*, é usado para descrever, no primeiro colchete, o número de regras construídas no sexto passo de construção do modelo – PCM6. O aspecto, *Forma de Preenchimento* descreve, no segundo colchete, as possíveis opções de construção do PCM6, *Escrita*, *Escrita/Desenhada* ou *Desenhada* conforme exemplificado na Figura 4.3.



**Figura 4.3:** Formas de construção do PCM6: (a) Escrita, (b) Escrita/Desenhada e (c) Desenhada.

O terceiro aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção de Regras (PCRs)*, descreve, no terceiro colchete, se os passos de construção das regras foram preenchidos de acordo com o que era pedido em cada passo, ou se eram preenchidos incorretamente e é detalhado em quatro aspectos no quarto colchete, descrevendo os erros mais comuns na construção dos passos de regras: *Construção do Terceiro Passo de Construção da Regra (PCR3) no segundo passo de construção da regra (PCR2)*, *Repetição do PCR2 no PCR3*, *Construção do Quinto Passo de Construção de Modelo (PCM5) no Primeiro Passo de Construção da Regra (PCR1)*, *Construção Errada do PCR1, PCR2 e PCR3*, conforme exemplificado na Figura 4.4.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
	saíndo na diagonal	
(a)		
Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
gás de todo os lados	feito em espaço	direção do gás
(b)		
Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
Se a partícula choca com a parede ela entra retorno.	muda a direção da partícula.	muda o sentido da deslocamento.
(c)		
Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
partícula do lado do sistema fora	partícula	A posição da partícula.
(d)		

**Figura 4.4:** Erros de preenchimento do PCM6: (a) Construção do PCR3 no PCR2 (b) Repetição do PCR2 no PCR3, (c) Construção do PCM5 no PCR1 do PCM6 e (d) Construção Errada do PCR1, PCR2 e PCR3.

O quinto colchete, descreve se o primeiro erro de construção, do quarto colchete, *construção do PCR3 no PCR2*, ocorreu ou não. O sexto colchete caracteriza se o erro ocorreu *Na Regra* ou se a dupla *Preencheu o PCR3*. O sétimo colchete aponta em qual das regras construídas pela dupla o erro ocorreu. O oitavo colchete caracteriza se a dupla preencheu ou não o PCR3. O nono colchete, mostra como a dupla preencheu o PCR3, se *Repetiu o PCR2* ou se *Desenhou* alguma idéia relativa ao passo. O décimo colchete caracteriza se o segundo erro de preenchimento do PCM6, *Repetição do PCR2 no PCR3*, ocorreu ou não. O décimo primeiro colchete caracteriza em qual regra o erro ocorreu. O décimo segundo colchete caracteriza se o terceiro erro de preenchimento, *Construção do PCM5 no PCR1 do PCM6*, ocorreu ou não. O décimo terceiro colchete caracteriza se o erro ocorreu *Na Regra* ou se a dupla *Preencheu os Outros Passos de Construção de Regras (PCRs)*. O décimo quarto colchete numera em qual regra o erro ocorreu.

#### 4.3.2.2 Aspectos de Análise da Construção de Regras no Papel

A terceira chave da rede analisa dois aspectos: *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelos (PCM5) para o Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)* e *Semelhança com a Representação do WorldMaker*. O décimo quinto colchete, caracteriza se houve diferença de transposição ou não. O décimo sexto colchete caracteriza se o *Número de Regras é Diferente* ou se há *Diferença na Representação das Regras*. O décimo sétimo colchete, caracteriza a quantidade de regras diferentes. O décimo oitavo colchete mostra *Em Que e De Que Forma* o PCR6 possui diferença com o PCM5. O décimo nono colchete caracteriza os *Objetos e Eventos* em que constitui essa diferença. O vigésimo colchete mostra a forma da diferença na representação das regras, *Escrito ou Desenhado dos objetos e eventos* no PCM6.

Retornando ao segundo aspecto de *Análise*, representado pela terceira chave, *Semelhança com a Representação do WorldMaker*, este caracteriza quais são as principais semelhanças encontradas nas regras construídas no papel no sexto passo de construção de modelos (PCM6) com, o formalismo de construção de regras do ambiente de modelagem qualitativa WorldMaker ou seja, esse aspecto analisa as regras construídas no PCM6 à luz do formalismo do ambiente WorldMaker. Assim a quarta chave, analisa em que *Passo de Construção de Regra (PCR)* pode-se observar tais semelhanças de representação. O vigésimo colchete enumera qual é o PCR em que a semelhança ocorre, primeiro, segundo ou terceiro. O segundo aspecto da quarta chave, *Qual Semelhança*, caracteriza quais são as possíveis semelhanças que podem ocorrer. No vigésimo primeiro colchete é listado essas possíveis semelhanças, *Disposição dos Objetos no PCR1, Uso do Ícone da Seta, Escrita do Passo Dois, Uso da Grade de Direções, Disposição dos Objetos no PCR3 e Representação dos Efeitos no PCR3*.

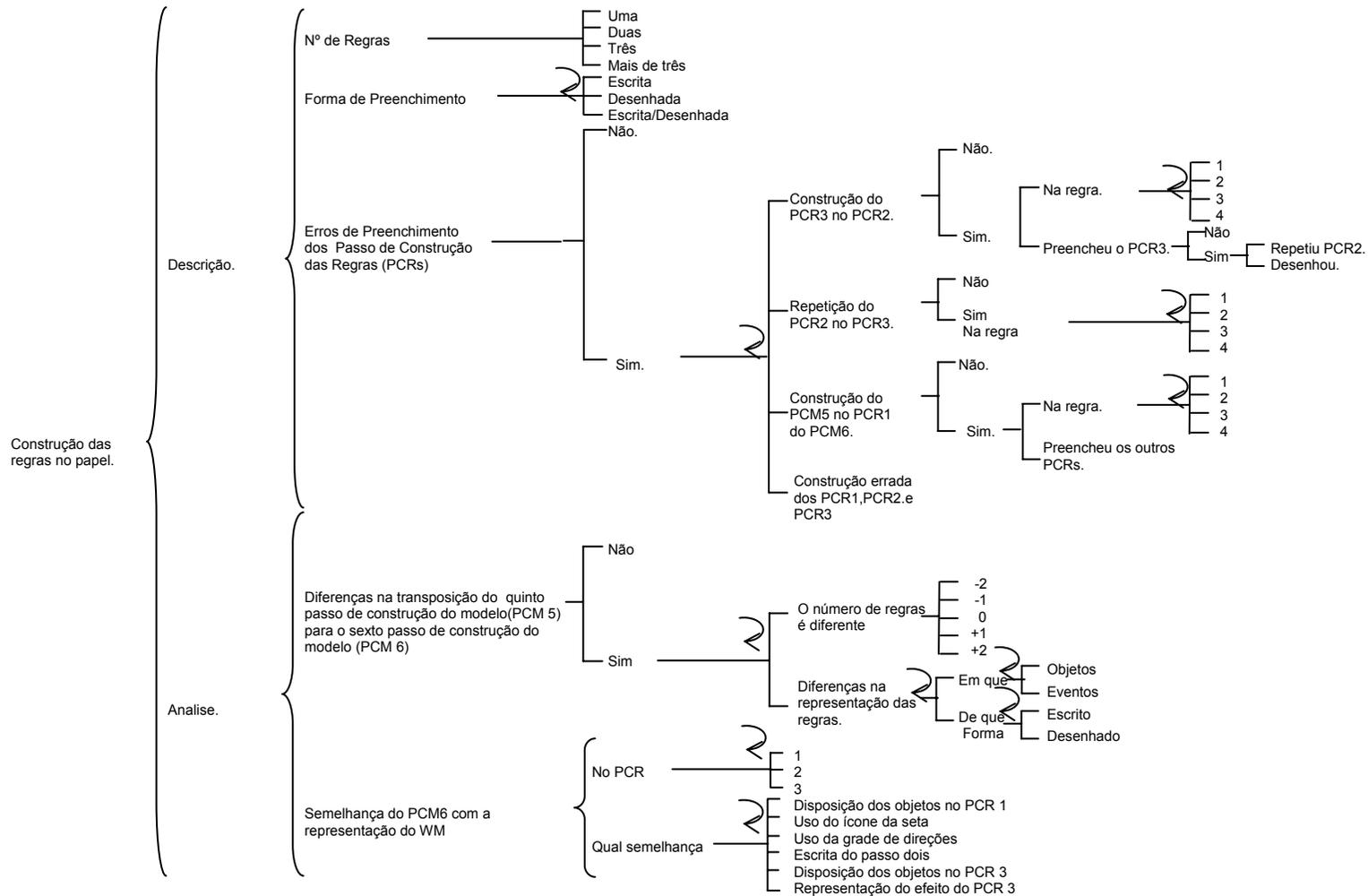


Figura 4.5: Rede Sistemática do Aspecto de Construção das Regras no Papel.

### 4.3.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem: A Análise Sétimo, Oitavo e Nono Passos de Construção de Modelos

A Figura 4.6 apresenta a rede sistêmica construída para o terceiro aspecto, *Construção das Regras no Ambiente de Modelagem*, do Processo de Modelagem Computacional na rede sistêmica da Figura 4.1. Observa-se na Figura 4.6 que a primeira chave da rede também aborda dois aspectos, *Descrição* e *Análise*. Na segunda chave, o aspecto de *Descrição*, aborda os aspectos, *Número de Regras* e *Implementação das Regras no WorldMaker*. E na segunda chave, o aspecto *Análise*, aborda se *As Regras Possuem Diferenças com as Regras do Papel*.

#### 4.3.3.1 Aspectos de Descrição da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

O aspecto, *Número de Regras*, caracteriza, no primeiro colchete, quantas regras foram construídas pela dupla no ambiente de modelagem qualitativa WorldMaker. O segundo aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, descreve, na terceira chave, os três passos de construção de uma regra no ambiente de modelagem computacional que se confunde com os Passos de Construção de Regras no papel, a saber, *PCR1*, *PCR2* e *PCR3*.

O primeiro aspecto da terceira chave, *Primeiro Passo de Construção de Regras – PCR1*, descreve no segundo colchete, todos os procedimentos usados para se construir o primeiro passo de uma regra no WorldMaker: *Modify*, *Grade de Direções*, *Primeiro Objeto – 1º Obj*, *Segundo Objeto – 2º Obj*, *Ícone da Seta* e *Continue*. O terceiro colchete caracteriza se a *Grade de Direções* do PCR1 *Modificou* ou *Não Modificou*. O quarto colchete caracteriza se o primeiro objeto selecionado para se construir a regra é um *Objeto* ou um *Objeto-Cenário*. O quinto colchete caracteriza se o segundo objeto utilizado na construção da regra é, *Objeto*, *Objeto-Cenário*, *No-Object*, *Any-Object*, *Blank-Background* ou *Any-Background*. E o sexto colchete descreve se o ícone da seta foi utilizado ou não no primeiro passo.

O segundo aspecto da, *Implementação das Regras no WorldMaker, Segundo Passo de Construção da Regra – PCR2*, descreve, no sétimo colchete, o botão de *Modify, Mudança dos Objetos ou Mudança de Direção, Mudança de Posição ou Criação de Objetos* e o botão de *Continue*. O oitavo colchete mostra as possíveis opções do segundo aspecto, do sétimo colchete, *Both Obj1 and Obj2, Obj1, Obj2, Dir of Obj1, Dir of Obj2* e *Both dir Obj1 and Obj2*, respectivamente. No nono colchete é mostrado as possíveis opções do terceiro aspecto do sétimo colchete, *Pos of Obj* e *Create Objs*. O qual é usado quando se usa o *No-Object* na construção do PCR1.

O terceiro aspecto da implementação das Regras no ambiente de modelagem, *Terceiro Passo de Construção de Modelo (PCR3)* descreve, no décimo colchete como é construído esse passo. É descrito nesse aspecto as funções dos botões de, *Modify, Efeito, Mudança dos Objetos ou Efeito e Mudança dos Objetos e OK*, que dependem de como é construído os passos anteriores. O décimo primeiro colchete, *Efeito*, descreve a construção dos PCRs quando é necessário apenas escolher um efeito nesse passo: são destacados os efeitos mais comuns para o sistema gás-recipiente, ou seja, *Bounce, Attracted By, Repelled By, Jump, Roll Swap*. O décimo segundo colchete, *Muda Objetos*, descreve o PCR3 quando sua construção é feita com um ou ambos os Objetos se transformando em outros Objetos, décimo terceiro e décimo quarto colchetes respectivamente. O terceiro aspecto do décimo colchete, *Efeito e Muda Objetos*, descreve a construção do PCR3 quando é necessário construir esse passo, determinando-se um efeito e modificando-se os objetos, décimo quinto colchete. A mudança dos objetos e os efeitos estão descritos no décimo sexto, décimo sétimo e décimo oitavo colchetes. Pode-se observar no décimo oitavo colchete, que só é possível determinar dois tipos de efeitos com essa construção, *Split* e *Make New*.

#### **4.3.3.2 Aspecto de Análise da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem WorldMaker**

Retornando ao segundo aspecto da primeira chave, *Análise*, que possui apenas um aspecto, *As Regras Possuem Diferenças com as Regras do Papel*, esse aspecto analisa as principais diferenças entre as regras que foram efetivamente construídas

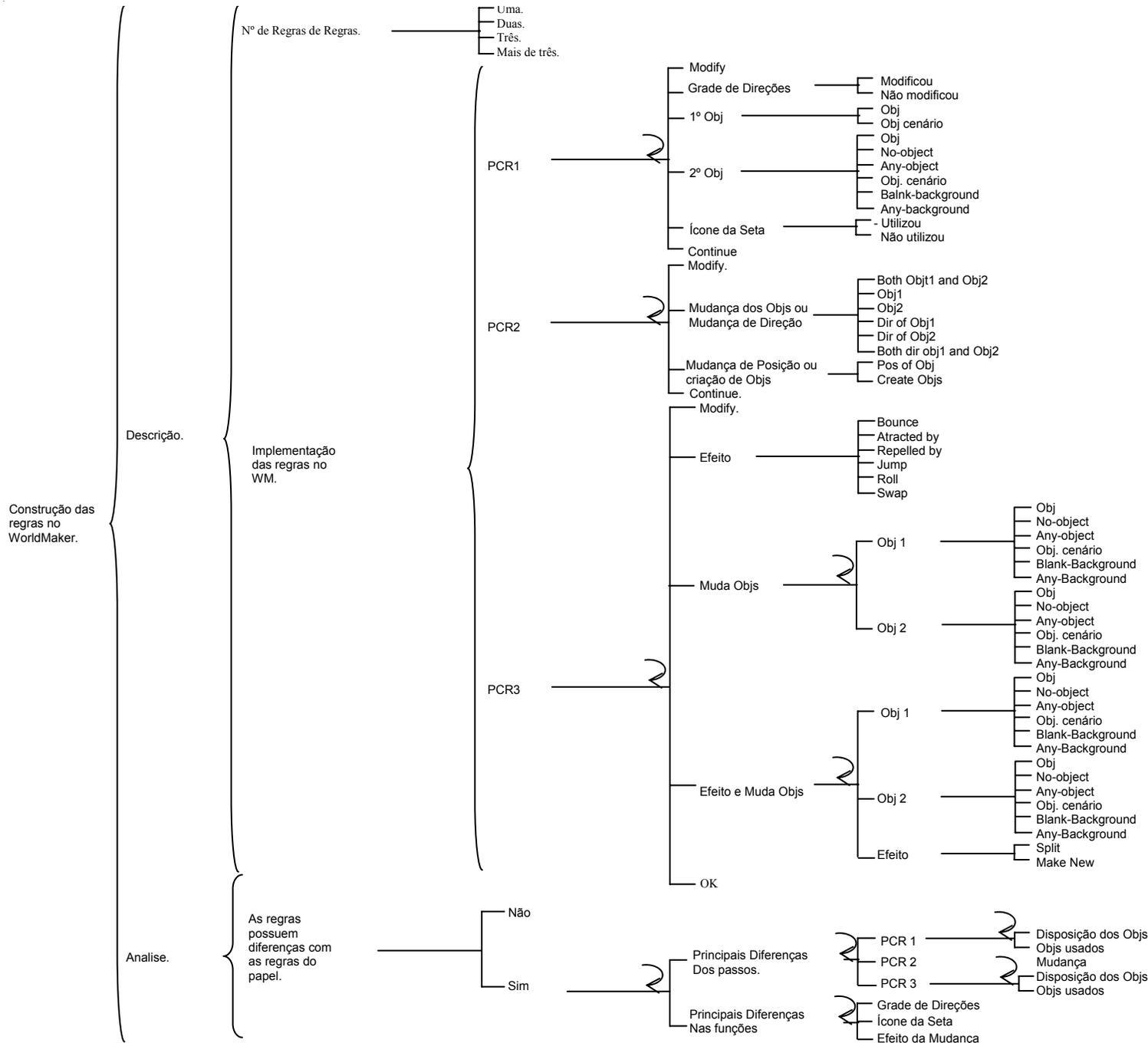


Figura 4.6: Rede Sistêmica do Aspecto de Construção das Regras no Ambiente de Modelagem.

no ambiente WorldMaker e as regras que as duplas haviam construído no PCM6. O décimo nono colchete caracteriza se há diferenças ou não nas regras associadas. O vigésimo colchete determina se as diferenças estão concentradas nos *Passos de Construção de Regras* ou nas *Funções das Janelas*. Se as diferenças se concentram nos passos, então no vigésimo primeiro colchete determina-se em qual passo está essa diferença e no vigésimo segundo e terceiro colchetes caracteriza em que consiste essa diferença. Porém, se as diferenças se concentram nas funções das janelas, então, pode-se determinar se essa diferença está na *Grade de Direção*, no *Ícone da Seta* ou no *Efeito da Mudança*, vigésimo quarto colchete. Este aspecto finaliza o processo de análise de dados a partir da comparação do resultado final do Processo de Modelagem Computacional (PMC) com o início da construção das regras no papel no formalismo do ambiente de modelagem WorldMaker.

#### **4.4. Análise dos Dados das Atividades de Modelagem Expressiva**

Feita a descrição da rede sistêmica do Processo de Modelagem Computacional, que servirá de base para a análise dos dados de cada dupla, será feito, nas próximas seções, a descrição e análise de cada modelo desenvolvido pelas duplas. Para facilitar a análise, cada estudante de cada dupla será referido como E1 e E2 e os excertos de sua falas serão apresentados em itálico delimitados por aspas ao longo do texto, sendo preservado o modo coloquial de suas falas.

##### **4.4.1. Análise dos Dados da Dupla\_01**

Com base nos dados da Dupla\_01 construiu-se as redes sistêmicas relativas as atividades de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.11.

### 4.4.1.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel

No aspecto, *Descrição*, da primeira rede observa-se que os estudantes da Dupla\_01 definiram para o sistema *gás-recipiente* três objetos: *Gás*, *Parede do Recipiente* e *Recipiente*, sendo os dois primeiros classificados como *Objetos* e o terceiro classificado como *Objeto-Cenário*. O número de regras construídas pela dupla no quinto passo de construção do modelo (PCM5) foi de duas: uma usando os objetos *Gás* e *Parede do Recipiente* e a outra usando dois objetos *Gás*. Nesse estágio inicial o *Recipiente* não foi usado na construção das regras. As regras construídas pelos estudantes representaram eventos de colisão de uma molécula com a paredes do recipiente e de colisão de uma molécula com outra molécula. Nesse estágio os estudantes não tinham construído, ainda, uma regra que representasse o movimento de moléculas de *Gás*, o que geraria um modelo estático.

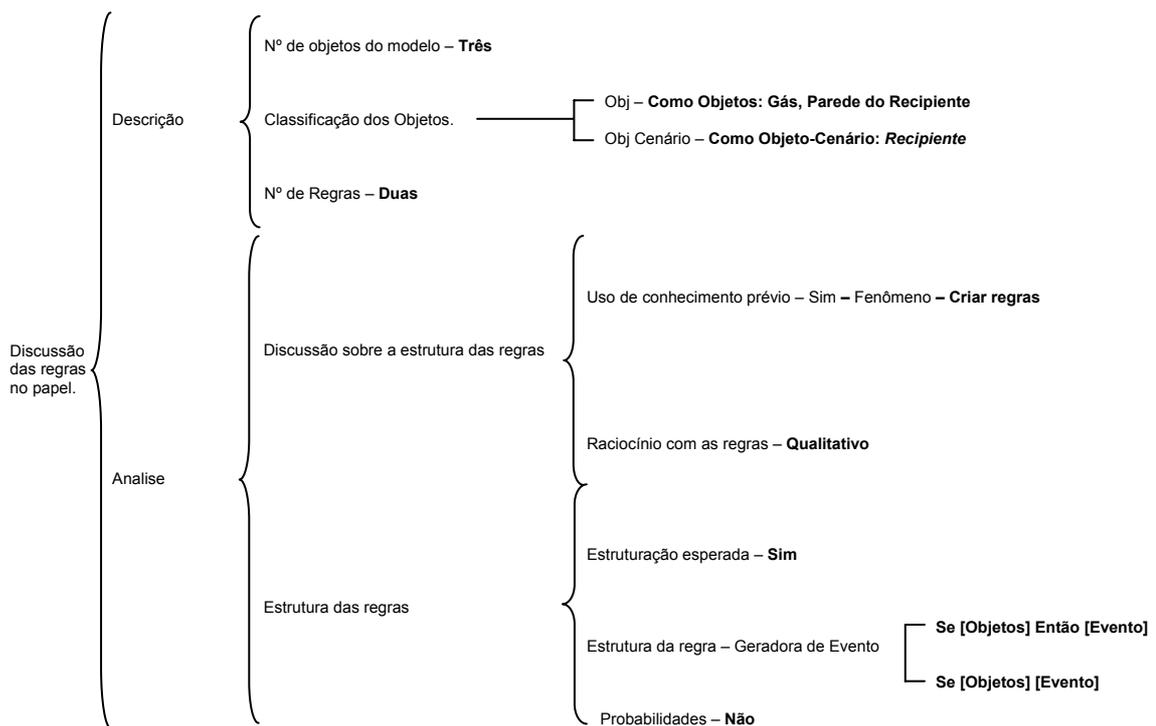


Figura 4.7: Rede Sistêmica da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_01.

No aspecto de *Análise* da primeira rede observa-se que os estudantes utilizaram conhecimento prévio específico sobre o fenômeno para criar regras. Porém, não usaram conhecimento sobre probabilidades, na discussão sobre a estruturação das regras do modelo. Apesar de nessa discussão precedente à construção das regras

os estudantes terem utilizado palavras que denominavam variáveis físicas, tais como velocidade e força, e conceitos físicos, tais como choque completamente elástico e inelástico na criação das regras, o raciocínio na construção dessas regras foi caracterizado como qualitativo, ou seja, com o foco nos objetos e nos eventos, como pode ser observado no excerto que segue.

*E2: “Se a molécula do gás bater na parede ela volta. ++ Mesma intensidade só que valor diferente, ou direção diferente, mesma velocidade, mesmo sentido e direção diferente, certo?”*

*E1: “É...”*

*E2: “Não precisa de mesma velocidade e mesmo sentido, se ela bate aqui assim ela pode voltar pra cá.”*

*E1: “Ela só tem que volta, ela tem que bater e voltar.”*

*E2: “E se ela bate numa outra molécula ela voltar também.”*

*E1: “Ela volta também.”*

*E2: “É.”*

*E1: “Em qualquer direção.”*

*E2: “O choque que bate e volta com a mesma força é completamente elástico ou completamente inelástico? Ah, vou colocar que bate e volta.”*

Primeiramente E2 aborda os aspectos de direção, sentido e velocidade na discussão da regra, com E1 concordando, a princípio, com essas idéias. Porém, em um segundo momento da discussão tanto o E2 quanto E1 afirmam que o uso de velocidade e sentido não seria tão relevante, sendo necessário apenas que a regra especificasse que a molécula de Gás teria que bater e voltar, tanto na primeira quanto na segunda regra. O E2 ainda tentou discutir argumentando em termos de choque elástico e inelástico, mas acabou desistindo e discutindo a regra em termos do evento bater e voltar.

No segundo aspecto de *Análise* da primeira rede, *Estruturação das Regras*, os estudantes representaram primeiramente quais eram os objetos envolvidos na regra, “*Se a molécula do gás bater na parede*” ou “*E se ela bate numa outra molécula*”, o que se pode chamar de condição inicial, e depois definiram um efeito

ou resultado final para a regra, que nesse caso, foi o que eles chamaram de “bate e volta”. Assim as regras escritas pelos estudantes no PCM5 do material instrucional, após a discussão, foram:

*E1: “Se a molécula de gás (elemento gás) bater na parede do recipiente então ela volta em qualquer direção.”*

*E1: “Se o elemento gás colidir com outro elemento gás, então volta em qualquer direção.”*

*E2: “Se molécula do gás bater na parede, ela volta em qualquer direção, ou se bater em outra molécula também volta em qualquer direção.”*

Observa-se nessa transcrição que a construção das regras feitas pelos estudantes é a mesma. As regras diferem uma da outra apenas pelo fato de o E2 ter feito as duas regras juntas, não as separando nitidamente como o E1 o fez. Porém, as regras são escritas utilizando-se os mesmos objetos e representam as mesmas interações, ou seja, a dupla está em concordância com relação as regras do modelo. Dessa forma, as regras possuem uma estrutura esperada e são caracterizadas como *Geradoras de Evento* com as seguintes estruturas:

*E1: Se [Objetos] Então [Evento];*

*E2: Se [Objetos] [Evento].*

Os objetos foram *Gás* e *Parede do Recipiente* e o evento foi *bater e voltar em qualquer direção*. Apesar da regra escrita por E2 não estar de acordo com o formalismo “Se ... Então”, ela representa interações de objetos que geram eventos que são esperados na construção do modelo. Pode-se notar na transcrição apresentada anteriormente da escrita da regra no PCM5 que os estudantes voltaram a utilizar a palavra *direção* na construção da regra após terem concordado, anteriormente, que só era necessário especificar na regra que a molécula bate e volta. Os estudantes não utilizaram o aspecto da probabilidade para construir as regras no PCM5.

### 4.4.1.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel

A segunda rede montada para a análise do Processo de Modelagem Computacional é referente ao sexto passo de construção do modelo (PCM6) e, para a Dupla\_01 essa rede é mostrada na Figura 4.8.

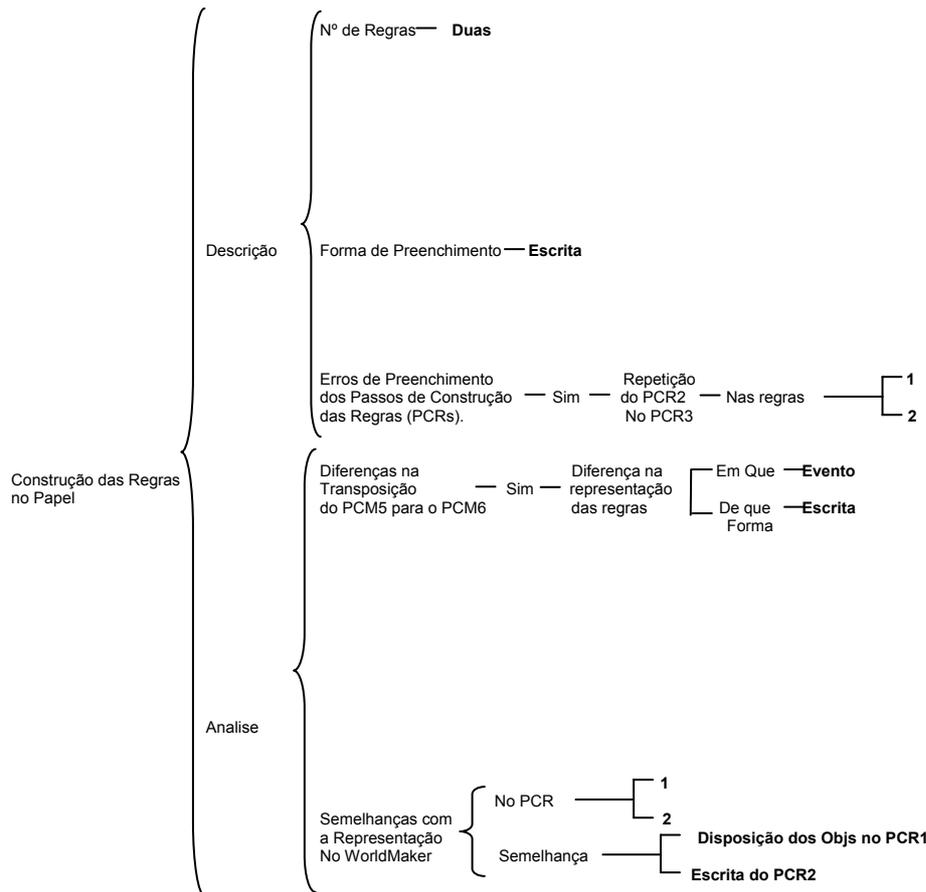


Figura 4.8: Rede Sistêmica da Construção das Regras no Papel da Dupla\_01.

No aspecto de *Descrição* dessa rede é mostrado que os estudantes construíram o mesmo número de regras que haviam construído anteriormente no PCM5, ou seja duas regras. Embora, essas regras tenham sido as estruturadas anteriormente, a construção delas no PCM6 é feita na perspectiva do ambiente WorldMaker, ou seja, com a divisão da construção da regra em três passos. Em relação ao aspecto, *Forma de Preenchimento*, a construção dos passos das duas regras foram feitos na forma escrita. Tanto o primeiro passo de construção de regra (PCR1) quanto o segundo (PCR2) foram preenchido adequadamente, de acordo com o que cada PCR demandava. Porém, os dois estudantes repetiram o PCR2 no terceiro passo de construção de regra (PCR3), tanto na regra um quanto na regra dois, fazendo,

dessa forma, uma construção incorreta das regras no PCM6. Os estudantes não souberam o que especificar no PCR3, o que pode ser constatado no excerto que segue.

*E2: “É, eu esqueci como é que dá o nome para esse terceiro.”*

*E1: “Eu acho que é a posição da molécula mesmo do gás.”*

No aspecto de *Análise da Construção das Regras no Papel* observa-se que houve diferença na transposição das regras do PCM5 para o PCM6, apesar do número de regras ser o mesmo e a representação delas também. Pode-se também notar na transcrição apresentada anteriormente da escrita da regra no PCM5 pelos estudantes E1 e E2 que, embora no PCM5 a regra especifique o evento *bater e voltar*, no PCM6 esse evento não é construído de forma clara, conforme mostra a Figura 4.9: os estudantes apenas escrevem que a molécula de gás mudara de posição ou direção, o que não caracteriza de forma adequada o evento de *bater e voltar*. Uma possível explicação para essa dificuldade do PCM6 é que a divisão desse passo faz com que os estudantes passem por um estágio intermediário na construção do efeito final na linguagem do ambiente de modelagem, o que não acontece no PCM5: esse estágio é o de considerar o que muda, antes de definir a mudança em si. Nesse caso específico a Dupla\_01 conseguiu especificar corretamente o que muda, no caso a direção dos *Objeto Gás* no PCR2, mas não conseguiu especificar de forma clara, como a direção muda especificamente no PCR3. Isso faz com que os estudantes tenham uma dificuldade inicial de estabelecer a regra no PCM6, confundindo a seqüência dos passos de construção das regras (PCRs). Porém, eles são forçados a modelar a regra na lógica da ferramenta, aproximando a regra do papel com a regra que eles implementaram no WorldMaker. A Figura 4.9 mostra a construção do PCM6 dos estudantes E1 e E2 respectivamente.

Para o segundo aspecto de *Análise* é importante ressaltar que o PCM6 é um passo intermediário entre a construção das regras através das interações entre os elementos no PCM5 e a representação dessas interações no ambiente de modelagem WorldMaker no sétimo passo de construção de modelo (PCM7) visando levar a dupla a refletir, no papel, o formalismo do ambiente WorldMaker. Dessa

forma, as semelhanças na representação com o WorldMaker, se fizeram presentes nas duas regras, que foram a disposição dos objetos no PCR1, ou seja, um está do lado do outro, mesmo essa disposição sendo feita de uma forma escrita: nesse caso *Gás* perto de *Parede do Recipiente* e *Gás* perto de *Gás*. Uma outra semelhança constatada é que a construção dos PCRs2 são idênticas a do WorldMaker: “*Dir of molécula*” e “*both dir of moléculas*”, onde é determinado o que muda, nesse caso, a direção. Essas são as duas principais semelhanças entre a representação feita pelos estudantes no PCM 6 que estarão presentes no ambiente WorldMaker. Cabe ressaltar que no PCR3 não foi observado nenhuma semelhança. Como pode ser observado na Figura 4.9



Figura 4.9: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla\_01.

#### 4.4.1.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

A terceira rede usada para a análise do Processo de Modelagem Computacional aborda o sétimo, oitavo e nono passos de construção de modelos (PCM7, PCM8 e PCM9). Essa rede faz uma descrição temporal das regras implementadas no ambiente WorldMaker pelos estudantes ao longo do processo de construção do modelo no computador. No primeiro aspecto de *Descrição*, observa-se que o número final de regras construídas no ambiente foi de três, ou seja uma regra a mais que no modelo do papel.

No segundo aspecto de *Descrição*, *Implementação das Regras no WorldMaker*, pode-se observar que a primeira regra implementada pela Dupla\_01 foi a regra *Bounce*, que representa a interação entre os objetos *Gás* e *Parede do Recipiente*. Os estudantes tiveram algumas dificuldades para implementar as primeiras versões do PCR1, porém, não encontraram nenhuma dificuldade na implementação do PCR2 desta primeira regra. Nesse aspecto foi observado que, na primeira versão do PCR1 não foi selecionado o *Ícone da Seta*. A falta da seleção desse ícone pode ser atribuída a dois fatos: os estudantes seguiram a montagem que eles haviam feito no PCM6 onde eles não haviam definido o uso desse ícone:

E1: “A primeira condição que a gente montou foi essa daqui, o gás do lado da parede...”

E2: “Gás do lado da parede”

Um segundo fator que pode explicar a ausência do *Ícone da Seta* nessas primeiras versões do PCR1 é o não entendimento correto do seu uso:

E2: “E qual é a posição que ele toma? Aleatória? Se eu não boto nada fica aleatória?”

E1: “Acho que sim. Acho que é aleatória”

O E2 refere-se “a posição que ela toma”, como sendo a posição do objeto *Gás* e ele, então, associa a aleatoriedade da posição desse objeto com a seleção ou não

do *Ícone da Seta*: “Se eu não boto nada fica aleatória?”. Dessa forma, eles decidem por não selecionar o ícone.

A escolha correta do PCR2 na primeira versão foi feita sem nenhuma dificuldade por essa dupla, pois a escolha da opção “*dir of Gás*” já havia sido construído no PCM6, facilitando assim a escolha dessa opção que é idêntica a que aparece no WorldMaker. Com essas duas montagens de PRC1 e PCR2 os estudantes chegaram ao PCR3 e não conseguiram determinar um efeito ou resultado da mudança para a regra. Nota-se que eles já não haviam conseguido definir esse efeito no PCM6, onde eles simplesmente repetiram o PCR2 no PCR3 para determinar para preencher o PCR3. No ambiente de modelagem as opções de efeito existem, bastando que os estudantes escolham uma delas, porém, isso não ocorreu pelo fato deles não terem entendido os significados dos *Ícones de Efeito Final* que aparecem no PCR3.

*E2: “A gente não sabe o que significa isso, sabe?”*

*E1: “Não. Aquilo lá é uma chave?”*

*E2: “Tenho nem idéia do que seja isso.”*

Dessa forma, a dupla tentou reconstruir a primeira regra fazendo uma segunda tentativa de construção. Nessa segunda tentativa de construção da regra 1 a dupla voltou ao PCR1 para reconstruir a regra desde seu início, porém, repetiu o PCR1, fazendo a mesma construção feita anteriormente sem o uso do *Ícone da Seta*. No PCR2 não é escolhido nenhuma opção, pois os estudantes retornam ao PCR1, para a terceira tentativa de construção da regra, onde eles fizeram um novo PCR1 utilizando, dessa vez, o *Ícone da Seta* e selecionando no PCR2 a opção “*Dir of Gás*”. Com essa nova montagem da regra as Opções de *Efeito* do PCR3 se modificaram, essas novas opções eram conhecidas dos estudantes, pois eles já haviam feito atividades na apostila utilizando essas opções de PCR3:

*E2: “Aí ó, agora deu Stop.”*

*E1: “Mas não é para parar! Não é para parar quando a bolinha encontrar a parede, não é para parar. Ta certo, é para seguir em qualquer direção!”*

*E2: "É bater e voltar aqui ó"*

*E1: "É bate e volta."*

.

.

.

*E2: "Bounce, agora deu certo!"*

Pode-se observar que essa regra implementada no WorldMaker possui uma associação direta com as regras escritas no papel no PCM5 e PCM6, mais especificamente com a primeira regra. No PCM6 os estudantes não conseguiram especificar adequadamente o PCR3 dentro da lógica da ferramenta, não conseguindo estabelecer um efeito ou resultado final para a regra, revelando a mesma dificuldade na construção da regra no ambiente de modelagem, que por fim foi implementada por tentativa e erro.

A segunda regra implementada pela Dupla\_01, foi a regra denominada *Both Repel* relativo a interação entre dois objetos *Gás*. O PCR1 dessa regra foi construído colocando-se dois objetos *Gás*, dispostos um ao lado do outro, sem o uso do *Ícone da Seta* como feito no PCR1 do PCM6. A escolha do PCR2 foi feita seguindo-se também a montagem construída no PCM6, onde a dupla havia definido a mudança de direção de ambos os objetos "*Both dir of Gás and Gás*", como pode ser visto na Figura 4.9. O PCR3 não havia sido especificado corretamente pelos estudantes no PCM6, porém, o ambiente de modelagem WorldMaker apresenta possíveis opções de escolha, de acordo com a montagem dos passos anteriores. Dessa forma, os estudantes escolheram como efeito da regra a opção *Both Repel*, pois o desenho que apareceu nesse ícone parece ter induzido os estudantes a pensarem que esse ícone, era o ícone de *Bounce* (bater e voltar), como pode ser observado o excerto de discussão.

*E1: "É aquele ali, bate e volta."*

*E2: "Esse?"*

*E1: "É!"*

A Figura 4.10 mostra o botão do efeito *Both Repel* que talvez tenha levado os estudantes a pensar que o efeito seria de “bater e voltar”, ou seja *Bounce*, também mostrado na mesma figura.



**Figura 4.10:** Botões de Efeito (a) *Both Repel*. e (b) *Bounce*

Após a construção dessas duas regras os estudantes simularam a primeira versão do modelo construído. O modelo não apresentou o comportamento esperado pela Dupla\_01, pois as moléculas não se moviam. O modelo estava incompleto, pois os estudantes não haviam construído a regra que gerasse o movimento do objeto Gás. Pode-se notar, nesse momento, o quanto as regras de movimento são importantes para os modelos pois, sem elas os modelos ficam estáticos como se não houvesse nenhuma regra associada ao modelo. Esse fato pode conduzir, como nesse caso, os estudantes a modificar as regras já construídas anteriormente, ao invés de construir uma nova regra.

O processo de construção de versões dos modelos é apresentado na Figura 4.11 através do quadro anexo. Antes de prosseguir a análise dos dados da Dupla\_01, será descrito aqui a sintaxe desses quadros. Esses quadros foram desenvolvidos para se acompanhar a evolução temporal dos modelos de cada dupla dentro do aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, o método apresenta a seguinte sintaxe. Para cada dupla foi feito um quadro, dividido em linhas e colunas que, em conjunto, representam todo o processo de construção de modelo para cada dupla no ambiente WorldMaker. Cada célula desse quadro pode estar preenchida ou não com um  $X_{ij}$  de índice  $i$  e  $j$ , onde  $i$  significa a seqüência de construção das regras e  $j$  significa a seqüência de construção dos modelos. Por exemplo,  $X_{13}$  significa a construção da primeira regra na terceira tentativa de construção do modelo, ou seja, na terceira versão do modelo. A marcação de cada célula depende, é claro, de como cada dupla construiu as regras no ambiente de modelagem. Cada coluna do quadro analisada de cima para baixo, representa uma seqüência de escolhas de comandos

que representam a construção de uma única regra. Já uma seqüência de colunas analisadas da esquerda para a direita representa um conjunto de tentativas de construção de uma mesma regra, que são separadas por traços pontilhados, ou um conjunto de diferentes regras, separados por traços contínuos, que constituem uma versão do modelo. Um conjunto de colunas separadas por traços em negrito representam diferentes versões do modelo. Ao final de cada quadro que representa todo o processo de implementação das regras no ambiente WorldMaker tem-se, ainda, um quadro complementar, que apresenta a versão final do modelo após o seu processo de construção.

Uma vez que o resultado da simulação da primeira versão do modelo não foi a esperada, a dupla partiu para a segunda versão conferindo a primeira regra construída, a regra *Bounce*. Porém, não a modificou, pois concordaram com o significado da sua construção:

*E2: "O gás batendo na parede e voltando, não é isso que a gente quer dizer com isso?"*

A segunda regra denominada *Both Repel*, foi modificada pelos estudantes: na nova versão foi utilizado o *Ícone da Seta*, no PCR1. Com essa nova condição inicial e mantendo-se a escolha do PCR2, os estudantes chegaram a uma nova opção no PCR3, que é a opção *Swap*, que é trocar o sentido da direção. Essa nova opção foi escolhida pelos estudantes, porém, parece que eles não perceberam o porque dessa nova opção que apareceu pelo fato da construção do PCR 1 utilizar o *Ícone da Seta*.

*E2: "Aquela hora tinha aparecido uma outra coisa"*

O E2 refere-se, nessa fala, à construção anterior da segunda regra, onde havia aparecido a opção *Both Repel* mostrada na Figura 4.10. Nesse momento, apesar do sistema contar com duas regras esperadas, ainda faltava a regra *Jump* de movimento: a falta dessa regra deixava o modelo estático a toda tentativa de simulação.



Assim, após simularem essa Segunda versão do modelo e não obtendo o resultado esperado, mais uma vez, os estudantes passaram a modificar as regras já prontas, mesmo essas estando corretas.

Nesta terceira versão do modelo a dupla modificou, mais uma vez, a primeira regra mudando-a de *Bounce*, que é a regra correta, para a regra *Make Random*. Pode-se ressaltar aqui que na construção dessa regra os estudantes desmarcaram todas as possíveis opções de direção existente na *Grade de Direções* do PCR1. Outro fato importante é notar que essa regra, *Make Random*, não possui nenhuma associação com nenhuma das regras escrita no PCM5 e PCM6, ou seja nesse estágio do processo de modelagem os estudantes já começam a modificar o modelo feito no papel. Após mais essa modificação de regra ocorreu mais uma simulação. Como o modelo continuava sem a regra de movimento ele continuou estático, sem nenhuma molécula de gás se movimentando, não gerando o resultado esperado.

A quarta versão do modelo foi implementada através de nova modificação da primeira regra, passando de *Make Random* para *Roll*. A regra *Roll* é uma regra de movimento, já descrita na seção 3.4. Porém, como a construção dessa regra se deu em cima da janela do *Make Random*, onde os estudantes haviam desmarcado as opções de direção na *Grade de Direções* do PCR1, as moléculas de Gás não se movimentariam novamente. Os estudantes, então, construíram mais uma regra para o modelo já que agora não havia mais regra que representasse a interação entre as partículas de Gás com a *Parede do Recipiente*. A nova regra construída para representar essa interação foi a regra denominada *Repelled By*. A regra *Repelled By* possui uma associação com a primeira regra dos PCM5 e PCM6, onde os estudantes haviam construído a regra no papel. Ouve mais uma simulação desse modelo, porém, ele ainda continuava estático, pois a regra de movimento que poderia dinamizar o modelo, foi construída numa janela onde todas as opções de direção haviam sido desmarcadas pelos estudantes. O modelo nesse momento apresentava três regras: a regra *Roll*, *Swap* e *Repelled By*.

A quinta e última versão do modelo foi construída a partir da modificação na regra *Roll*: a regra construída em cima dela foi a regra *Jump*, também descrita na seção 3.4. Porém, as opções de direção ainda continuavam desmarcadas, deixando o

modelo *gás-recipiente* da dupla ainda estático. Esse foi o modelo final construído pelos estudantes que possuía três regras: *Jump*, *Swap* e o *Repelled By* apresentado no quadro ao lado do aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker* da Figura 4.11. Duas dessas regras, o *Jump* e o *Swap* eram regras esperadas para o modelo, somente a regra *Repelled By* não era esperada.

No aspecto de *Análise* da terceira rede, pode-se notar as principais diferenças existentes entre duas das três regras finais com as regras construídas anteriormente no papel (PCM6). As regras *Swap* e *Repelled By* possuem diferenças com as regras construídas no papel, tais como: a disposição dos objetos e os objetos usados no PCR3. No PCM6 da Figura 4.9 observa-se que os estudantes construíram o PCR3 das duas regras, apenas escrevendo mudança de “*posição*” ou “*direção*” que são opções características do PCR2. Contudo, tem-se que o PCR3 construído no ambiente WorldMaker é feito determinando-se um *Efeito* para a regra, porém, a disposição dos objetos e os objetos usados permanecem no PCR3 como construídos no PCR1, ou seja um ao lado do outro. Nesse aspecto, observa-se que os estudantes além de não terem conseguido determinar um efeito adequado no PCR3 do PCM6, não construíram esse passo usando os objetos e a disposição como havia sido construída no PCR1. É importante observar, ainda, que as funções da janela do WorldMaker não foram construídas no papel, como por exemplo o *Ícone da Seta*, usado na regra *Swap*, a modificação feita na *Grade de Direções* na regra *Jump*, nota-se também que os estudantes não fizeram nenhuma representação dos ícones de *Efeito* do PCR3; todas essas características podem ser vistas na Figura 4.9. Terminada a análise dos dados da Dupla\_01, os dados da Dupla\_02 serão analisados a seguir.

#### **4.4.2. Análise dos Dados da Dupla\_02**

Com base nos dados da Dupla\_02 construiu-se as redes sistêmicas relativas as atividades de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.12 e 4.14.

### 4.4.2.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel

No aspecto, *Descrição*, da primeira rede observa-se que os estudantes da Dupla\_02 definiram para o sistema *gás-recipiente* três objetos: *Molécula* definido como *Objeto*, *Intfrasco* e *Parede* definidos como *Objetos-Cenário*. O número de regras construídas pela dupla no quinto passo de construção do modelo (PCM5) foi de duas: Uma usando dois *Objetos Molécula*, representando dessa forma a interação entre duas moléculas e uma outra regra usando o *Objeto Molécula* e o *Objeto-Cenário Parede*. O *Objeto-Cenário Intfrasco* não foi usado para a construção das regras. Pode-se observar que os estudantes não construíram uma regra para que os *Objetos Moléculas* se movessem aleatoriamente, o geraria um modelo estático. Uma possível explicação para a falta da regra de movimento, é que os estudantes discutem as outras regras e possíveis comportamentos do modelo como se as moléculas se movimentassem naturalmente, sem que seja necessário construir uma regra específica para gerar tal comportamento como pode ser observado no excerto que segue.

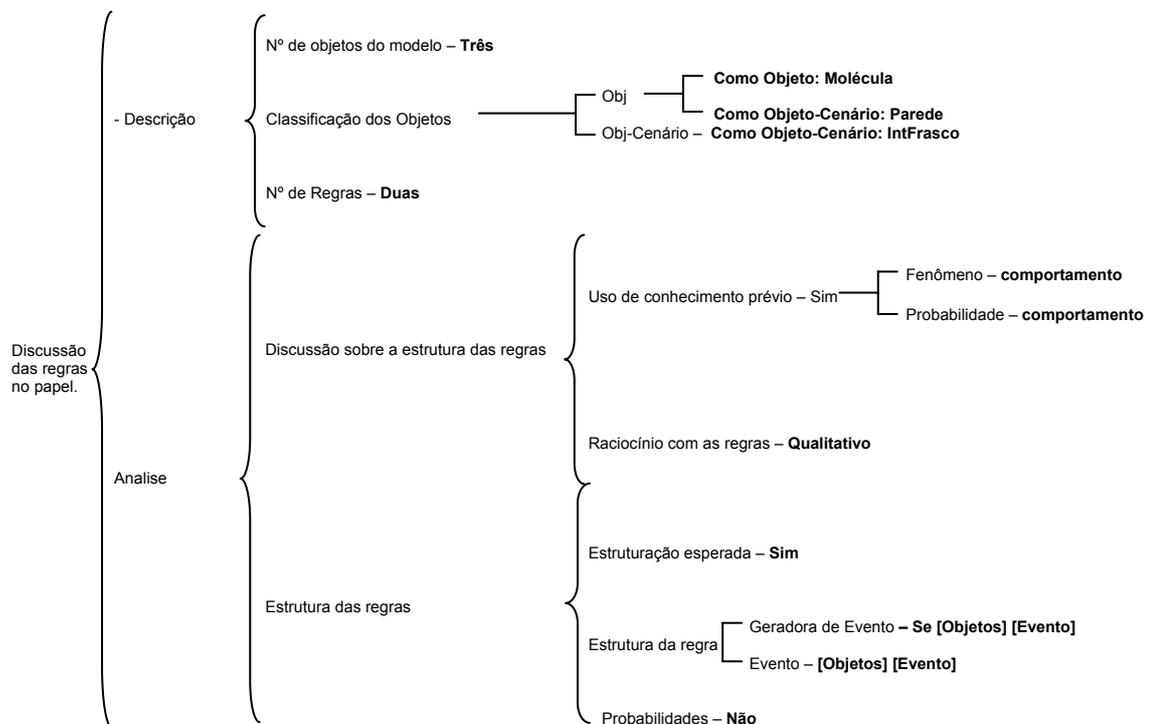


Figura 4.12: Rede Sistêmica da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_02.

E2: “...se uma molécula bater com a outra ela sai na direção contrária”

*E1: "...tanto com o frasco quanto com a molécula"*

*E2: "E aos pouquinhos ela deve ir saindo do frasco ++ eu acho."*

No aspecto, *Análise*, da primeira rede observa-se que os estudantes usaram conhecimento prévio específico sobre o fenômeno de pressão e sobre probabilidades na discussão das regras no PCM5. A discussão sobre o fenômeno foi feita pelo E2, para explicar um possível comportamento do modelo para E1. Os estudantes discordavam sobre se as moléculas saíam ou não saíam do frasco. Esse frasco conteria uma certa quantidade de *Moléculas* de gás que saíam do frasco e se espalhariam para uma sala fechada.

*E2: "Aos pouquinhos ela deve ir saindo do frasco ++ eu acho. É ela vai sair, eu creio que saía."*

*E1: "Não sei não!"*

*E2: "Concorda que se você tiver uma grande quantidade de gás confinada num espaço pequeno a tendência de agitação vai ser maior, que vai haver um maior choque entre elas, é a pressão mesmo."*

A discussão sobre o aspecto da probabilidade foi feita pela Dupla\_02 ainda como explicação de um possível comportamento do modelo, os estudantes discutiam em termos da probabilidade se as *Moléculas* saíam ou não saíam do frasco.

*E1: "Tá mas vamos supor que aleatoriamente duas moléculas vão bater + na área central do frasco e vão para lados opostos, vão bater nas paredes e voltar e vai ficar..."*

*E1: "Ela bateu aqui aí voltou aí vai bate na parede!"*

*E2: "Eu entendi o que você falou, mas aí você está tratando o caso como se fosse uma exceção eu acho que isso pode acontecer, mas a probabilidade é muito pequena."*

*E1: “Eu acho que é probabilidade vai ser grande, mas tudo bem.”*

Observa-se que no segundo aspecto da quarta chave, *Raciocínio com as Regras*, que o raciocínio usado para a construção das regras foi caracterizado como qualitativo. Com E1 e E2 discutindo as regras em função dos objetos e dos eventos: *“É entre objetos, interação entre objetos +++ se uma molécula bater.”*. Pode-se notar nessa discussão que os estudantes definiram como evento para as duas regras o que eles denominaram de *“Bater e voltar”*, fazendo-se uma associação com a regra de *Bounce* vista anteriormente por eles no material instrucional.

*E1: “Bate e volta”*

*E2: “Aquele ali bounce. ++ bate e volta isso mesmo, tanto com o frasco quanto com a molécula.”*

No segundo aspecto da análise, *Estruturação das Regras*, pode-se observar na transcrição das regras dos estudantes E1 e E2, que a estruturação das regras feitas por eles no PCM5, foi uma estruturação esperada caracterizadas como *Geradora de Evento* e como *Evento*

*E1: Se [Objetos.] [Evento.]*

*E2: [Objetos.] [Evento]*

Os objetos usados foram *Molécula* e *Parede* e o evento *seguir direção oposta (bater e voltar)*. Observa-se que nenhum dos estudantes construiu as regras dentro do formalismo *“Se..Então”*. Por fim tem-se que a Dupla\_02 não utilizou o aspecto de probabilidade na construção das regras. As regras escritas por E1 e E2, são mostradas a seguir:

*E1: “1º Se molécula encontrar com outra ela segue direção oposta”*

*E1: “2º Se molécula encontra um obstáculo, parede do recipiente ela segue direção oposta”*

*E2: “ Molécula batendo com outra: volta na direção oposta.”*

*E2: “Molécula bate no frasco ou na parede: volta na direção oposta (BATE E VOLTA)”*.

### 4.4.2.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel

Observar-se na Figura 4.13 que a construção do primeiro, segundo e terceiro passos de construção de regras (PCR1, PCR2 e PCR3), feitas no PCM6 por essa dupla é muito semelhante a construção formal de regras no WorldMaker. Isso deve-se ao fato de que os estudantes construíram esse passo após a construção das regras no ambiente WorldMaker não sendo possível, dessa forma, a análise da segunda rede e do aspecto *Análise* da terceira rede. Portanto, para essa dupla os aspectos relacionados a segunda rede e o aspecto *Análise* da terceira rede não são incluídos nessa descrição.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passo de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passo de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)

Figura 4.13: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla\_02.

#### 4.4.2.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

A terceira rede usada para a análise Processo de Modelagem Computacional, aborda o sétimo, oitavo e nono passos de construção dos modelos (PCM7, PCM8 e PCM9). Essa rede mostra a evolução temporal das regras implementadas no ambiente WorldMaker pelos estudantes da Dupla\_02. Pode-se observar que no primeiro aspecto de *Descrição* que o número final de regras implementadas foi de três, ou seja uma regra a mais do que no papel.

No segundo aspecto da *Descrição, Implementação das Regras no WorldMaker*, observa-se que a primeira regra construída pelos estudantes foi a regra denominada *Bounce*. Essa regra era esperada dentro do modelo, porém, com a utilização dos objetos *Moléculas* e *Parede* contudo, essa a regra foi construída com dois objetos *Molécula*. Vale ressaltar que no modelo dessa dupla, mesmo se a regra *Bounce* tivesse sido construída com os objetos corretos, ela ainda estaria incorreta, pois o objeto *Parede* foi classificado como *Objeto-Cenário* dentro do modelo.

A implementação da primeira regra pela dupla foi feita com os estudantes estabelecendo os objetos que iriam compor a regra

*E1: "... vamos fazer o azul em contato com o azul ++ isso!"*

O azul nesse exceto refere-se ao *Objeto Molécula*, pois essa é a cor do objeto no ambiente WorldMaker. Estabelecido os objetos da condição inicial, os estudantes passaram para o PCR 2 escolhendo o tipo de mudança a ser realizado nos objetos

*E2: "Aqui ó, então vai mudar ambas as moléculas e molécula +++ vai mudar a direção das moléculas +++",*





Estabelecido o tipo de mudança, mudança de direção, a dupla fez a escolha de mudar a direção apenas de uma das moléculas, depois dessa escolha a dupla tentou estabelecer um efeito final para a regra

*E1: “Efeito, qual vai ser o efeito?”*

*E2: “O efeito eu acho que é aquele que a gente usou aquela hora +++”*

*E1: “Esse efeito aqui, bate e volta”*

*E2: “Espera aí!”*

*E1: “Nenhum bate e volta!”*

Pode-se notar que os alunos sabiam qual o efeito a se determinar, porém, não conseguiram determinar tal efeito, pois a opção de bater e voltar, o *Bounce*, não apareceu no PCR3, pois a montagem do PCR1 não continha o *Ícone da Seta*. Dessa forma, a dupla tentou reconstruir o PCR2 dessa regra, voltando nesse passo duas vezes, escolhendo duas diferentes opções da primeira opção escolhida, que eram: *Mudar Ambas as Moléculas* e *Mudar Ambas as Direções* respectivamente, porém, o resultado de *Bounce*, não aparecia no PCR3.

Dessa forma, a dupla tentou reconstruir a primeira regra fazendo uma segunda tentativa de construção da regra a partir do PCR1. Nessa segunda tentativa de construção da regra 1, a partir do PCR1, observa-se que a nova construção do PCR1 feita pelos estudantes conservou a disposição dos objetos, ou seja *Molécula* do lado de *Molécula*, porém, dessa vez a dupla selecionou o *Ícone da Seta* no PCR1

*E1: “.. cadê a setinha em cima da esfera? Tem que acrescentar ali +++..”*

A dupla também tentou modificar a *Grade de Direções* com a seguinte justificativa dado pelo E1

*E1: “Ela não vai poder nem ir pra cá, nem pra cá, nem pra cá e nem pra cá, não é isso?”*

*E2: Não!*

No entanto E2 não concordou e a dupla acabou não modificando de forma efetiva a *Grade de Direções*. Com essa nova montagem a escolha do PCR2 foi primeiramente *Mudar Ambas as Moléculas*, mas como o *Bounce* não apareceu no PCR3 eles voltaram ao PCR2 e selecionaram a opção de *Mudar a Direção de uma das Moléculas*, no caso a molécula da primeira célula do PCR1. Feito essas duas construções de passos de regras, os estudantes finalmente estabeleceram o efeito final que eles queriam, o efeito de *Bounce*.

Após a construção dessa primeira regra os estudantes simularam a primeira versão do modelo construído contudo, o comportamento gerado pelo modelo foi estático, pois não havia nem uma regra de movimento aleatório para as moléculas. Pode-se observar também que essa primeira versão do modelo não possui nenhuma regra de interação entre os objetos *Molécula* e *Parede*. Após esse comportamento estático do modelo, os estudantes dialogaram sobre o porque do modelo não ter o comportamento esperado:

*E1: “Como elas vão se mexer, tem muita molécula aqui E2!”*

*E2: “Com certeza elas tinham que estar se mexendo, se tivesse certo, é que não está certo a regra de movimento, não é essa, volta lá nessa regra”*

Observando o trecho de excerto, pode-se notar que a primeira justificativa para explicar o comportamento não esperado do modelo é dado por E1. Segundo o estudante a disposição dos objetos não deixa as moléculas se movimentarem, porém, essa justificativa é logo rebatida por E2, que argumenta que é a regra que não está correta. Nota-se nesse trecho de excerto que E2 compreende essa regra como sendo uma regra de movimento e interação entre moléculas e não apenas como uma regra que representa apenas o choque de duas moléculas.

Uma vez que o resultado da simulação da primeira versão do modelo não foi a esperada, a dupla partiu para a segunda versão, a partir da modificação da regra *Bounce* feita anteriormente. A modificação da regra é feita a partir do PCR2, ou seja, os estudantes não refazem o PCR1. Primeiramente eles mudam a opção do PCR2 para que a direção da segunda molécula mude, ao invés da direção da

primeira como estabelecido anteriormente. Essa mudança leva a um efeito desconhecido no PCR3, o efeito denominado *Carry*. Dessa forma, os estudantes voltam novamente ao PCR2 escolhendo a opção de mudar o primeiro objeto da regra, não conseguindo novamente determinar o efeito final, retornado novamente ao PCR2 onde escolhem mais uma vez a opção de mudar a direção do segundo objeto da regra e mais uma vez aparece no PCR3 a opção de efeito final denominada *Carry*. Por fim, a dupla volta ao PCR2 e escolhe a opção de mudança de direção do primeiro objeto e restabelece novamente o resultado final de *Bounce* para a regra.

Essas várias tentativas de construção da regra é justificada pelo E2 da seguinte forma

*E2: “ Clica em continue, a gente tem que testar os efeitos, vamos lá +++ volta de novo e clica em modify vamos testar todos +++.”*

Na argumentação do E2 pode-se observar que a reconstrução da regra foi feita por tentativas de se achar um efeito que desse movimento para a *Molécula*, pelo fato de E2 entender que as partículas teriam que se mover sem a necessidade de construir uma regra específica de movimento.

Após essa tentativa de modificação da primeira regra, a dupla implementou uma segunda regra para o modelo. A nova regra representa a interação da partícula com a parede, a argumentação usada na construção dessa segunda regra foi:

*E1: “A gente tem que fazer a regra da parede ++ uma regra para a parede.”*

*E2: “Bom a gente vai fazer a mesma regra, só que no caso ela vai bater, é quando tiver essa disposição +++...”*

*E1: “Direção das moléculas!”*

*E2: “Se bater assim vem pra cá, pra cá! ++”*

Pode-se observar que o E2 argumente que essa segunda regra é a mesma da regra feita anteriormente, entre *Molécula* e *Molécula*, sendo que a única coisa que difere

as duas, é que nesse caso será usado uma molécula e uma parede no PCR 1. No entanto, existe uma diferença conceitual entre as duas regras que o E2 não percebeu. Essa diferença pode ter levado a dupla a construir a primeira regra de forma errada. No choque de duas *Moléculas*, as duas mudam de direção, diferentemente do choque de uma *Molécula* com a *Parede* de um recipiente, onde só a molécula muda de direção. Dessa forma, nota-se que o efeito de bater e voltar só se aplica na construção dessa segunda regra, pois o efeito final que melhor representa o choque de duas moléculas é o efeito denominado *Swap*, onde as duas moléculas trocam o sentido de suas direções. Contudo, a construção dessa segunda regra não poderá ser feita corretamente, pois o a *parede* foi definida como *Objeto-Cenário*, ao invés de *Objeto*.

A construção da segunda regra é feita com a dupla não modificando a grade de direções. A disposição dos objetos é feita com o *Objeto Molécula* ao lado do *Objeto-Cenário Parede*, com os estudantes selecionando o *Ícone da Seta*. A opção escolhida para o PCR2 foi a mudança de direção do *Objeto molécula*. Como a *Parede* é definida como sendo um *Objeto-Cenário*, mesmo os estudantes fazendo a montagem correta dos dois primeiros passos, a opção de *Bounce* não aparece no PCR3. No entanto, os estudantes escolhem uma opção para definir o resultado final da regra, a opção escolhida é denominada de *From Background*. O desenho que representa o efeito *From Background* parece ter induzido os estudantes a escolherem esse resultado final como pode se observado no excerto

E1: “Se bater assim vem pra cá, pra cá! ++”

A Figura 4.15 mostra o desenho representativo do *Efeito* da regra denominado *From Background*.



**Figura 4.15:** Ícone de Efeito Final *From Background*.

Após a construção da segunda regra os estudantes simularam pela segunda vez uma vez o modelo. Porém, como o modelo não possuía uma regra que

representasse o movimento das moléculas o comportamento gerado pelo modelo foi estático. Como o modelo não se comportou como o esperado os estudantes voltaram a discutir os erros que poderiam haver no modelo, como é mostrado na excerto que segue

*E2: “Vê a regra, visualiza a regra ++essa segunda regra aqui ela foi feita com o fundo +++ vamos criar o segundo objeto aqui!”*

*E1: “É o que é o segundo objeto?”*

*E2: “Vamos colocar um segundo objeto como sendo uma parede +++...”*

.  
. .  
.

*E1: “Vai ser assim + mais uma regra + quando tiver sem objeto!”*

*E2: “Ah! É isso mesmo!”*

Na discussão nota-se que a primeira idéia para se modificar o modelo é fazer a modificação das regras já prontas, mesmo que essa modificação não tenha uma boa justificativa. No caso da Dupla\_02 surgiu a idéia de se fazer uma nova regra no caso uma regra de movimento dado pelo E1, pois a regra envolve segundo ele o “*sem objeto*”, que é uma característica das regras de movimento do ambiente WorldMaker que usa a denominação *No Object* para caracterizar a ausência de objeto numa regra.

Após essa discussão a dupla partiu para a terceira modificação do modelo, a partir da construção de uma terceira regra. Essa regra foi feita sem a modificação da *Grade de Direções*. A disposição dos objetos foi feita com a molécula do lado do *No Object* com o *Ícone da Seta* selecionado. Como a construção no PCR1 foi feita com a utilização do *No Object* as opções do PCR2 foram as de *Mudar a Posição do Objeto* e *Criar Objetos*, os estudantes escolheram a primeira opção. Como no PCR1 houve a utilização do *Ícone da Seta* a escolhe que aparece no PCR 3 é de *Roll* que possui o mesmo ícone de efeito do *Jump*. Os estudantes finalizaram a construção da regra, estabelecendo para o modelo a regra de movimento *Roll*. Após a construção da terceira regra os estudantes simularam o modelo pela terceira vez. O comportamento do modelo apresentou movimento das moléculas, porém, não era

um movimento aleatório, pelo fato da regra de movimento ser o *Roll* ao invés do *Jump*. Mesmo com o modelo apresentado um comportamento repetitivo, por causa do movimento das moléculas serem sempre o mesmo movimento de ida e volta, os estudantes acharam que o modelo estava bom:

*E2: “O modelo tá funcionando”.*

Pode-se destacar por último que as regras de movimento são de vital importância para os modelos, pois elas os dinamizam, fazendo dessa forma com que os estudantes observem a dinâmica de certos fenômenos, que não são possíveis de serem observados no nosso cotidiano, como no caso da *Difusão de Gases*. Terminada a análise dos dados da Dupla\_02, os dados das Dupla\_03 serão analisados a seguir.

#### **4.4.3 Análise dos Dados da Dupla\_03**

Com base nos dados da Dupla\_03 construiu-se as redes sistêmicas relativas a atividade de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.16, 4.17 e 4.20.

##### **4.4.3.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel**

No aspecto, *Descrição*, da primeira rede observa-se que a Dupla\_03 definiu para o sistema *gás-recipiente* dois objetos: *Partículas* e *Parede*, ambos sendo *Objetos*. Não houve a definição de nenhum *Objeto-Cenário* para o modelo. O número de regras construídas com esses dois objetos no quinto passo de construção de modelo (PCM5) foi de duas: uma envolvendo os *Objetos Partícula* e *Parede* e a outra envolvendo dois *Objetos Partículas*. Não houve, nesse estágio inicial a construção de nenhuma regra que determinasse o movimento das *Partículas*, o que geraria um modelo estático.

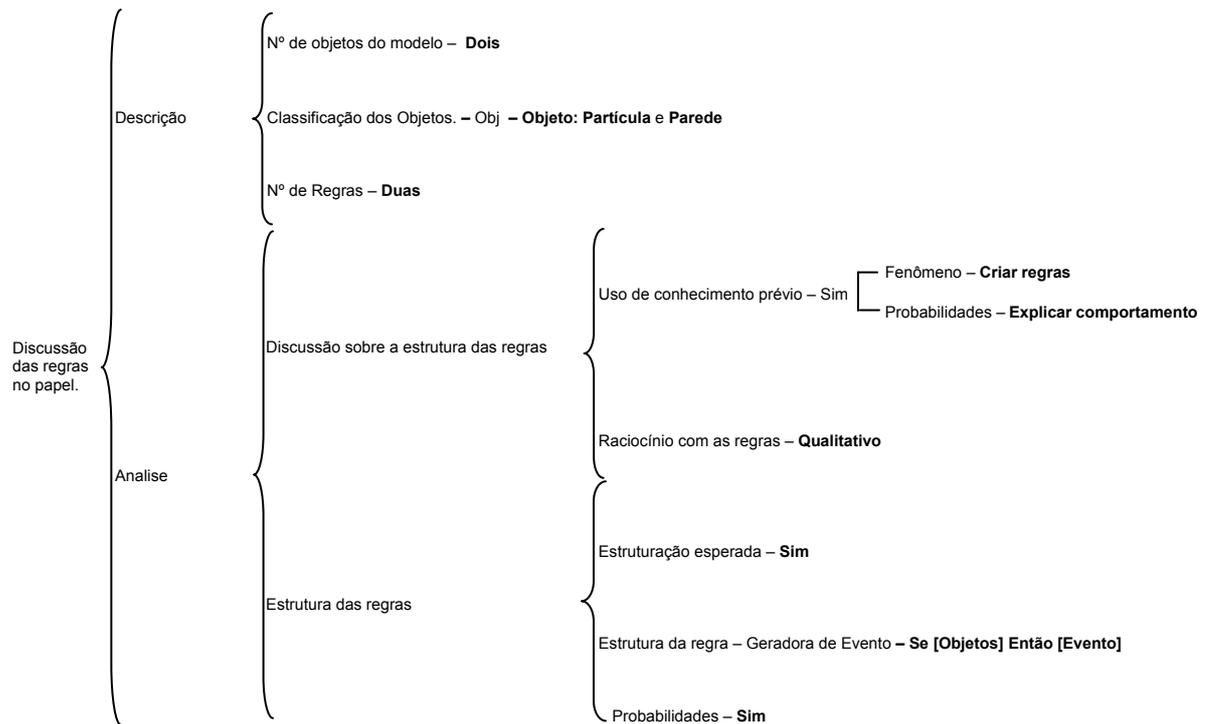


Figura 4.16: Rede Sistemática da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_03.

No aspecto de *Análise* da primeira rede observa-se que na discussão sobre a estruturação das regras houve o uso de conhecimento prévio específico sobre fenômeno e probabilidades pela dupla, para criar regras e explicar comportamento respectivamente. O modo de raciocínio da dupla para a construção das regras foi caracterizado como qualitativa, com a discussão da estrutura das regras feita através do uso de objetos e eventos.

E1: “... se partícula interage com parede, partícula muda de direção.”

E2: “E a mesma coisa pra/”

E1: “Se partícula interage com partícula +++...”

Como pode-se no excerto, os estudantes discutiram as regras de forma que a sua estrutura tivesse os objetos *Partículas* e *Parede*, e as *Partículas* sempre mudariam de direção.

No segundo aspecto da *Análise*, pode-se observar que a estrutura escrita das regras no PCM 5 foi uma estrutura esperada, contendo objetos e eventos,

corroborando a argumentação dos estudantes anteriormente citada, a estrutura das regras escritas são

*E1: “Se part. interage com parede, então partícula muda de direção com 100% de prob.”*

*E1: “Se partícula interage com partícula então partícula muda de direção com 100% de prob.”*

*E2: “Se partícula interage com parede, então muda a direção (100%).”*

*E2: “Se partícula interage com partícula, então muda de direção (100%).”*

A partir das regras transcritas da Dupla\_03, pode-se observar aspectos importantes sobre as regras do PCM5. Em primeiro lugar todas as regras foram estruturadas no formalismo completo, ou seja além dos objetos e eventos escritos corretamente, as regras apresentavam a estrutura classificada como *Geradora de Evento* com o uso do “*Se..Então*”.

*E1 e E2: Se [Objetos] Então [Evento].*

Um segundo aspecto a se notar nas regras escritas no PCM5 é o uso da palavra “interage” pelos E1 e E2, não caracterizando essa interação especificamente como *Partícula* batendo na *Parede*, ou *Partícula* batendo em *Partícula*. Um terceiro aspecto a se observar na estrutura escrita das regras é o uso correto das probabilidades na escrita das regras.

#### **4.4.3.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel**

No aspecto *Descrição* da segunda rede, observa-se que o que o *Nº de Regras* construídas pela dupla no sexto passo de construção de modelo (PCM6), foi de duas, o mesmo número construído anteriormente no PCM5, mostrando dessa forma que os estudantes ainda não haviam pensado em uma regra que determinasse o movimento das *Partículas*. A *Forma de Preenchimento* dos passos de construção de regras (PCRs) foi escrita e desenhada. Não houve nenhum erro de preenchimento do primeiro, segundo e terceiro passos de construção de regras (PCR1, PCR2 e

PCR3), ou seja os passos estão bem divididos e especificados, de acordo com o que cada um deles pede, como pode ser visto na Figura 4.18. A rede sistêmica do PCM6 é mostrada na Figura 4.17.

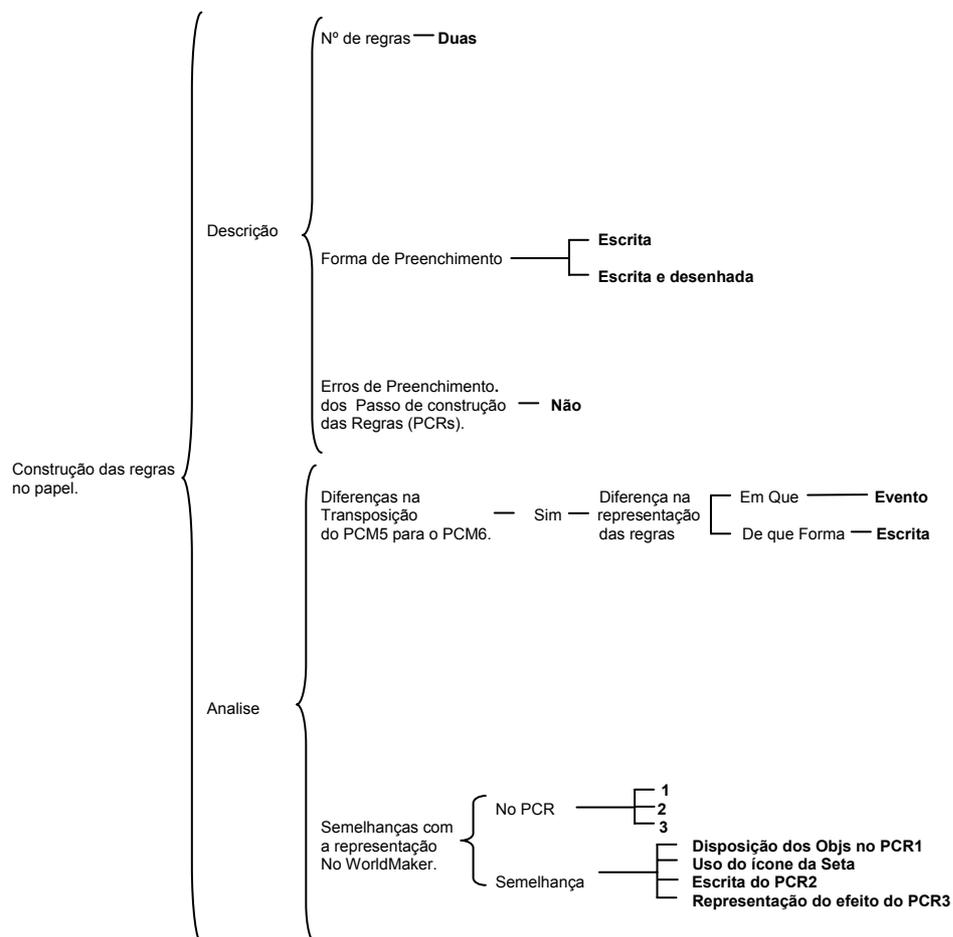


Figura 4.17: Rede Sistêmica da Construção das Regras no Papel da Dupla\_03.

No aspecto de *Análise* da segunda rede, pode-se observar que houve uma diferença importante na representação das regras, essa diferença está na representação dos eventos. Na representação feita no PCM5 os estudantes E1 e E2 apenas defiram o evento como sendo “... *interage então muda de direção.*”, no entanto no PCM6 a representação do evento está mais completa, com a representação do evento como sendo a “*mudança de direção*” com o resultado final de “*bate e volta*”, ou seja os estudantes definem o que vai mudar e como vai mudar. O que faz com essa representação do PCM6 no papel se aproxime do formalismo do ambiente WorldMaker.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
Partícula ao lado da parede, colocar seta que determina direções aleatorias para os objetos.	Determinar mudança apenas na direção da partícula.	Determinar o efeito de bater e voltar 
Partícula ao lado de partícula, colocar seta para det. direções.	Determinar mudança em ambas as direções. (2 objetos).	Determinar o efeito de bater e voltar.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
1ª → movimento aleatorio. → Partícula ao lado da parede.	→ mudanças de direção da partícula.	→ Bate. volta
2ª → movimento aleatorio. → Partícula ao lado de partícula	→ mudanças de direção de ambos	→ Bate Volta

Figura 4.18: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla\_03.

Um outro aspecto importante a se observar na escrita do PCM6 são as semelhanças desse passo com o formalismo do ambiente WorldMaker. Nesse aspecto pode-se notar pela Figura 4.17 e 4.18 que essas semelhanças se fazem presentes em todos os PCRs construído no PCM6. No PCR1 observa-se que a disposição dos objetos é a mesma feita no WorldMaker, com os objetos dispostos uma ao lado do outro, no entanto no PCM 6, essa disposição é feita de forma escrita e no ambiente de modelagem ela é feita com ícones que representam os objetos.

Um segundo aspecto importante do PCR 1 é que os estudantes utilizaram o *Ícone da Seta* nas duas regras construídas. É importante ressaltar que a função desse ícone parece ter sido muito bem entendida pelos estudantes E1 e E2, como pode ser visto no excerto que segue

*E2: “A sim estabelece o objeto olhar em todas as direções ou apenas numa direção específica? Tem que colocar tudo isso no papel se ele vai só numa direção ou se ele vai geral. Aleatório eu posso escrever movimento aleatório?”*

*E1: “É isso aí E2!”*

O E1 escreveu que “colocar seta que determina direções aleatórias para os objetos”, já o E2 especificou o ícone escrevendo que “movimento aleatório”. Independentemente da forma como foi especificada o uso desse ícone por cada estudante, nota-se no diálogo transcrito acima, que tanto E1 como E2 atribuíram ao ícone a função correta. O entendimento do uso do *Ícone da Seta* pode também ser observado no trecho de excerto referente a construção da condição inicial da segunda regra, onde E2 confunde a princípio a função atribuída a *Seta*.

*E1: “Partícula ao lado de parede +++... atua na parede ++ c-o-l-o-c-a-r +++ pronto. Partícula ao lado de parede quer dizer que... e tem que colocar a setinha em cima que é pra especificar que ela tem que seguir a direção!”*

*E2: “Não deve seguir!”*

*E1: “Não a setinha em cima é seguir a direção!”*

*E2: “Não, mas a gente não quer, a gente quer o movimento aleatório!”*

*E1: “Mas o movimento aleatório não é determinado por aquela setinha!”*

*E2: “É determinado por aqui ó ++ A não! Sim é seguir a direção, tá certo é verdade!”*

*E1: “Não é isso? +++... Isso determina que o objeto olhe em todas as direções, colocar seta que determina que o objeto olhe em todas as direções +++...”*

No PCR2 pode-se observar que a representação feita no papel é a mesma que foi construída no ambiente WorldMaker, com a especificação do que muda “*mudança da direção da partícula*” e “*mudança de direção de ambas*” como escrito pelo E2. A discussão sobre o que mudaria no PCR2 foi feita por E1 e E2 sem muito problema com a concordância de que na primeira regra apenas a direção da partícula seria mudada, porém, na segunda regra se mudaria ambas as direções das partículas.

*E1: “É determinar mudança apenas de direção da partícula +++... mudança apenas na direção da partícula +++... Ah! É a gente vai fazer duas regras né?”*

*.*  
*.*  
*.*

*E1: “Só que no passo dois é diferente né?”*

*E2: “É aí as duas vão mudar de direção!”*

No PCR3 pode-se observar que os alunos conseguiram especificar um efeito final, mesmo que essa especificação tenha sido feita de uma forma escrita “*bate e volta*”, como feito por E2. É importante também, observar que E1 desenhou o efeito de *Bounce* na primeira regra, mostrando dessa forma já saber o que determinar no PCR3, como é mostrado no trecho de excerto que segue

*E2: “... passo três resultado da mudança, bate e volta né? ++”*

*E1: “É! Determinar o efeito né?”*

*E2: “Aí já é o resultado”*

*E1: “Passo três determinar o efeito”*

*E2: “O resultado é bater e voltar, qual é o resultado?”*

*E1: “Não, mas se vai que determinar isso lá no computador!”*

*E2: “A sim tem a setinha lá!”*

*E1: “Sim que determina o efeito de bate e volta +++...”*

*E2: “Mesma coisa que o de cima”*

Pode-se notar nesse dialogo que E1 já sabe qual efeito determinar no PCR3 não confundindo o PCR2 com o PCR3. A “setinha” a qual o E2 se refere no dialogo é o

ícone que determina o *Efeito* de *Bounce*, bate e volta, mostrada na Figura 4.19, pode-se comparar essa figura com o desenho feito por E1 na construção da primeira regra do PCM6 mostrado na Figura 4.18.

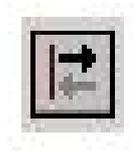


Figura 4.19: Ícone de Efeito *Bounce*.

#### 4.4.3.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

No aspecto de *Descrição* da terceira rede pode-se observar que a primeira regra construída, foi a regra *Bounce*. A regra *Bounce* é uma regra esperada dentro do modelo, desde que seja feita a partir do objeto que tenha sido definido como *Partícula*. No entanto no modelo da Dupla\_03 essa regra foi feita a partir do objeto definido como *Parede*. A construção dessa regra a partir do objeto *Parede* aconteceu pelo fato do E1 afirmar que não havia diferença entre construir a regra a partir do objeto *Partícula* ou a partir do objeto *Parede*, mesmo o E2 não concordando a regra foi feita a partir do objeto *Parede*.

E2: “Vamos fazer as regras aqui primeiro, vamos lá +++... se tem que fazer a regra a partir da partícula, pois a parede vai ficar parada ++”

E1: “O que?”

E2: “Seleciona a partícula, clica aí ++ modify +++...”

E1: “Poderia ser?”

E2: “Não qual é a regra da parede, ela tá parada!”

E1: “Não olha só vamos clicar aqui só pra ver rapidinho +++... mesma coisa!”

E2: “Não, sim!”

E1: “Ó vai aparecer tudo aqui mesmo!”

Por esse trecho de diálogo da dupla observa-se o fato de que o E2 compreende que a regra tem que ser feita a partir do objeto *Partícula*, de acordo com as suas palavras, “se tem que fazer a regra a partir da partícula, pois a parede

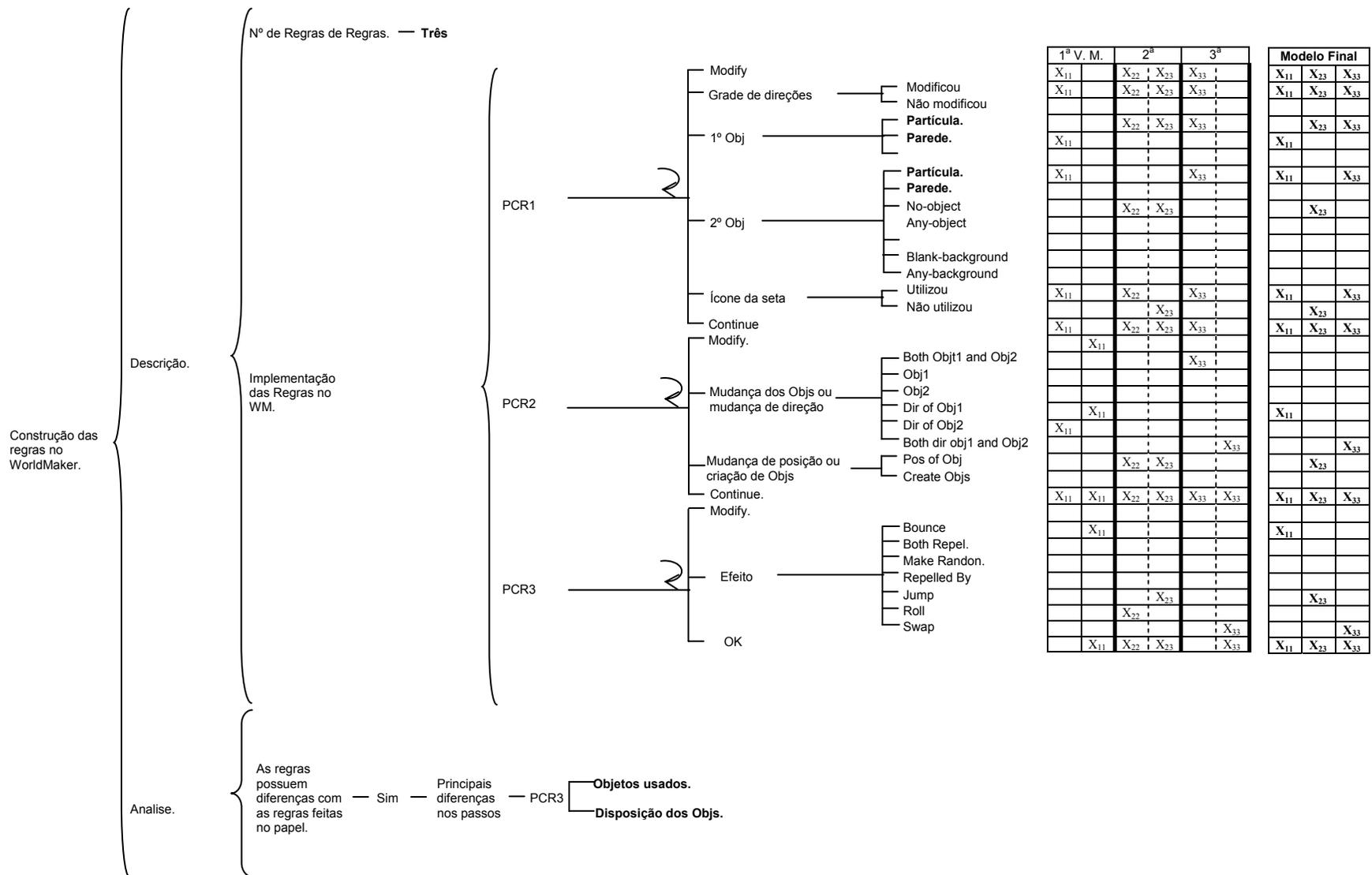


Figura 4.20: Rede Sistemática da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_03

*vai ficar parada ++*”. No entanto E2 não vê diferença entre construir a regra a partir da *Parede* ou da *Partícula*, pois segundo E2, “*Ó vai aparecer tudo aqui mesmo!*”, ou seja a janela inicial de edição é a mesma tanto para a regra feita a partir do objeto *Partícula*, como a regra feita a partir do Objeto *Parede*.

Na primeira tentativa de se construção da regra a dupla definiu no PCR 1 a disposição dos objetos como *Parede* ao lado de *Partícula*, ao invés de *Partícula* ao lado de *Parede*. O *Ícone da Seta* foi selecionado como definido anteriormente no PCM6. Com essa com essa construção de PRC1 a escolha feita no PCR2 foi a de mudança de direção da *Partícula* essa escolha estava clara para E1, “*a gente não vai mudar a partícula, ela não vai se transformar em uma outra coisa, ela vai mudar de direção, direção da partícula*”. No entanto, com essas construções de PCR1 e PCR2 a opção de resultado da mudança que aparece no PCR3, não era a esperada pelos estudantes. Dessa forma, reconstruiu a primeira regra a partir do PCR2 modificando a primeira escolha feita de mudar a direção da *Partícula*, escolhendo a opção de mudança de direção da *Parede*. Com esse novo PCR2 a opção esperada pela dupla, o *Bounce*, foi selecionada no PCR3 finalizando dessa forma, a construção da primeira regra do modelo. Após a construção dessa regra a dupla fez a primeira simulação do modelo construído. No entanto, como o modelo não continha nenhuma regra de movimento o comportamento gerado por ele foi estático. Uma vez que o resultado da simulação da primeira versão do modelo não foi o esperado, a dupla partiu para a segunda versão construindo uma segunda regra para o modelo, uma regra de movimento.

A segunda regra construída para o modelo foi a regra *Roll*, pode-se notar que mesmo a dupla não tento feito essa regra anteriormente no PCM6, eles a fizeram no ambiente WorldMaker, antes mesmo de fazer a segunda regra definida por eles no papel, a regra de interação entre *Partícula* e *Partícula*. Mas uma vez os estudantes discordaram sobre a construção da regra, porém, dessa vez o E2 persuadiu E1 a fazer a regra de movimento para o modelo.

E2: “*Que se tá fazendo?*”

E1: “*Botei pra andar!*”

E2: “*Não, não se tem que fazer ela se movimentar também*”

*E1: “Mas a gente não definiu isso lá atrás?”*

*E2: “Não se definiu a interação dela com a parede!”*

*E1: “A é!”*

*E2: “Se tem que definir ela com o espaço vazio, se lembra? Espaço vazio ela toma o lugar ++”*

A continuação dessa discussão, sobre a construção da segunda regra, feita pelos estudantes, pode dar uma pista de porque os estudantes quase sempre não pensam nas regras de movimento para os modelos.

*E1: “Não E2, a gente definiu isso antes lá”*

*E2: “Não! Se definiu a interação!”*

*E1: “A gente não boto as duas + depois a gente não boto que a bolinha ai mudar a direção +”*

*E2: “Não mas se só vai mudar a direção quando tá interagindo com a parede E1. Aqui ela tá interagindo, ela tem que interagir com o espaço vazio”*

Nota-se nesse dialogo que o fato dos estudantes escolherem no PCR2 a opção de mudança de direção da partícula leva alguns a pensar que a partícula se moverá indefinidamente, sem precisar de construir uma regra específica de movimento para isso. O E1 é levado a pensar que não é necessário modelar uma regra específica de movimento para a *Partícula*, pelo fato de que na regra anterior, ter escolhido no PCR2 a opção de mudança de direção da partícula. No entanto o E2 argumenta que: *“Não mas se só vai mudar a direção quando tá interagindo com a parede E1. Aqui ela tá interagindo, ela tem que interagir com o espaço vazio”*. Um último comentário a se fazer é que na regra anterior a opção realmente escolhida pela dupla foi mudar a direção da parede.

A segunda regra construída pela Dupla\_03 foi uma regra de movimento, *Roll*, essa regra não havia sido construída anteriormente no papel, o que gerou uma certa dificuldade para se definir se no PCR1 dessa regra era necessário selecionar ou não o *Ícone da Seta*, E1 comenta *“Tem que ter setinha? Agente não boto”*. A primeira construção é feita com o uso do *Ícone da Seta* e conseqüentemente os

estudantes são levados ao *Roll*. No entanto, antes de fazer uma nova simulação do modelo os estudantes refazem essa regra de movimento, dessa vez construindo o *Jump*, ou seja sem utilizar o *Ícone da Seta* no PCR1.

E2: “*Modify, espaço vazio, isso! Continue, não sem setinha aleatória ++ pos of partícula isso!*”

E1: “*A tá!*”

E2: “*Continue lá em cima, dá OK ++Close*”

Uma terceira regra é feita para o modelo, segundo E1: “*agora tem que fazer a interação dela com ela mesma*”. Essa interação simula o choque de duas *Partículas*, no modelo esperado essa regra é denominada de *Swap*. A disposição dos objetos é feita com duas *Partículas* uma ao lado da outra, é usado o *Ícone da Seta*, com relação ao uso do ícone E1 comenta, “*Ela tem que bater na direção em que ela tá indo, então é com setinha, lógico!*”. A escolha feita no PCR 2 é de mudança da direção das duas partículas e finalmente no PCR3 é escolhido o resultado final denominado de *Swap*. Após a construção da terceira regra os estudantes simulam a segunda versão do modelo. Pode-se observar que o modelo contém as três regras esperadas, que são: *Bounce, Swap, Jump*. A única falha do modelo é que a regra *Bounce* foi feita a partir do objeto *Parede*, o que levou consequentemente os estudantes escolherem nessa regra a mudança de direção da *Parede* e não da *Partícula*.

Por fim, no aspecto de *Análise* da rede nota-se que as diferenças entre as regras implementadas no WorldMaker que estão associada as regras construídas no PCM6 são: os objetos usados e a disposição dos objetos no PCR3, ou seja, no PCR3 do PCM6 os estudantes não utilizaram nenhum objeto ou disposição na construção desse passo de regra, só determinaram o efeito final de “*bate e volta*”. Ou seja as regras escritas no papel estavam bastante próximas da representação feita no WorldMaker como pode ser visto na Figura 4.18, facilitando, dessa forma, a construção delas no ambiente de modelagem. Terminada a análise dos dados da Dupla\_03, os dados da Dupla\_04 serão analisados a seguir.

#### 4.3.4. Análise dos Dados da Dupla\_04

A análise dos dados da Dupla\_04 será feita a partir dos dados contidos no material instrucional de atividades de modelagem e da análise da seqüência da atividade gravada no vídeo. Essa análise não contará com a transcrição das atividades da dupla, pois não foi possível recuperar o arquivo de áudio que dá origem a essa transcrição devido a um problema no computador que estava sendo utilizado. Contudo, a análise será feita seguindo a rede sistêmica, como feito com as demais duplas, sendo que o aspecto, *Discussão Sobre a Estruturação das Regras*, da primeira rede não será analisado, pois essa análise só é possível a partir da transcrição do arquivo de áudio. Os demais tópicos da primeira rede, assim como a segunda e terceira rede serão analisados sem os excertos da dupla.

Com base nos dados da Dupla\_04 construiu-se as redes sistêmicas referentes a atividade de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.21, 4.23 e 4.24.

##### 4.4.4.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel

No aspecto, *Descrição*, da primeira rede observa-se que os estudantes da Dupla\_04 definiram para o modelo *gás-recipiente* quatro objetos. Três *Objetos*, que são: *Partículas do Gás*, *Paredes do Frasco* e *Paredes da Sala*. E também um *Objeto-Cenário* denominado *Sala*. Foram construídas duas regras no quinto passo de construção de modelo (PCM5), nas regras foram usados apenas os objetos *Partículas de Gás*, nas suas construções. Contudo, na construção da primeira regra os estudantes utilizaram o objeto que no WorldMaker é denominado de *Any-Object*, essa regra descreve o choque das *Partículas de Gás* com qualquer objeto do modelo. A segunda regra escrita pela dupla parece representar a movimento das *Partículas de Gás* como pode ser visto na transcrição das regras dessa dupla, mostrada na página seguinte. Pode-se destacar nesse momento que essa dupla foi a primeira a construir uma regra de movimento nesse estágio de construção do modelo.

No primeiro aspecto da *Análise, Estruturação das Regras*, observa-se que as regras possuem uma estrutura esperada e são caracterizadas como *Geradoras de Evento* com as seguintes estruturas:

*E1 e E2: Se [Objetos] Então [Evento]*

*E2: Se [Objetos Não] [Evento]*

*E1: Se [Objetos não] Então [Evento]*

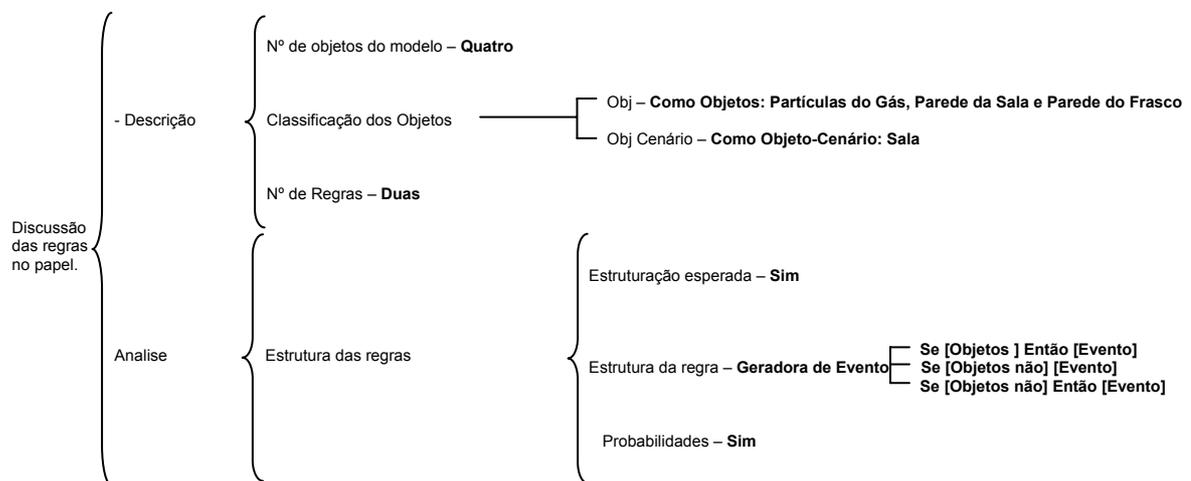
É importante notar que as regras montadas no PCM5 contém probabilidades, todas com cem por cento, como é mostrado a seguir na transcrição das regras.

*E1: “SE o gás se encontrar com qualquer objeto ENTÃO reflete 100%.”*

*E1: “SE o gás não se encontrar com nenhum objeto ENTÃO continuará o movimento 100%.”*

*E2: “Se o gás se encontrar com qualquer objeto então reflete 100%“*

*E2: “Se o gás não se encontrar com nenhum objeto não mudará a direção.”*



**Figura 4.21:** Rede Sistêmica da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_04.

#### 4.4.4.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel

No aspecto de *Descrição* da segunda rede, observa-se que o número de regras construídas no sexto passo de construção de modelos (PCM6) foi de duas, mesmo

número construído no PCM5. A forma de preenchimento das regras foi predominantemente escrita. Não houve erros de preenchimento do PCM6, cada passo de construção de regras (PCRs) estavam construídos de forma correta, Figura 4.22.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
Gás ao lado de qualquer objeto	Direção do gás	Bate e volta
Gás ao lado de No object	Posição do objeto	Movimentar na mesma direção

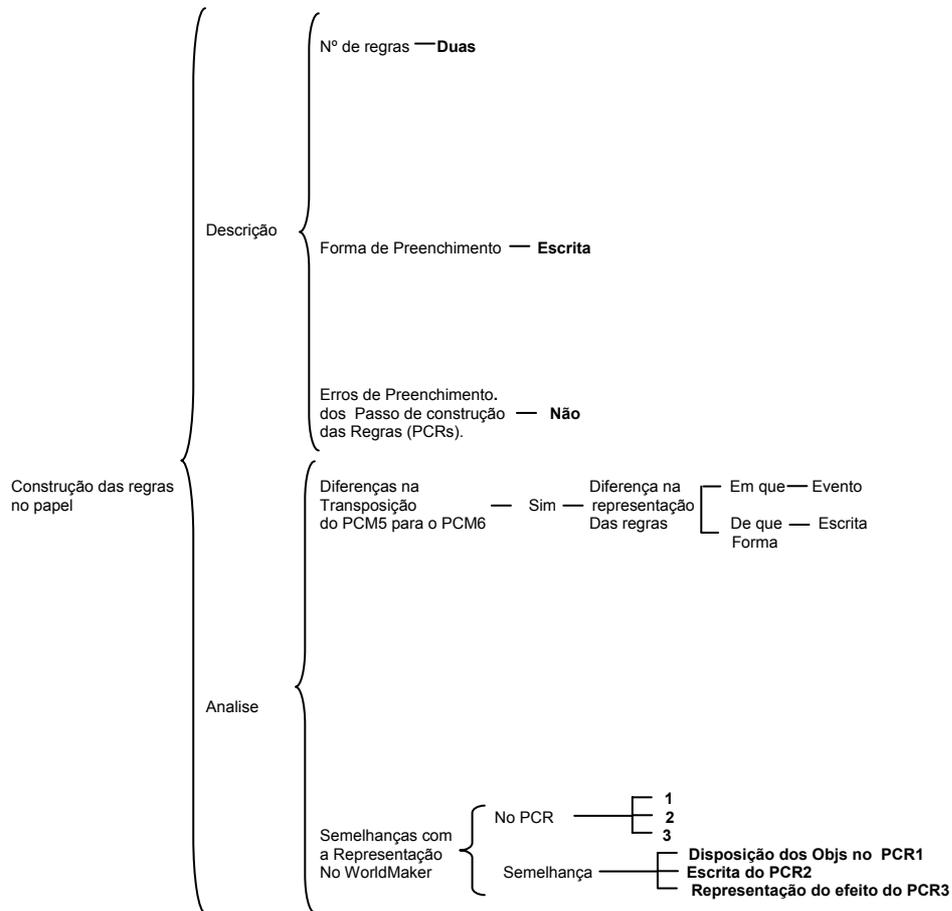
6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
gás ao lado de qualquer objeto	direção do gás	bate e volta
gás ao lado de No object	posição do objeto	movimento na mesma direção

Figura 4.22: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla\_04.

Comparando-se as regras transcritas do PCM5 com as regras da Figura 4.22, no aspecto de análise da rede, observa-se que houve diferença na transposição das regras do PCM5 para o PCM6, pois apesar do número de regras e os objetos, serem os mesmos, a representação dos eventos não são. Observa-se que na

primeira regra construída no PCM5 foi definido o evento “*reflete*”, porém, na primeira regra do PCM6 o evento definido foi “*Bate e volta*”.



**Figura 4.23:** Rede Sistêmica da Construção das Regras no Papel da Dupla\_04.

No aspecto, *Semelhanças com a Representação no WorldMaker*, entre o PCM6 e a representação no WorldMaker, observa-se semelhanças em todos os PCRs. No PCR1 a disposição dos objetos é a mesma feita no WorldMaker com um objeto ao lado do outro, porém, a representação feita pela dupla no PCR6 é na forma escrita. No PCR2 a escrita das regras é idêntica a opção que vai aparecer no ambiente de modelagem. Observa-se na Figura 4.22 que os estudantes constróem para a primeira regra, que o tipo de mudança é na direção e na segunda regra que o tipo de mudança é na posição, diferenciando dessa forma posição de direção, mostrando dessa forma um bom entendimento de construção desse passo no Ambiente de modelagem. No PCR 3 nota-se que os estudantes não fazem nenhuma disposição final dos objetos, porém, definem um efeito final para a regra, na primeira regra o efeito é denominado “*bate volta*”. Pode-se fazer analogia desse efeito, com o efeito de *Bounce*, na segunda regra o efeito é denominado de

“*movimento na mesma direção*” pode-se fazer uma analogia desse efeito com a regra denominada *Roll*.

#### 4.4.4.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

No primeiro aspecto de descrição da terceira rede, *Número de Regras*, pode-se observar que foram implementadas no WorldMaker duas regras, assim como havia sido construído anteriormente no papel.

O segundo aspecto de descrição da rede, *Implementação das Regras no WorldMaker*, observa-se que a primeira regra construída pela Dupla\_04 foi a regra *Bounce*, associada a primeira regra construída nos PCM5 e PCM6. A regra foi construída fazendo-se a disposição do objeto *Partícula de Gás* ao lado do *Any-Object* que os estudantes utilizaram nos passos de construção de modelos (PCMs) anteriores, como: “*qualquer objeto*”. Os estudantes selecionaram o *Ícone da Seta* mesmo não tendo explicitado a sua utilização anteriormente. A escolha do PCR2 foi feita seguindo-se o que os estudantes haviam definido anteriormente, ou seja a mudança de direção das *Partículas de Gás*. E finalmente no PCR3 os estudantes determinaram o efeito de *Bounce* para a regra, em associação com o efeito de “*bate e volta*” construído anteriormente. Pode-se ressaltar um aspecto na construção dessa regra, que é o fato da regra ter sido construída com o *Any-Object*, que representa qualquer objeto definido dentro do modelo, essa regra representa tanto a interação de *Bounce*, entre *Partícula de Gás* e *Parede do Frasco*, quanto o *Swap* que é a interação entre duas *Partículas de Gás* quaisquer.

A segunda regra construída para o modelo foi a regra *Roll* que possui associação com a segunda regra construída no papel pelos estudantes. A regra *Roll* é feita com a disposição do objeto *Partícula de Gás* ao lado do *No Object*, com os estudantes selecionando o *Ícone da Seta*. No PCR2 foi escolhido a opção de mudança da posição da partícula. No PCR3 foi determinado o efeito de *Roll* em associação com efeito definido: “*movimentar na mesma direção*”, construído anteriormente no PCM6.

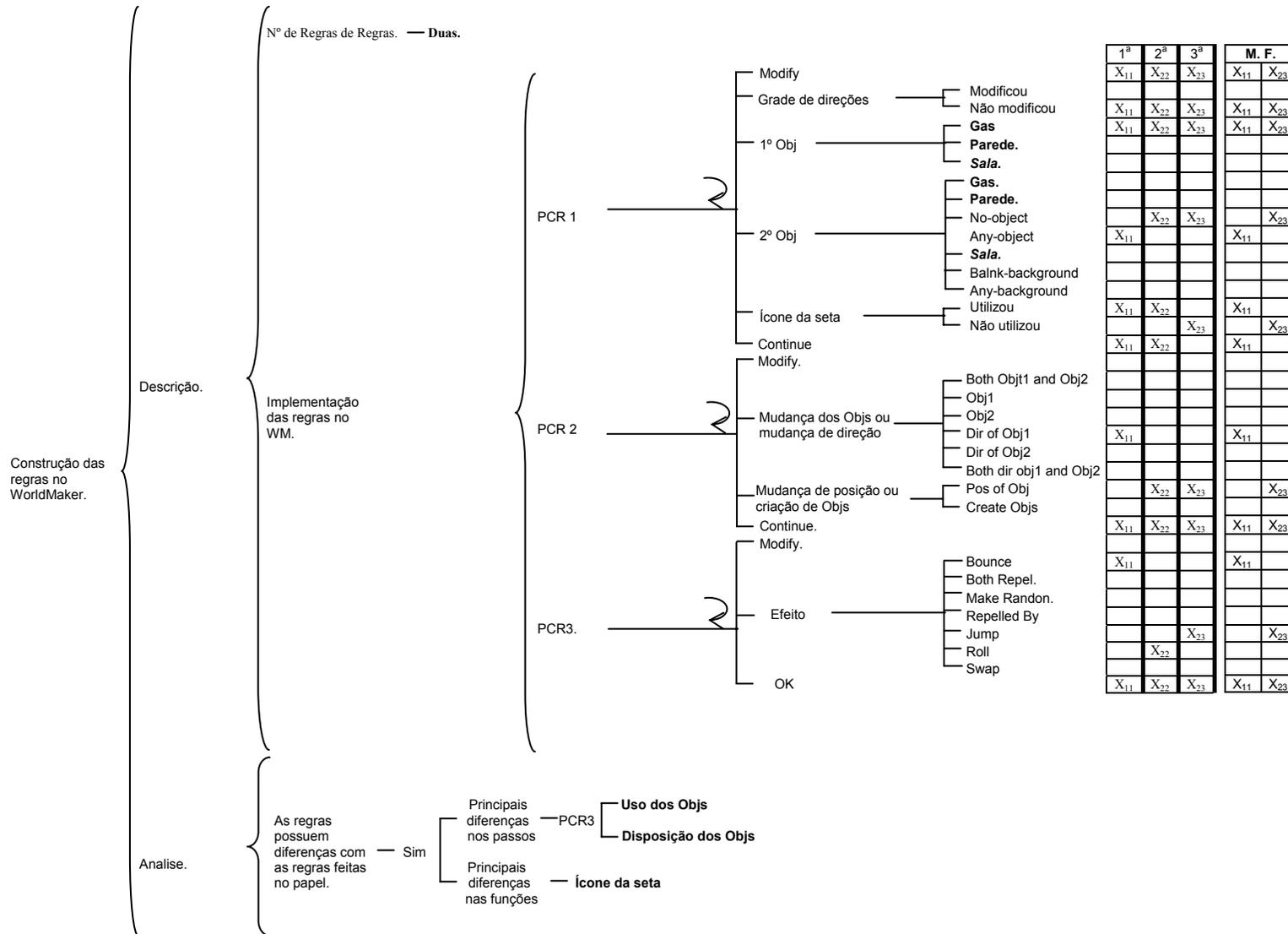


Figura 4.22: Rede Sistemática da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_04

Após a construção dessas duas regras os estudantes simularam a primeira versão do modelo construído. O modelo não apresentou o comportamento esperado pela Dupla\_04. Esse comportamento não esperado foi causado pelo fato da regra de movimento ser o *Roll* e não o *Jump*. Uma vez que o resultado da simulação da primeira versão do modelo não foi a esperada, a dupla partiu para a segunda versão

reconstruindo a regra de movimento, ou seja mudando a regra de *Roll* para *Jump*. Essa regra só difere da regra *Roll* em sua construção, pelo fato de que no PCR1 não se seleciona o *Ícone da Seta*. O modelo foi mais uma vez simulado e dessa vez apresentou um comportamento esperado pelos estudantes.

No aspecto, *As Regras Possuem Diferenças com as Regras Feitas no Papel*, da *Análise* na terceira rede. Observa-se que nesse aspecto as regras estão bastante semelhantes, porém, possuem algumas diferenças, são elas: na construção da regra *Bounce* no ambiente de modelagem foi selecionado o *Ícone da Seta* diferentemente da construção feita no papel onde não foi utilizado o *Ícone da Seta*, observa-se também que na construção das duas regras no PCM6, os estudantes definiram apenas os efeitos de “*bate e volta*” e “*movimentar na mesma direção*” não explicitando nesse passo a disposição dos objetos, assim como é feito no PCR1. Contudo, na construção feita no ambiente WorldMaker os objetos são explicitados automaticamente pelo ferramenta, que mantêm a mesma disposição que é construída no PCR1.

#### **4.4.5 Análise dos Dados da Dupla\_05**

Com base nos dados da Dupla\_05 construiu-se as redes sistêmicas relativas as atividades de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.25, 4.27 e 4.28.

### 4.4.5.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel

No aspecto *Descrição* da primeira rede, observa-se que os estudantes da Dupla\_05 definiram quatro objetos para o modelo *Gás-Recipiente*. Os *Objetos* são, *Partícula de Gás* e *Paredes do Recipiente*, e foi definido também dois *Objetos-Cenário* denominados de *Dentro* e *Fora*. Foram construídas três regras para o modelo no quinto passo de construção do modelo (PCM5). Uma regra envolvendo os *Objetos Partícula de Gás e Parede do Recipiente*, que representa o choque das *Partículas* com as *Paredes do Recipiente*. E duas regras de movimento envolvendo o *Objeto*

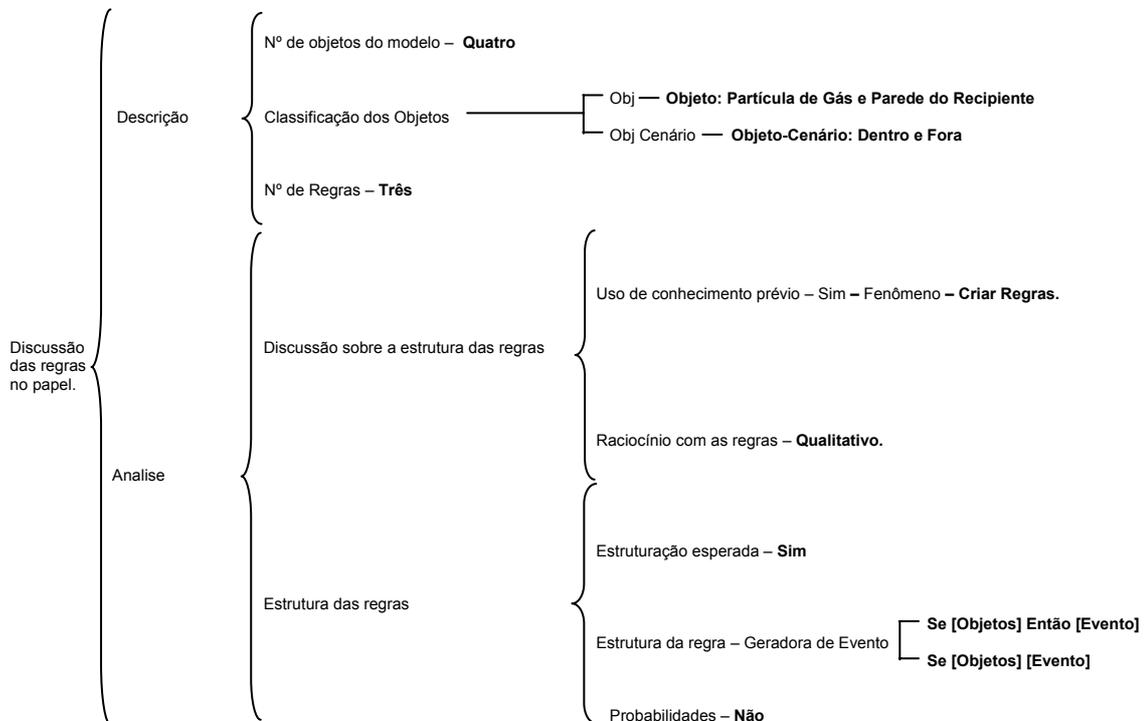


Figura 4.25: Rede Sistêmica da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_05.

*Partícula do Gás* com os dois *Objetos-Cenário Dentro* e *Fora*. Nota-se na construção das regras, dois aspectos importantes. Primeiramente, os estudantes não construíram nenhuma regra que represente a interação entre dois objetos *Partículas de Gás* ou seja o modelo está incompleto. Em segundo lugar, os estudantes definiram duas regras de movimento para a partícula uma com o *Objeto-Cenário Dentro* e outra com o *Objeto-Cenário Fora*. Dessa forma, a construção das regras de movimento de estão incorretamente PCM5, pois regras de movimento são feitas com o uso do *No\_Object* e não de *Objetos-Cenários*.

Na *Análise* observa-se que o primeiro aspecto, *Discussão sobre a Estruturação das Regras*, tem-se que a dupla utilizou conhecimento prévio específico sobre o fenômeno para criar regras, porém, não utilizaram conhecimento sobre probabilidades. Na discussão sobre as regras usou-se raciocínio qualitativo ou seja, discutindo as regras em termos dos objetos e dos eventos, como é destacado no excerto que se segue

*E1: “Tá vai ter aquela regra de se a partícula bater na parede ela volta.*

*E2: “Sim!”*

*E1: “E uma partícula de dentro vai caminhar e uma de fora vai caminhar, mesma coisa ++ ela vai mudar a sua posição.”*

*E2: “Sim!”*

No segundo aspecto de *Análise* da primeira rede, *Estruturação das Regras*, pode-se observar uma estruturação esperada e são caracterizadas como Geradoras de Evento, apresentando as seguintes estruturas.

*E1 e E2: Se [Objetos] Então [Evento]*

*E2: Se [Objetos] [Evento]*

Por fim, observa-se que não houve o uso de probabilidades na construção das regras nesse passo. As regras escritas pela dupla nesse passo foram:

*E1: “Se partícula encontra parede, então ela volta.”*

*E1: “Se partícula encontra dentro, então muda a sua posição.”*

*E1: “Se partícula encontra fora, então muda a direção.”*

*E2: “Se a partícula encontra a parede ela então retorna.”*

*E2: “Se a partícula encontra o objeto-cenário dentro/fora ela muda de posição.”*

#### 4.4.5.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel

No aspecto de *Descrição* da segunda rede, observa-se que foram construídas três regras no sexto passo de construção do modelo (PCM6), as mesmas regras construídas anteriormente no PCM5, a argumentação usada por foi

*E1: “Tem que ficar igual a de cima.”*

Ou seja, as regras feitas no passo anterior nortearam a construção das regras no PCM6. A forma de preenchimento desse passo foi escrita. Nota-se também que houve erros de preenchimento dos passos do PCM6, primeiramente as regras construídas por E2 no PCM5 foram escritas no PCR1 das regras do PCM6. Na segunda e terceira regras feitas por E1 todos os passos foram construídos de forma incorreta ou seja, no PCR1 a disposição dos objetos está incorreta, sendo que a disposição correta para essa regra seria o objeto *Partícula de Gás* ao lado do *No-Object*, no PCR2 não foi especificado corretamente o tipo de mudança que no caso dessas regras seria mudança de posição e não apenas “*partícula*” como escrito por E1 e no PCR3 não definiu nenhum resultado para a regra apenas E2 escreveu “*posição da partícula*” e “*muda o sentido do deslocamento*”

No aspecto de *Análise* da segunda rede, *Diferenças na Transposição do PCM5 Para o PCM6*, pode-se observar que houve diferença na transposição das regras, apesar do número de regras ser o mesmo e a representação dos objetos também ser a mesma contudo, alguns dos eventos são escritos de formas distintas no dois passos de construção de modelos, como por exemplo na primeira regra feita por E1 e E2, onde no PCM5 eles escreveram o evento da regra como “*volta*” e “*retorna*” respectivamente, já no PCM6 eles representaram o evento nos dois passos de construção de regras da seguinte forma: no PCR2 E1 e E2 escreveram respectivamente “*direção da partícula*” e “*muda a direção da partícula*” e no PCR3 os dois escreveram “*muda o sentido do deslocamento*”.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
partícula do lado da parede	direção da partícula	muda o sentido do deslocamento.
partícula do lado do cenário dentro	<del>base</del> partícula	a posição da partícula
partícula do lado do cenário fora	partícula	a posição da partícula.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
se a partícula toca com a parede ela então retorna,	muda a direção da partícula.	muda o sentido do deslocamento.
se a partícula encontra o objeto dentro do cenário ela muda de posição	partícula	posição da partícula

Figura 4.26: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla5.

Contudo, as regras construídas no PCM6 possuem pouca semelhança com as representações feitas no WorldMaker, as semelhanças estão presentes em todos os passos de construção de regras contudo, não estão presentes em todas as regras construídas. No PCR1 da primeira regra construída por E1 onde a disposição construída por ele é a mesma feita no WorldMaker. O PCR2 da primeira regra dos estudantes E1 e E2 a escrita desse passo é a mesma que se faz no ambiente de modelagem, na regra primeira regra construídas por E1 e E2 no PCR3 é estabelecido um efeito final para a regra onde eles construíram “muda o sentido do deslocamento” pode-se fazer uma analogia desse efeito com o efeito de *Bounce*

“bater e voltar”. Essas semelhanças podem ser vistas na Figura 4.26. A rede sistêmica do PCM6 é apresentada na Figura 4.27.

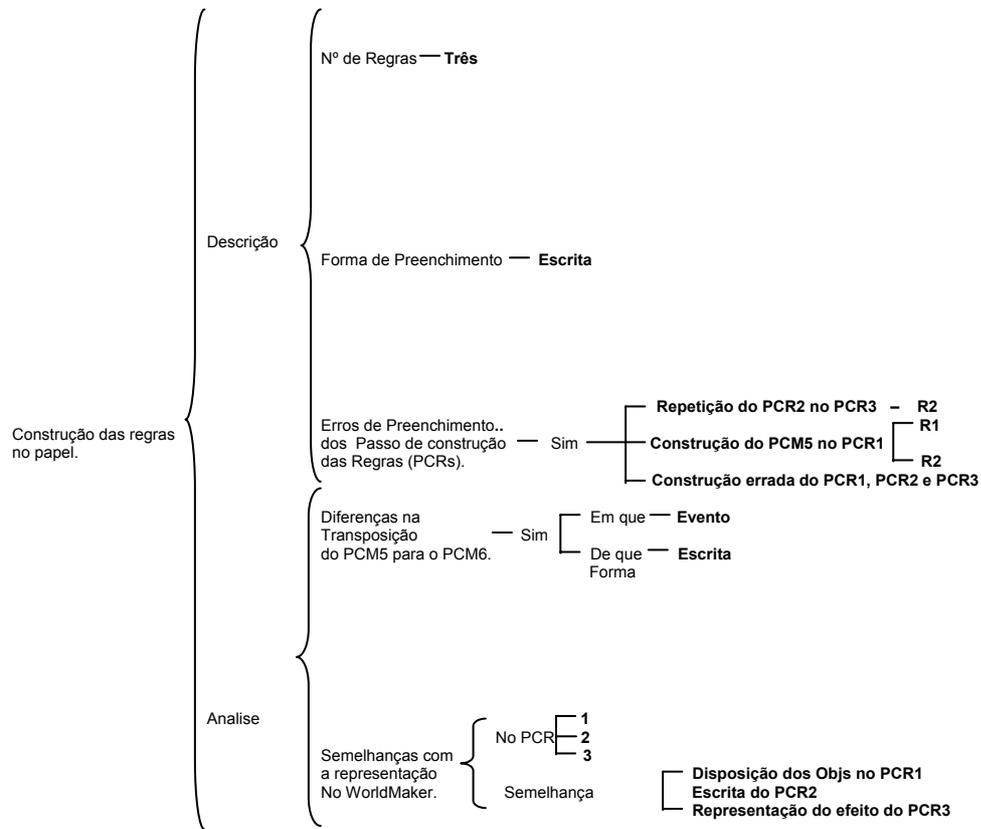


Figura 4.27: Rede Sistêmica da Construção das Regras no Papel da Dupla\_05.

#### 4.4.5.3 Aspectos da Construção das Regras no Ambiente de Modelagem

O primeiro aspecto da terceira rede, *Nº de Regras*, pode-se observar que a Dupla\_05 implementou duas regras para o modelo, uma a menos que construída no papel. No segundo aspecto de descrição dessa rede, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que a primeira regra implementada pela dupla, foi a regra denominada de *Bounce*, que simula o choque entre o *Objetos partículas de gás* e



*Parede do Recipiente*. A regra foi construída fazendo-se a disposição dos objetos no PCR1, com partícula ao lado de parede. A dupla não modificou a *Grade de Direções* e não selecionou o *Ícone da Seta* no PCR1. A escolha feita no PCR2 foi a de mudar a direção da partícula. Veja a argumentação de E1 durante a construção da regra:

*E1: “Regras né? +++ Regra da partícula ++ com a parede +++... qualquer direção com a setinha +++...qualquer uma, qualquer lado pode ser +++ o efeito +++... bate e volta.”*

Pode-se notar que na argumentação usada por E1 o não uso do *Ícone da Seta* se deu pelo fato do estudante pensar que a partícula pode-se chocar em qualquer direção e não apenas na direção que ela está se deslocando. Nota-se também nesse trecho de argumentação, que E1 esperava encontrar no PCR3 o efeito de “*bate e volta*”. No entanto, como o PCR1 foi construído sem o uso da *Seta* esse efeito não apareceu no PCR3.

Como o efeito de “*bate e volta*” não apareceu no PCR3, a dupla então modificou o PCR2 duas vezes para tentar encontrar o efeito desejado no PCR3. A primeira modificação foi para que se mudasse a direção da parede depois para que se mudasse a partícula, porém, o efeito de “*bate e volta*” não apareceu no PCR3. Então, os estudantes voltaram ao PCR1 para reconstruir toda a regra, a disposição dos objetos foi a mesma feita anteriormente com o objetos *Partículas de Gás* ao lado do objeto *Parede do Recipiente*, porém, dessa vez os estudantes selecionaram o *Ícone da Seta*. Dessa forma, a escolha do PCR2 foi a opção de mudança de direção da partícula o que levou a finalização da construção da regra com a escolha da opção *Bounce “bate e volta”* no PCR3. A discussão da reconstrução da primeira regra é mostrada no excerto que segue

*E2: “Se ela tá indo ela tem que bater e voltar.”*

*E1: “Mas aquela hora tinha uma seta voltando né?”*

*E2: “Volta lá”*

*E1: “Nesse?”*

*E2: “Não, no outro.”*

*E1: “Qual esse aqui?”*

E2: “*Sim!*”

E1: “*A parede não se move +++...*”

E2: “*Tá bom, tá bom*”

E1: “*Acho que é isso aqui ó! Tem que ter essa seta aqui mesmo, quando ela tiver indo de encontro com a parede mesmo +++... Aí*”

E2: “*Agora sim!*”

Pode-se notar que depois de várias tentativas por parte da Dupla\_05 de encontrar o efeito desejado para a regra, eles conseguiram entender a construção da regra com o uso do *Ícone da Seta*, entendendo a função da *Seta* na montagem da regra. Mesmo a dupla não tendo utilizado o efeito de “*bate e volta*” anteriormente no PCM6, eles o utilizaram na construção da regra.

Após a construção dessa primeira regra os estudantes passaram a construção da segunda regra do modelo. A segunda regra construída pela dupla é referente as regras de movimento feitas anteriormente nos PCM5 e PCM6. No entanto, como os estudantes haviam construído as regras no papel de forma correta, associando a elas *Objetos-Cenário*, a construção delas se fez de uma forma incorreta sem o uso do *No-Object*. A primeira construção do PCR1 se deu com a disposição do objeto *Partícula de Gás* ao lado do objeto-cenário *Dentro*. A dupla não modificou a grade de direções e nem selecionou o *Ícone da Seta* nessa primeira montagem do PCR1.

E1: “*Agora partícula com cenário +++... aqui dentro, na verdade a gente pode fazer com todos né?...*”

Essa argumentação do E1 fez com que os estudantes montassem novamente o PCR1, dessa vez utilizando o *Any-Background* no lugar do objeto-cenário *Dentro*, transformando as duas regras modeladas anteriormente nos PCM5 e PCM6, em apenas uma regra. A escolha de PCR2 feita pelos estudantes foi a escolha que eles haviam definido antes na construção feita no papel, ou seja escolheram mudança da partícula. Porém, com essa montagem da regra as opções que apareceram no PCR3 não eram opções de movimento, isso fez com que a dupla voltasse ao PCR2 três vezes para tentar encontrar o efeito desejado no PCR3 mesma estratégia adotada anteriormente na reconstrução da primeira regra. A primeira mudança no PCR2 foi

para mudar a direção da partícula, a segunda foi a mudança de ambos os objetos e finalmente escolheram a mudança de direção de ambos os objetos. Com essa nova escolha de PCR2 a dupla acabou escolhendo um efeito no PCR3 que é o efeito de *Both Attract*, terminado assim a construção da regra. Apesar dos estudantes entenderem a necessidade de construção da regra de movimento. Contudo, a regra construída por eles não apresenta nenhuma característica de regra de movimento.

Após a construção dessas duas regras a dupla simulou o modelo, que gerou um comportamento estático e não esperado pelos estudantes. Uma vez que o resultado da simulação da primeira versão do modelo não foi a esperada a dupla partiu para a segunda versão do modelo discutindo o que estava de errado no modelo, como pode ser visto no excerto

*E2: “Não aconteceu nada!”*

*E1: “... tá tem que anda, vamos fazer um teste com esse aqui +++... eu não sei o que fazer pra essas partículas andarem.”*

*E2: “Eu acho que é fazer o Jump né?”*

*E1: “Tá mas como fazer esse Jump aparecer?”*

*E2: “É isso o que eu estou pensando também +++...”*

*E1: “Aquela vez apareceu Jump por causa que a gente estava relacionando com local que não tinha objeto +++... tá, aqui tá falando que a posição da esfera só vai aparecer quando tiver aqueles negocinhos aqui ++ que só vai aparecer quando a gente botava o sem objeto aqui, aí aparece +++...onde não tem objeto não importa se tem ou não tem cenário.”*

Nota-se alguns aspectos na construção da regra de movimento. Em primeiro lugar, observa-se que os estudantes sabiam qual regra fazer, pelo fato de já terem feito a regra *Jump* anteriormente. Porém, não sabiam como fazê-la, mostrando dessa forma dificuldade com a construção de regras no ambiente de modelagem. Em segundo, lugar a apostila foi consultada pelos estudantes para tirar a dúvida de como fazer para chegar ao resultado de *Jump* auxiliando de forma satisfatória a dupla. Em terceiro lugar, a consulta serviu para ensinar que as regras de movimento são feitas a partir da seleção do *No-Object* no PCR1 e que o cenário não interfere

nas regras de movimento, mostrando dessa forma a consistência do material instrucional utilizado no estudo. Com isso a Dupla\_05 refez a segunda regra, reconstruindo no lugar dela a regra de movimento *Jump*. Com essa nova regra foi feita uma segunda simulação do modelo dessa vez, o modelo se comportou como esperado pelos estudantes. Contudo, esse modelo não possui a regra que representa a interação de partícula com partícula.

No aspecto de análise da terceira rede, *Diferenças das Regras Implementadas no WorldMaker Com as Regras do PCM6*, pode-se observar as diferenças entre as regras que construídas no WorldMaker e as regras construídas anteriormente no PCM6. No PCR1 a diferença é o uso do ícone da seta na regra de *Bounce* e a disposição dos objetos usados na regra de movimento que foi completamente diferente da primeira montagem no papel, cabe ressaltar também que E2 não construiu nenhum dos PCR1 de formas correta. No PCR2 a escolha da mudança foi completamente diferente na regra de movimento, onde no PCM6 havia sido determinado apenas “*partícula*” e no WorldMaker foi feita a escolha de mudança de posição da partícula. No PCR3 nota-se que na construção de todos os PCR3 não se usou nenhum dos objetos com que os PCR1 era construído no PCM6.

#### **4.4.6 Análise dos Dados da Dupla\_06**

Com base nos dados da Dupla\_06 construiu-se as redes sistêmicas relativas as atividades de modelagem expressiva desenvolvidas pela dupla as quais são mostradas nas Figuras 4.29, 4.30 e 4.32.

##### **4.4.6.1 Aspectos da Discussão das Regras no Papel**

No aspecto de *Descrição* da rede, pode-se observar que a Dupla\_06 definiu três objetos para o modelo do sistema *Gás-Recipiente*, que são: *Moléculas* definido como *Objeto*, *Paredes do Recipiente* e *Paredes da Sala* definidos como *Objetos-Cenário*. Os estudantes construíram quatro regras no quinto passo de construção do modelo (PCM5). Três regras de interação, uma entre *Moléculas* e *Moléculas*, outra

entre *Moléculas* e *Parede do Recipiente* e uma entre *Moléculas* e a *Parede da sala*. Houve também, a construção de uma regra que foi escrita da seguinte forma: “*Moléculas ocupando novos espaços.*”, que pode ser interpretada como uma regra de movimento para as *Moléculas*.

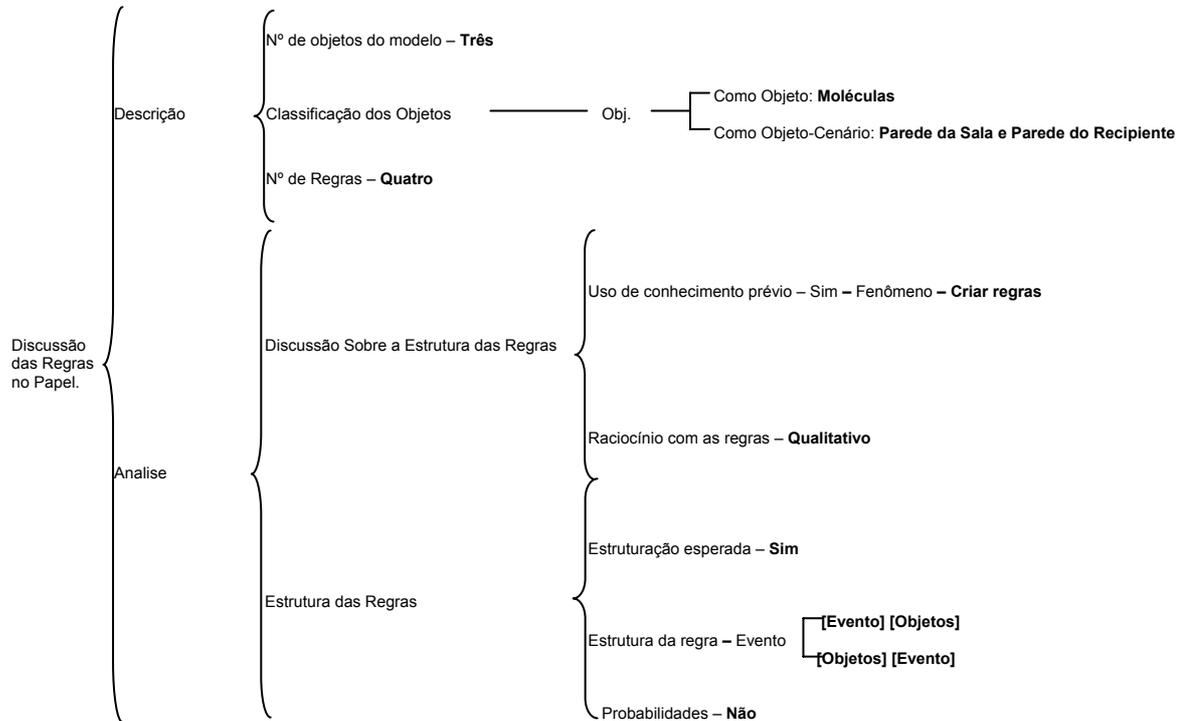


Figura 4.29: Rede Sistemática da Discussão das Regras no Papel da Dupla\_06

No aspecto *Análise* da rede observa-se que no aspecto de *Discussão Sobre a Estruturação das Regras*, também houve uso de conhecimento prévio sobre o fenômeno pelos estudantes na discussão da construção das regras nesse passo para criar regras. O aspecto de, *Raciocínio com as Regras*, foi caracterizado como qualitativo, contudo, a discussão é feita em termos dos objetos relacionados com as regras como pode ser visto pelo excerto abaixo:

- E1: “A gente vai ter três regras né? Molécula com molécula, isso é objeto com objeto, objeto com parede do recipiente e objeto com parede/”  
 E2: “E objeto com espaço vazio também.”

Nota-se nesse que os estudantes E1 e E2 discutiram as regras qualitativamente, porém, a discussão só envolveu os objetos relacionados as

regras sem a discussão dos eventos gerados pela interação dos objetos de cada regra objetos.

No aspecto de *Estruturação das Regras* a estruturação foi caracterizada como sendo uma estrutura esperada. Com as estruturas escritas apenas em termos dos objetos envolvidos nas regras ou seja, estruturas de *Evento*, essas estruturadas das regras do PCM5 são:

*E1 e E2: [Evento] [Objetos]*

*E1 e E2: [Objetos] [Evento].*

A regras escritas no PCM5 pela Dupla\_06 são transcritas a seguir:

*E1: “Colisões: molécula – molécula.*

*molécula – paredes do recipiente.*

*molécula – paredes da sala.”*

*E1: “Moléculas ocupando novos espaços.”*

*E2: “Colisões: molécula – molécula.*

*Molécula – parede do recipiente e sala.”*

*E2: “moléculas ocupando novos espaços.”*

A forma de escrita das regras pelos alunos foi extremamente econômica não se atendo ao uso do formalismo “Se...Então” para estruturar as regras. Essas regras foram feitas exclusivamente com os objetos e com os eventos que os objetos iriam gerar.

#### **4.4.6.2 Aspectos da Construção das Regras no Papel**

No aspecto de *Descrição*, da segunda rede pode-se observar que os estudantes criaram apenas três regras para o modelo, diferentemente do passo anterior onde haviam criado quatro regras. Uma explicação para que os alunos tenham criado apenas três regras nesse passo, é que as regras de colisão criadas no PCM5 para as *Moléculas e Paredes da Sala e do Recipiente* tenham sido juntadas nesse passo,

tornado-se apenas uma regra de colisão entre *Moléculas* e *Parede*. Como pode ser visto no próximo excerto da dupla:

E1: “Não é que eu vou colocar um outro ícone como sendo parede do recipiente.”

E2: “Não mas”

E1: “Só pra diferenciar”

E2: “Não mas, sim mas aqui não vai precisar eu acho ++ eu estou entendendo o que você está falando, mas a molécula e a parede do recipiente, ou a molécula e a parede do negócio a mudança é a mesma né? ++ Não é a mesma? É né! Mas eu entendi o que você quis dizer...”

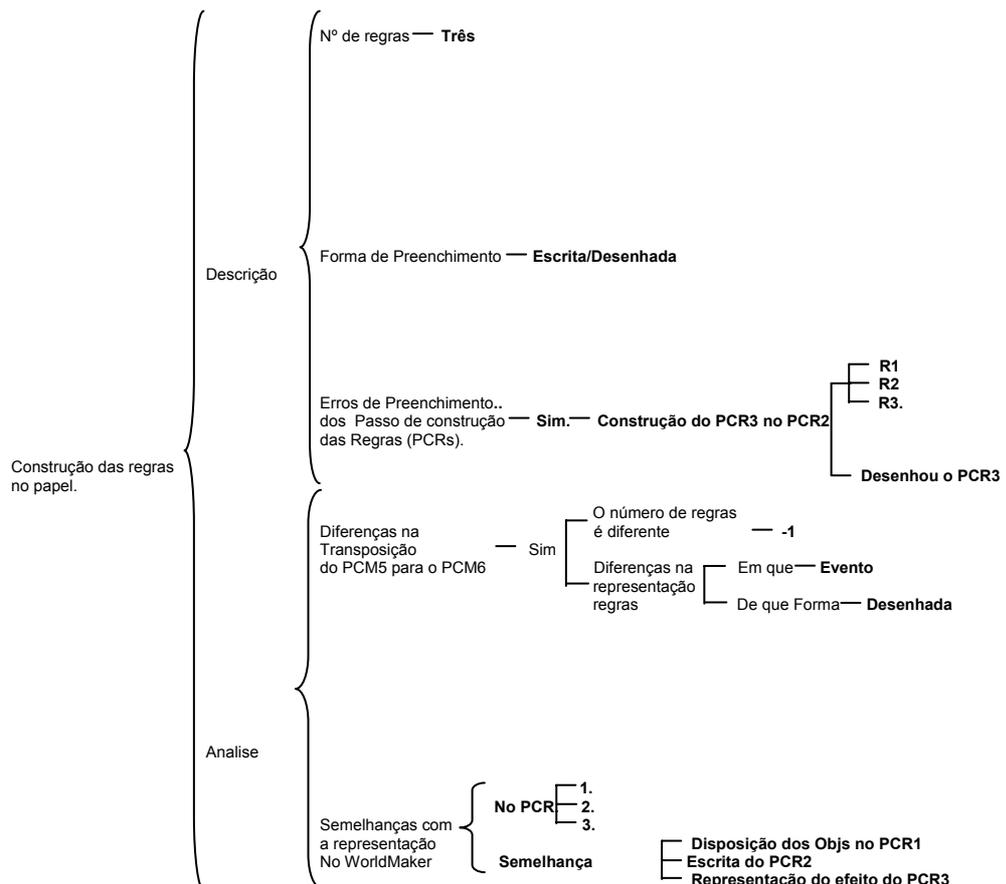


Figura 4.30: Rede Sistêmica da Construção das Regras no Papel da Dupla\_06.

A *Forma de Preenchimento do PCM6* foi escrita em alguns passos e desenhada, ou seja *Escrita/Desenhada*. Não houve erro de preenchimento do PCM6 por parte do

E1, que preencheu cada passo de acordo com o que era pedido, definindo a condição inicial com os objetos, o tipo de mudança e os efeitos finais. E2, porém, construiu o terceiro passo de construção de regras (PCR3) no segundo passo de construção de regras (PCR2) nas três regras, preenchendo novamente o PCR3 com o PCR2 na forma de desenho. Na Figura 4.31, pode-se notar que na definição dos efeitos no PCR3 foi quase todo representada na forma de desenho.

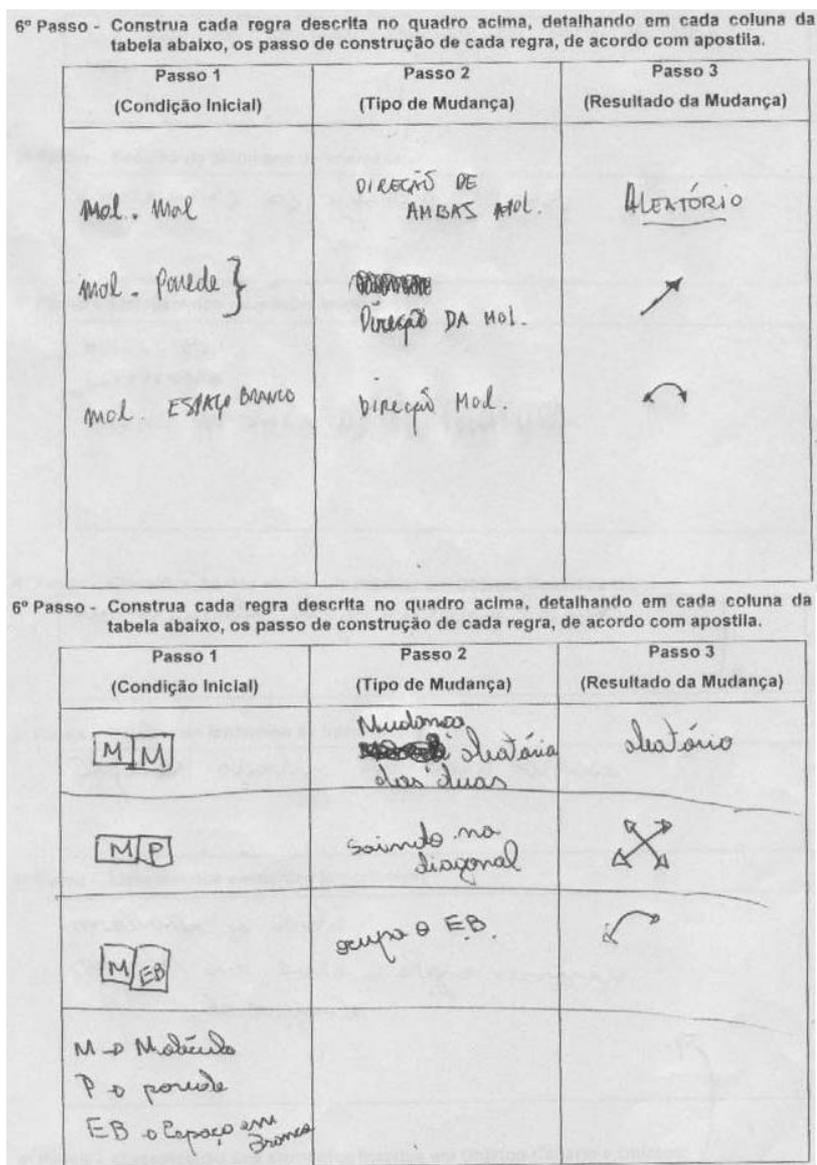


Figura 4.31: Representação das Regras no Papel Feitas Pela Dupla\_06.

No aspecto de *Análise* dessa pode-se observar as diferenças existentes na transposição do PCM5 para o PCM6. Observa-se que o número de regras não é o mesmo, isso se deve ao fato dos estudantes terem feito duas regras no PCM5, que

foram representadas em uma única regra no PCM6. Um segundo ponto a se observar é a diferença na representação das regras existentes nos dois PCMs. Essas diferenças estão na representação principalmente dos eventos, que no PCM6 alguns foram desenhados e outros escritos, ao invés de só escritos como feito no PCM5. A representação dos objetos foi feita da mesma forma nos dois passos.

Nota-se que as semelhanças de representação das regras no PCM6 com as representações do WorldMaker ocorreram principalmente no PCR1 dos dois estudantes, onde a disposição dos objetos feita é igual a do WorldMaker, com um objeto disposto ao lado do outro. Contudo, não há no PCR1 o uso do *Ícone da Seta*. O PCR2 do E1 é basicamente a representação que será encontrada no WorldMaker, porém, a representação feita do PCR2 pelo E2 não se assemelha a do WorldMaker. O PCR3 só possui associação com o WorldMaker na terceira regra onde os alunos desenharam parte da representação do resultado final que aparece na regra de movimento. Pode-se ver essas semelhanças na Figura 4.31.

#### 4.4.6.3 Aspectos da Construção da Regras no Ambiente de Modelagem

No primeiro aspecto de descrição rede, *Nº de Regras*, pode-se observar que a Dupla\_06 construiu quatro regras para o modelo, todas feitas a partir do objeto *Molécula*. Essas regras são: *Both Repel*, *Bounce*, *Repelled By* e o *Jump* respectivamente.

No segundo aspecto de descrição da terceira rede, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que a primeira regra a ser construída pelos estudantes foi a regra de interação entre *Molécula* e *Molécula*, interação essa denominada de *Swap* no modelo descrito na seção 3.6. A construção dessa regra começou com os estudantes definindo duas *Moléculas*, uma ao lado da outra, sem a seleção no PCR1 do *Ícone da Seta* pelo fato dos estudantes não terem entendido a função desse ícone corretamente, segundo E2: “... o choque é aleatório então não tem que definir nada”, justificando o não uso do ícone no PCR1. No PCR2 os estudantes definiram a mudança de ambos os objetos *Moléculas*. Com essa montagem de regra até o PCR2 os estudantes não conseguiram definir um resultado final para a regra, voltando dessa forma ao PCR2.



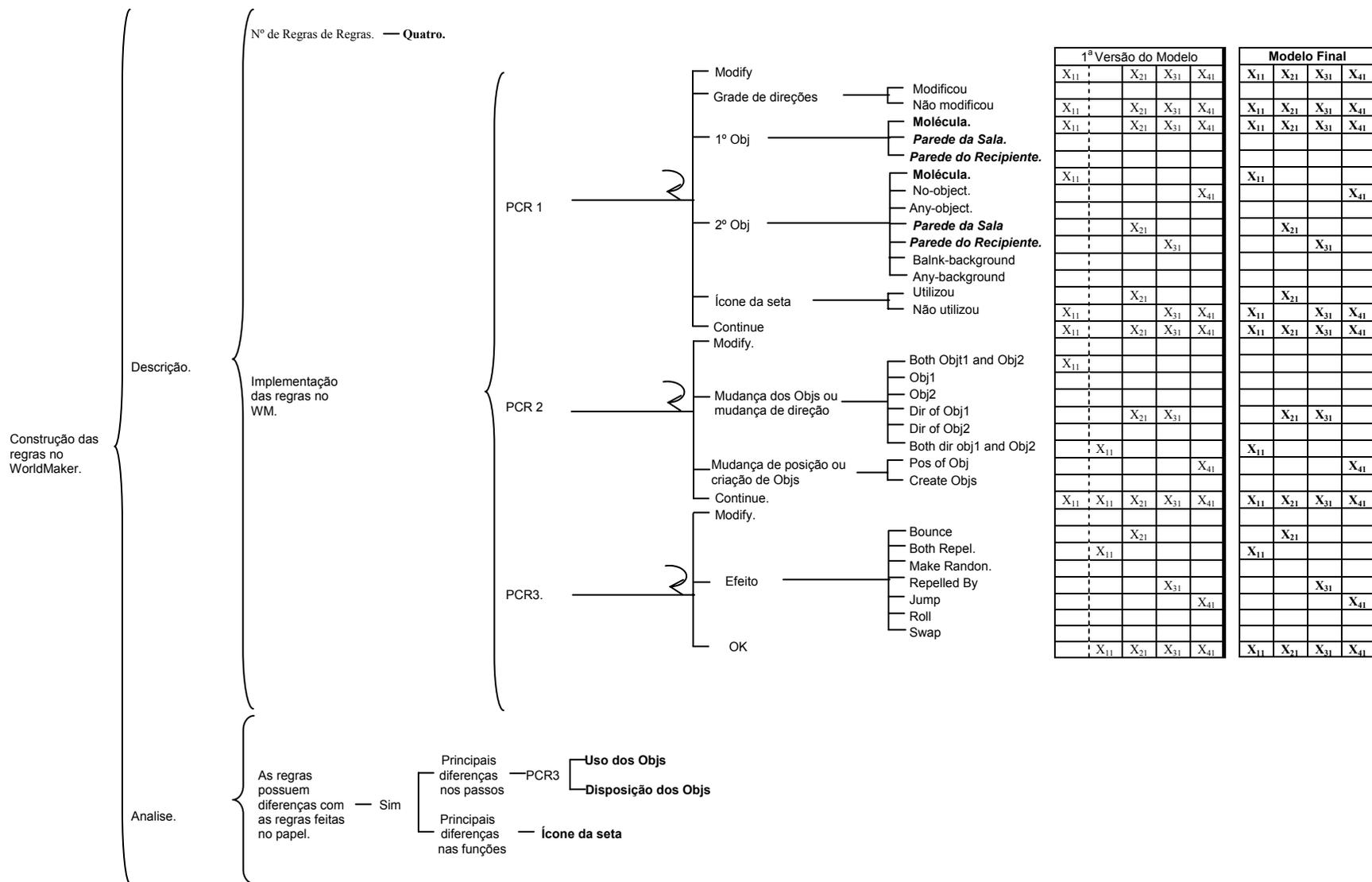


Figura 4.32: Rede Sistemática da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_06.

E2: “... A é rapaz a direção +++”

E1: “Botei assim ainda direção de ambas as moléculas.”

E2: “Porque do jeito que estava ali a molécula ia virar a mesma molécula, ia ficar parada ali.”

E1: “Aí sem nada fica aleatório vamos botar logo um...”

E2: “Aí sim bate e volta é isso aí.”

Como pode-se ver no excerto a Dupla\_06 refaz a regra seguindo a definição feita por E1 no PCM6. Mudar ambas as direções das moléculas, e não as moléculas como feito anteriormente. Dessa forma os estudantes definem no PCR3 o resultado de *Both Repel*, esse resultado final é confundido com o efeito de Bounce “bate e volta”. Na construção dessa regra, interação entre *Moléculas*, o não uso do *Ícone da Seta* no PCR1 e os *Ícones de Resultado Final*, que aparecem como resultado final no PCR3 fazem com que os estudantes freqüentemente não a construam corretamente. Após a construção da primeira regra os estudantes partiram para a construção da próxima regra.

A segunda regra construída pela Dupla\_06 foi a regra de interação entre as *Moléculas* e a *Parede da Sala*. Pode-se ressaltar, nesse momento, que tanto a *Parede da Sala*, quanto a *Parede do Recipiente* foram definidos no modelo como *Objeto-Cenário*. A construção dessa segunda regra, foi feita a partir do objeto *Molécula* com a *Parede da Sala* disposta ao seu lado. Foi selecionado no PCR1 o *Ícone da Seta*, justificada pelo E2 da seguinte forma “*Aqui a gente vai ter que definir a direção...*”. No PCR2 os estudantes selecionaram a opção de mudança da direção da *Molécula*, com essa montagem do PCR1 e do PCR2, o resultado de Bounce “bate e volta” foi definido no PCR3 pela dupla. Após a construção da Segunda regras os estudantes partiram para a construção da terceira regra.

A construção da terceira regra, que define a interação entre as *Moléculas* e a *Parede do Recipiente*, segundo E2 a construção da regra “*É a mesma coisa agora*”. Mesmo E2 dizendo que a construção dessa regra seria a mesma coisa que a construção anterior, a construção dela foi feita diferente da anterior. No PCR1 os estudantes definiram o objeto *Molécula* ao lado do objeto-cenário *Parede do Recipiente*, porém, não selecionaram o *Ícone da Seta*. No PCR2 foi selecionado a

mudança de direção da *Molécula*. No PCR3 foi estabelecido o efeito final da mudança:

E2: “... que é aquilo ali? Atraído né? Mas ela não é atraída não! O outro ali repelido!”

E1: “Repelido pela parede.”

E2: “Isso!”

A última regra construída pela dupla, foi a regra de movimento, essa regra foi construída corretamente a partir do objeto *Molécula*, quase não houve discussão de sua montagem, com os estudantes definindo corretamente todos os passos dessa regra.

E2: “...Então volta lá na molécula +++...”

E1: “Mudança na posição da molécula ++ o que ela vai fazer? Ocupar.”

E2: “Isso ocupar ++ jump isso mesmo ++ agora a gente montar a estrutura.”

A construção da regra da regra *Jump* finalizou a construção do modelo pela dupla, que após a construção da última regra fez a disposição dos objetos e objetos-cenário na *Grade do Mundo*. E simulou o modelo que não apresentou o comportamento esperado pelos estudantes, com as *Moléculas* escapando através das *Paredes da Sala* e do *Recipiente* contudo, não houve alteração do modelo do sistema *Gás-Recipiente*.

Por fim, Pode-se observar no aspecto, *Análise*, da terceira rede, que as principais diferenças entre as regras construídas no PCM6 e implementadas no WorldMaker são referentes as funções existentes na janela de edição de regra, com o uso do *Ícone da Seta*, estabelecimento do *Efeito da Mudança* da primeira e Segunda regras construídas pela dupla, nota-se também que no PCR3 do PCM6 de todas as regras não é feito nenhuma disposição dos objetos nesse passo, apenas se tenta determinar um efeito final para a regra. Concluída a análise do dados de cada dupla, será apresentado na próxima seção um resumo geral da análise dos dados do *Processo de Modelagem Computacional* de cada dupla e entre as duplas.

## 4.5 Resumo Geral da Análise Dados

Nesta seção será apresentado um resumo geral da análise dos dados baseado nas redes sistêmicas de cada dupla do Processo de Modelagem Computacional, apresentadas nas seções anteriores. Esse resumo será baseado nas redes mostradas nas Figuras 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 e 4.40 as quais abordam os comportamentos de todas as duplas nos aspectos *Discussão das Regras no Papel*, *Construção das Regras no Papel* e *Construção das Regras no WorldMaker*. Dessa forma, essas redes mapeam os comportamentos separados de cada dupla possibilitando ainda uma comparação do comportamento entre as duplas ao longo de toda a atividade de construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente*. Assim, inicialmente serão feitos comentários sobre cada dupla, seguindo de comentários comparativos entre as duplas.

### 4.5.1 Sumário de Cada Dupla Para a Primeira Rede: Discussão das Regras no Papel

Nesta seção será apresentado um sumário sobre cada dupla separadamente, referentes a primeira rede *Discussão das Regras no Papel*. Essa rede descreve as atividade de construção de modelos para o sistema *Gás-Recipiente* nos terceiro, quarto e quinto passos de construção de modelos (PCM3, PCM4 e PCM5). Cabe ressaltar aqui que as regras construídas no PCM5 são geralmente associadas as regras descritas do modelo esperado, a partir dos objetos que compõem as regras no PCM5, contudo, o formalismo de construção das regras no ambiente de modelagem e no papel nesse estágio ainda são bastante distintos não cabendo, dessa forma, uma associação mais profunda.

#### 4.5.1.1 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_01

No aspecto de *Descrição* da discussão das regras no papel, pode-se observar no aspecto, *Nº de Objetos do Modelo*, que a Dupla\_01 definiu para o *Sistema Gás-*

*Recipiente* três objetos, a saber: *Gás*, *Parede do Recipiente* e *Recipiente*. A *Classificação* foi *Gás* e *Parede do Recipiente* como *Objetos* e *Recipiente* como *Objeto-Cenário*. O *Nº de Regras* construídas foi de duas: uma regra representando a interação entre dois *Objetos Gás* e uma regra representando a interação entre um *Objeto Gás* e um *Objeto Parede do Recipiente*. Pode-se ressaltar que a *Dupla\_01* não utiliza o *Objeto-Cenário Recipiente* na construção de nenhuma regra.

No aspecto de *Análise* dessa primeira rede pode-se observar que no aspecto de *Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, a *Dupla\_01* utilizou, nessa discussão, conhecimento prévio sobre o *Fenômeno* para criar regras. Observa-se, ainda, neste aspecto que o *Raciocínio Com as Regras* durante a discussão foi *Qualitativo*, ou seja discutindo-se as regras em termos de *Objetos e Eventos*, gerados pela interação dos objetos, mostrando, dessa forma, que a dupla parece entender a metáfora utilizada pelo ambiente WorldMaker, a metáfora de *Objetos e Eventos*.

No aspecto de *Estruturação Esperada* observa-se que a *Dupla\_01* construiu as regras dentro de uma estrutura esperada, uma estrutura é considerada esperada se ela é construída usando-se os objetos definidos nos passos anteriores e se é estabelecido algum evento na regra. A *Estrutura das Regras* foram caracterizadas como *Geradoras de Evento* e apresentam as seguintes construções: *Se [Objetos] Então [Evento]* e *Se [Objetos] [Evento]*. Observa-se que os estudantes conseguem construir as regras em termos de *Objetos e Eventos*, porém, essas construções possuem variações dentro do formalismo “*Se..Então*”. Essas variações podem ser atribuídas tanto a uma economia na escrita da regra quanto à uma possível dificuldade que os estudantes tenham em estabelecer de forma adequada, o evento da regra. Por fim, observa-se que a *Dupla\_01* não utilizou o aspecto de *Probabilidade* na construção dessas regras.

#### **4.5.1.2 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_02**

No aspecto de *Descrição*, pode-se observar para a *Dupla\_02* que o *Nº de Objetos do Modelo* foi de três: *Molécula*, *Intfrasco* (que representa o espaço interno de um frasco) e *Parede*. A *Classificação* desses três objetos foi: *Molécula* como *Objeto* e *Intfrasco* e *Parede* como *Objetos-Cenário*. O *Nº de Regras* construídas pela

Dupla\_02 foi de duas: uma regra representando a interação entre dois *Objetos Moléculas* e uma regra representando a interação entre um *Objeto Molécula* e um *Objeto-Cenário Parede*. Dessa forma, pode-se observar que a dupla caracterizou o *Objeto-Cenário Parede* incorretamente e conseqüentemente a regra construída com esse objeto não está conceitualmente correta.

No aspecto de *Análise* pode-se observar que na *Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, a Dupla\_02 utilizou *Conhecimento Prévio* específico tanto sobre o *Fenômeno* quanto sobre *Probabilidades* para explicar possíveis comportamentos do sistema. Ao contrário da Dupla\_01 que utilizou conhecimento prévio sobre fenômeno para criar regras, a Dupla\_02, fez uso do conhecimento prévio para explicar possíveis comportamentos do sistema, podendo-se observar, ainda, nesse aspecto que o *Raciocínio Com as Regras* foi *Qualitativo*, ou seja discutindo-se as regras em termos de objetos e eventos.

No aspecto de *Estrutura das Regras* observa-se que a Dupla\_02 construiu as regras de forma esperada. A *Estrutura da Regra*, foi classificada em *Geradora de Evento*, apresentando a construção *Se [Objetos] [Evento]*. Por fim, observa-se que nesse estágio de discussão das regras a Dupla\_02 não utilizou o aspecto de *Probabilidade* na construção das mesmas.

#### 4.5.1.3 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_03

No aspecto de *Descrição*, observa-se que o *Nº de Objetos* que a Dupla\_03 definiu, para o sistema *Gás-Recipiente* foi de dois: *Partícula* e *Parede*, sendo os dois classificados como *Objetos*. O *Nº de Regras* construídas foi de duas: uma regra representando a interação entre dois *Objetos Partícula* e uma regra representando a interação entre um *Objeto Partícula* e um *Objeto Parede*. Dessa forma, embora essa dupla tenha sido a única a não incluir um *Objeto-Cenário* no modelo esse ainda carece de uma regra de movimento que atribui um comportamento dinâmico ao modelo.

No aspecto de *Análise* pode-se observar na *Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, que a dupla utilizou *Conhecimento Prévio* específico sobre o *Fenômeno* para criar regras e sobre *Probabilidades* para explicar um possível comportamento do modelo. Pode-se observar, ainda, nesse aspecto que o *Raciocínio Com as Regras* foi *Qualitativo*, ou seja discutindo-se as regras somente em termos de objetos e eventos. Dessa forma, observa-se que a Dupla\_03 também utilizou conhecimento prévio na discussão das regras sendo que esse conhecimento prévio foi utilizado tanto para criar regras quanto para prever comportamento do modelo.

No aspecto de *Estrutura das Regras* observa-se que a Dupla\_03 construiu as duas regras dentro de uma estrutura esperada, caracterizada como *Geradora de Eventos* apresentando a seguinte construção: *Se [Objetos] Então [Evento]*. Por fim, observa-se que a dupla utilizou o aspecto de *Probabilidade* na construção dessas regras. Pode-se destacar aqui que a Dupla\_03 é a única a utilizar adequadamente o formalismo “*Se...Então*” para a construção de todas as regras.

#### 4.5.1.4 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_04

No aspecto de *Descrição*, observa-se que o *Nº de Objetos* que a Dupla\_04 definiu para o sistema *Gás-Recipiente* foi de quatro, *Partícula do Gás*, *Parede do Frasco*, *Parede da Sala* e *Sala*. A *Classificação* desses quatro objetos foi *Partícula do Gás*, *Parede do Frasco* e *Parede da Sala* como *Objetos* e *Sala* como *Objeto-Cenário*. O *Número de Regras* construídas foi de duas: uma regra representando a interação entre o *Objeto Partícula do Gás* e qualquer outro objeto do sistema e uma regra representando o movimento do *Objeto Partícula do Gás*. Pode-se ressaltar aqui que a Dupla\_04 constrói uma regra de interação que envolve além do *Objeto Partícula do Gás* qualquer outro *Objeto* do sistema. Essa regra representa tanto a interação de *Partícula de Gás* com *Partícula de Gás* quanto de *Partícula de Gás* com qualquer uma das *Paredes*, podendo-se destacar que esta dupla, construiu no PCM5 uma regra de movimento para as *Partículas de Gás*, semelhante às duplas 05 e 06. Cabe ressaltar ainda que para a Dupla\_04 não foi analisado o aspecto *Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, pois a falta do material de áudio não possibilitou a análise desse aspecto.

No aspecto de *Estrutura das Regras* observa-se que a Dupla\_04 construiu as duas regras dentro de uma estrutura esperada. As *Estruturas das Regras* foram classificadas em *Geradoras de Evento* e apresentam as seguintes estruturas, *Se [Objetos] Então [Evento]* e *Se [Objetos não] [não Evento]*. Por fim, observa-se na *Estruturas das Regras* que os estudantes construíram as regras utilizando o aspecto de *Probabilidade*.

#### 4.5.1.5 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_05

No aspecto de *Descrição* da discussão das regras no papel pode-se observar que o *Nº de Objetos* que a Dupla\_05 definiu para o sistema *Gás-Recipiente* foi de quatro objetos: *Partículas de Gás, Paredes do Recipiente, Dentro e Fora*. A *Classificação* desses objetos foi: *Partículas de Gás e Paredes do Recipiente* como *Objetos* e *Dentro e Fora* como *Objetos-Cenário*. O *Nº de Regras* construídas foi de três: uma regra representando a interação entre o *Objeto Partícula de Gás* e o *Objeto Paredes do Recipiente* e duas regras para representar o movimento dos *Objetos Partículas de Gás*, uma feita com o objeto *Partícula de Gás* e o *Objeto-Cenário Dentro* e a outra feita entre o *Objeto Partícula de Gás* e o *Objeto-Cenário Fora*. Contudo, cabe ressaltar que apesar dessa dupla ter explicitado que essas seriam “*regras de movimento*”, elas ainda não possuem as características necessárias dentro do formalismo do WorldMaker para representar o movimento das *Partículas de Gás*, conforme comentado no início dessa seção.

No aspecto de *Análise* pode-se observar que na *Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, a Dupla\_05 utilizou, nessa discussão, *Conhecimento Prévio* específico sobre o *Fenômeno* para criar regras. Pode-se observar, ainda, nesse aspecto que o *Raciocínio Com Regras* foi *Qualitativo*, ou seja discutindo-se as regras somente em termos de objetos e eventos. Observa-se que a maioria das duplas utiliza de conhecimento prévio principalmente para a construir regras.

No aspecto de *Estrutura das Regras* observa-se que a dupla construiu as três regras dentro de uma estrutura esperada, caracterizadas em *Geradoras de Evento* com as seguintes construções, *Se [Objetos] Então [Evento]* e *Se [Objetos] [Evento]*. Por fim,

observa-se que na construção das regras a Dupla\_05 não utiliza o aspecto de *Probabilidades* na construção dessas regras.

#### 4.5.1.6 Discussão das Regras no Papel da Dupla\_06

No aspecto de *Descrição* da discussão das regras no papel, pode-se observar que o *Nº de Objetos* que a Dupla\_06 definiu para o sistema *Gás-Recipiente* foi de três: *Moléculas*, *Parede da Sala* e *Parede do Recipiente*. A *classificação* desses três objetos foi: *Moléculas* como Objeto e *Parede da Sala* e *Parede do Recipiente* como *Objetos-Cenário*. O *Número de Regras* construídas, foi de quatro: uma regra representando a interação entre dois *Objetos Moléculas*; uma regra representando a interação entre um *Objeto Molécula* e um *Objeto-Cenário Parede do Recipiente*; uma regra representando a interação entre o *Objeto Molécula* e um *Objeto-Cenário Parede da Sala* e uma regra construída com o Objeto *Moléculas* e o que os alunos escreveram como “*espaço em branco*” que pode ser associado ao *No-Object*, podendo ser interpretado, dessa forma, como uma regra de representação do movimento das *Moléculas*. Dessa forma, observa-se que os dois *Objetos-Cenário* foram classificados incorretamente, consequentemente as regras que envolvem esses dois objetos não estão conceitualmente corretas.

No aspecto de *Análise* pode-se observar que no aspecto de *Discussão sobre a Estrutura das Regras*, a Dupla\_06 utilizou *Conhecimento Prévio* específico sobre o *Fenômeno* para criar regras. Pode-se observar, ainda, nesse aspecto que o *Raciocínio Com as Regras* foi *Qualitativo*, ou seja discutindo-se as regras em termos de objetos e eventos apenas.

No aspecto de *Estrutura das Regras* observa-se que a dupla construiu as quatro regras dentro de uma estrutura esperada, caracterizadas de *Evento* apresentando as seguintes construções: *[Objetos] [Evento]* e *[Evento] [Objetos]*. Por fim, observa-se a não utilização o aspecto de *Probabilidade*. Cabe destacar aqui que essa dupla foi a única a construir as regras em termos apenas de objetos e eventos, sem usar os conectores *Se* e *Então* contudo,

essa construção das regras caracterizada como *Evento* podem ser interpretadas apenas como uma forma econômica de construir as regras contudo, podem ser também uma dificuldade com o formalismo “Se...Então”.

#### **4.5.2 Sumário em Relação Aos Aspectos Abordados na Primeira Rede**

Nessa seção serão tecidos comentários sobre cada aspecto abordado no primeira rede *Discussão das Regras no Papel* fazendo um comparativo entre as seis duplas. No tópico 4.5.2.1 serão abordados aspectos da *Descrição* da rede e no tópico 4.5.2.2 serão abordados aspectos de *Análise*.

##### **4.5.2.1 Aspectos de Descrição**

No primeiro aspecto da *Descrição*, *Nº de Objetos do Modelo*, observa-se que a Dupla\_03 definiu para o seu modelo dois objetos, as Duplas 01, 02 e 06 definiram três objetos e as duplas 04 e 05 definiram quatro objetos. Assim, pode-se observar que apenas a Dupla\_03 definiu o número adequado de objetos para a construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente*. Dessa forma, tem-se que a maioria das duplas parece apresentar dificuldades em definir um número adequado de objetos para a construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente*.

No segundo aspecto da *Descrição*, *Classificação dos Objetos*, pode-se observar que todas as duplas, exetando a Dupla\_03, caracterizaram os elementos relevantes escolhidos tanto como *Objetos* quanto *Objetos-Cenário*: Somente a Dupla\_03 definiu apenas *Objetos* para o modelo. Observa-se também que as duplas 02 e 06 definiram de forma incorreta os objetos que representam as paredes do sistema definindo-as como *Objetos-Cenário*, ao invés de *Objetos*. Contudo, observando-se a dificuldade de caracterização desses elementos em relação ao que é esperado esta parece ser menor do que a dificuldade em definir o número adequado de objetos, sendo que apenas duas das seis duplas classificaram de forma incorreta alguns dos elementos que constituíam o modelo do sistema.

No terceiro aspecto da *Descrição, Nº de Regras*, pode-se observar que as Duplas 01, 02, 03 e 04 construíram duas regras, a Dupla\_05 construiu três regras e a Dupla\_06 construiu quatro regras. Uma possível explicação para a construção de quatro regras pela Dupla\_06, pode ser o fato da dupla ter definido dois Objetos-Cenários, *Parede da Sala* e *Parede do Recipiente*, sendo, dessa forma, necessário construir duas regras de interação com os Objetos *Moléculas* ou seja, as regras *Moléculas-Parede da Sala* e a regra *Molécula-Parede do Recipiente*. Pode-se destacar que nenhuma das duplas construiu um número adequado de regras para o sistema *Gás-Recipiente* no PCM5 sendo que os modelos estão incompletos, com um número menor de regras do que o esperado, como os modelos das duplas 01, 02, 03 e 04 ou possuem um número de regras maior que o esperado como no caso da Dupla\_06. Embora a Dupla\_05 tenha estruturado três regras para a construção do modelo está não estruturou uma regra de interação entre os objetos que representam as partículas de gás, construindo de forma incorreta duas regras de movimento para o modelo do sistema.

#### 4.5.2.2 Aspectos de Análise

No primeiro aspecto de *Análise, Discussão Sobre a Estrutura das Regras*, pode-se observar que, no *Uso de Conhecimento Prévio*, todas as duplas utilizaram algum conhecimento prévio específico sobre o fenômeno ou sobre probabilidades. As duplas 01, 05 e 06 utilizaram esse conhecimento na criação das regras, já as duplas 02 e 03 utilizaram o conhecimento prévio tanto na criação de regras quanto na explicação de possíveis comportamentos do sistema<sup>1</sup>. No aspecto, *Raciocínio Com as Regras*, todas as duplas raciocinaram qualitativamente não apresentando dificuldades em raciocinar em termos da metáfora *Objetos e Eventos*.

No segundo aspecto, *Estrutura das Regras*, observa-se em, *Estruturação Esperada*, que todas as duplas fizeram a estrutura das regras dentro de uma forma esperada,

---

<sup>1</sup> Conforme explicado anteriormente não foi possível analisar os dados deste aspecto da Dupla\_04 devido a falha no equipamento de áudio.

onde a regra é construída usando-se os objetos definidos nos passos anteriores e se é estabelecido na regra algum evento. Em relação ao aspecto, *Estrutura das*

*Regras*, classificou-se as estruturas observadas das regras em *Geradoras de Eventos* e *Eventos*. As quais apresentaram variações dentro do formalismo “Se...Então”. Essas variações de construção pode refletir alguma dificuldade na construção das regras: mesmo o estudante não tendo dificuldades em discutir as regras em termos de objetos e eventos, pode ser que essas variações de construção sejam relacionadas tanto à dificuldades em estruturar as regras em termos do formalismo demandado pelo ambiente de modelagem quanto à diferentes formas mais econômicas de expressá-las estruturadas no papel.

No último aspecto de análise, *Probabilidades*, pode-se observar que as duplas 01, 02, 05 e 06 não utilizaram as probabilidades na construção de regras do modelo. As duplas 03 e 04 definiram probabilidades para as regras construídas no PCM5, com a utilização de 100% para todas as regras, o que é a definição esperada. O quadro apresentado com rede sistêmica, *Discussão das Regras no Papel*, na Figura 4.33, mostra o comportamento de cada dupla ao longo dos PCM3, PCM4 e PCM5 de cada dupla.

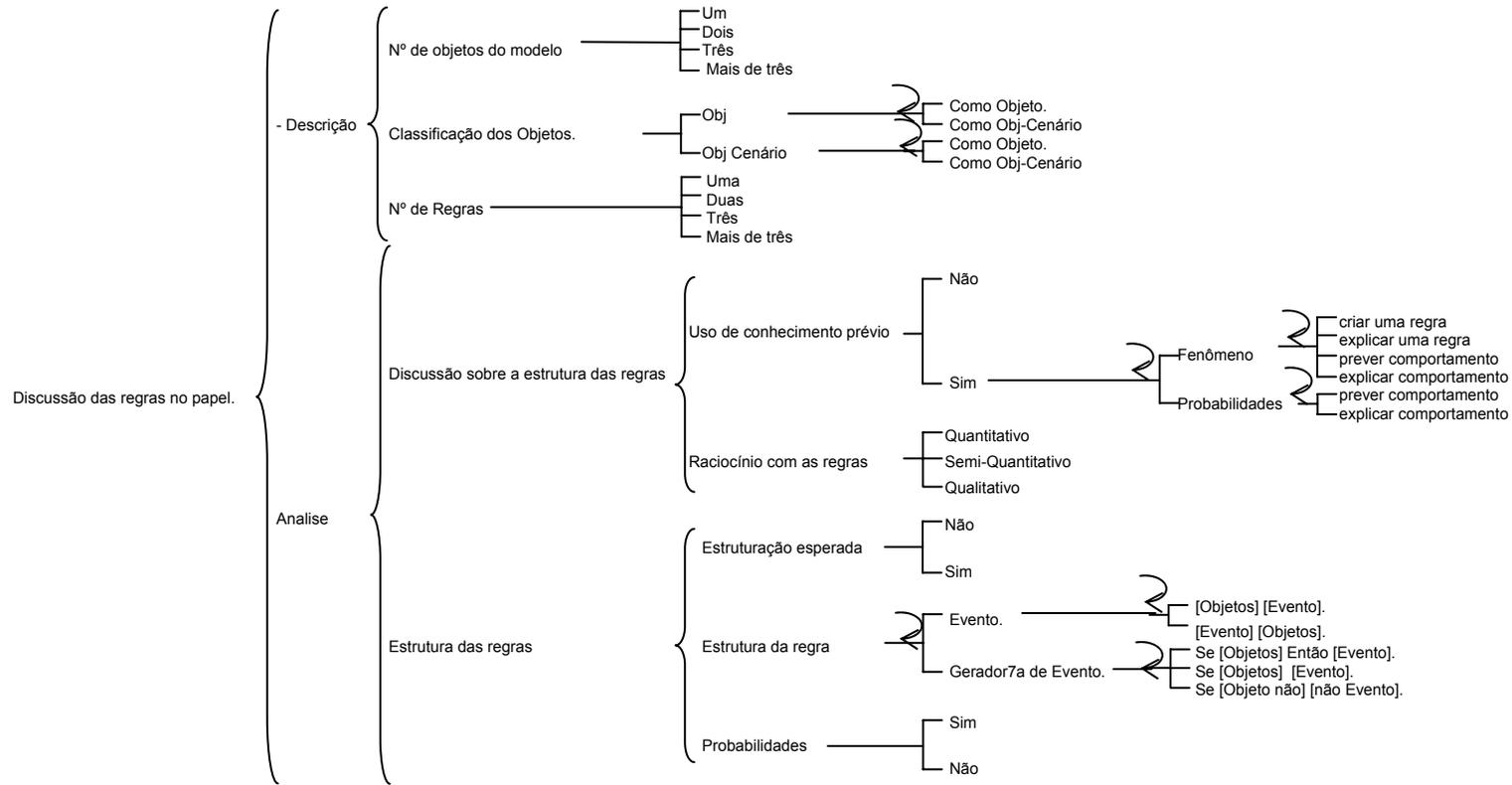


Figura 4.33: Rede Sistêmica do Aspecto de Discussão das Regras no Papel.

### 4.5.3 Sumário de Cada Dupla Para a Segunda Rede: Construção de Regras no Papel

Nesta seção será apresentado um sumário sobre cada dupla separadamente, referentes a segunda rede *Construção das Regras no Papel* quando o estudante é levado a traduzir as regras escritas no PCM5 para o formalismo do ambiente de modelagem no PCM6. Essa rede descreve as atividade de construção de modelos para o sistema *Gás-Recipiente* no sexto passo de construção de modelos (PCM6).

#### 4.5.3.1 Construção das Regras no Papel da Dupla\_01

No aspecto de *Descrição* da segunda rede, pode-se observar no aspecto *Nº de Regras* que a Dupla\_01 construiu, duas regras. Essas duas regras podem ser associadas às duas regras construídas no PCM5 uma vez que utilizam os mesmos objetos e tentam representar os mesmos eventos. No aspecto, *Forma de Preenchimento*, observa-se que a dupla preencheu todos os passos de forma *Escrita*, não fazendo nenhuma representação em forma de desenho. No aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras*, nota-se que o erro cometido na construção das regras nesse passo (PCM6), foi a repetição do segundo passo de construção de regra (PCR2) no terceiro passo de construção de regra (PCR3).

Na *Análise* pode-se observar que no aspecto *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelo (PCM5) Para o Sexto Passo de Construção de Modelo (PCM6)* que a dupla definiu no PCM5 o evento de “*bater e voltar*” e no PCM6 a dupla só definiu a mudança de direção dos objetos ou seja as diferenças na representação das regras foram relativas aos eventos e na forma escrita. No aspecto, *Semelhanças com a Representação do WorldMaker*, pode-se destacar que essas semelhanças ocorreram no primeiro e segundo passos de construção de regras (PCR1 e PCR2). No PCR1 a semelhança é a disposição dos objetos e no PCR2 é a escrita do passo que é idêntica a encontrada no ambiente de modelagem. Contudo, nota-se que o PCR3 não possui nenhuma semelhança com a

representação feita no WorldMaker, uma vez que a construção desse passo pelos estudantes foi feito apenas repetindo-se o PCR2<sup>2</sup>.

#### 4.5.3.2 Construção das Regras no Papel da Dupla\_03

Na aspecto *Descrição* pode-se observar no aspecto, *Nº de Regras*, que a Dupla\_03 construiu duas regras. As regras construídas no PCM6 representam as mesmas regras construídas no no PCM5 pois utilizam os mesmos objetos e representam os mesmos eventos, só que no formalismo de WorldMaker. No aspecto, *Forma de Preenchimento*, observa-se que a dupla preencheu os passos de forma *Escrita* e *Escrita/Desenhada*. No aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras*, nota-se que não houve nenhum erro de preenchimento cometido pela Dupla\_03, com todos os passos sendo preenchidos adequadamente.

Na *Análise*, pode-se observar que no aspecto, *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelo PCM5 Para o Sexto Passo de Construção de Modelo PCM6*, que existe diferença na transposição, pois apesar do número de regras e as formas de representação dos objetos serem os mesmos, os eventos foram escritos de formas distintas: no PCM5 os estudantes escrevem que a partícula mudará a direção e no PCM6 eles escrevem no no terceiro passo de construção de regras (PCR3) “*bater e voltar*”. No aspecto, *Semelhanças com a Representação do WorldMaker*, pode-se destacar que no PCR1 a regras apresentam semelhanças na disposição dos objetos e no uso do *Ícone da Seta*. No PCR2 a escrita desse passo é semelhante à que aparece no segundo passo da janela de edição de regras. No PCR3 os estudantes escreveram por extenso um efeito específico para a mudança de direção estabelecida no PCR2 que é o efeito de denominado por eles de “*bater e voltar*” dessa forma, percebe-se que essa dupla soube construir os PCR2 e PCR3 adequadamente sem erros de construção.

---

<sup>2</sup> Conforme já relatado na seção 4.4.2.2 não foi possível construir a rede sistêmica *Construção das Regras no Papel* para a Dupla\_02 e a próxima dupla a ser analisada será a Dupla\_03.

#### 4.5.3.3 Construção das Regras no Papel da Dupla\_04

Na *Descrição*, pode-se observar no aspecto, *Nº de Regras*, que a Dupla\_04 construiu duas regras. Essas duas regras podem ser associadas às duas regras construídas no PCM5 uma vez que utilizaram os mesmos objetos e tantam representar os mesmos eventos. No aspecto, *Forma de Preenchimento*, observa-se que a dupla preencheu os passos de forma *Escrita*. No aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras*, nota-se que não houve nenhum erro de preenchimento cometido pela dupla, dessa forma, parece que a dupla tem facilidade com o formalismo de construção de regras no WorldMaker o que pode facilitar a construção das regras no ambiente de modelagem.

Na *Análise*, pode-se observar que no aspecto, *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelo (PCM5) Para o Sexto Passo de Construção de Modelo (PCM6)*, que existe diferenças na transposição, pois apesar do número de regras e as formas de representar os objetos serem os mesmos, os eventos são representados de forma distintas: em uma das regras se estabelece no PCM5 o evento “*reflete*” e no PCM6 o evento “*bate e volta*”. No aspecto, *Semelhanças com a Representação do WorldMaker*, pode-se destacar que no PCR1 a regras apresentam semelhanças na disposição dos objetos, inclusive com a utilização do *No Object*, para se construir a regra de movimento. No PCR2 a escrita desse passo é semelhante a que aparece no segundo passo da janela de edição de regras. O no PCR3 os estudantes escreveram por extenso um efeito específico para a mudança de direção estabelecida no PCR2 que é o efeito de denominado por eles de “*bate e volta*”, porém, para a regra de movimento limitaram-se a escrever no efeito: “*movimento na mesma direção*”. Nota-se então que as regras construídas no papel por essa dupla assemelham-se bastante com as regras construídas no WorldMaker o que pode vir a facilitar a construção do modelo dessa dupla no ambiente de modelagem.

#### 4.5.3.4 Construção das Regras no Papel da Dupla\_05

Na *Descrição*, observa-se que no aspecto, *Nº de Regras*, a Dupla\_05 construiu três regras. Essas três regras podem ser associadas às três regras construídas no PCM5 uma vez que utilizaram os mesmos objetos e tentaram representar os mesmos eventos. O modelo dessa dupla possui duas regras de movimento nesse estágio. No aspecto, *Forma de Preenchimento*, observa-se que a dupla preencheu todos os passos de forma *Escrita*, não fazendo nenhuma representação em forma de desenho. No aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras*, nota-se alguns erros cometidos na construção das regras nesse passo (PCM6) por essa dupla: a dupla construiu uma regra repetindo o PCR2 no PCR3 na segunda regra; em segundo lugar houve a construção do PCM5 no PCR1 do PCM6 e também a definição errada do PCR2. Observa-se, dessa forma, que essa dupla encontra dificuldades com o formalismo da ferramenta.

Na *Análise*, pode-se observar que no aspecto, *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção de Modelo (PCM5) Para o Sexto Passo de Construção de Modelo (PCM6)*, que não existiu diferenças nessa transposição de regras, pois o número de regras é o mesmo e as formas de representar os objetos e eventos também são as mesmas, apesar dessa dupla ter constuído as regras no PCM6 com muitos erros. No aspecto, *Semelhanças com a representação do WorldMaker*, pode-se destacar que apesar dos erros de construção as regras apresentaram algumas semelhanças no primeiro e segundo passos de construção de regras (PCR1 e PCR2). No PCR1 a semelhança, é a disposição dos objetos, assim como no PCR3 eles fazem uma disposição desses objetos também como no *WorldMaker*.

#### 4.5.3.5 Construção das Regras no Papel pela Dupla\_06

Na *Descrição*, pode-se observar no aspecto, *Nº de regras*, que a Dupla\_06 construiu três regras nesse passo, uma a menos que no PCM5. Contudo, essas três regras construídas no PCM6 estão todas construídas no passo anterior (PCM5) com os mesmos objetos e tentando representar os mesmos eventos. No aspecto, *Forma de preenchimento*, observa-se que a dupla preencheu os passos de forma *Escrita* e

*Escrita/Desenhada*. No aspecto, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras*, houve erro de preenchimento que foram: a construção do PCR3 no PCR2 em todas as regras escritas nesse passo repetindo-se o preenchendo-se o PCR3 em forma de desenho.

Na *Análise*, pode-se observar que no aspecto, *Diferenças na Transposição*, existem diferenças no número de regras, esse passo possui uma regra a menos, e na forma de representar os eventos, quase todos representados em forma de desenho. No aspecto, *Semelhanças com a Representação do WorldMaker*, pode-se destacar que no PCR1 as regras apresentam semelhanças na disposição dos objetos apenas.

#### **4.5.4 Sumário em Relação Aos Aspectos Abordados na Segunda Rede**

Nessa seção serão tecidos comentários comparativos entre as cinco duplas, abordando cada aspecto analisado anteriormente em separado na rede resumo. No tópico 4.5.4.1 serão abordados aspectos da *Descrição* e no tópico 4.5.4.2 serão abordados aspectos de *Análise* dessa segunda rede.

##### **4.5.4.1 Aspectos da Descrição**

Observa-se no aspecto da *Descrição*, *Nº de Regras*, que as duplas 01, 03, 04 construíram duas regras enquanto que as duplas 05 e 06 construíram três regras. É importante que apenas a Dupla\_06 construiu um número diferente de regras no PCM6 do que no passo anterior (PCM5). No aspecto, *Forma de Preenchimento*, tem-se que as duplas 01, 04 e 05 preencheram os passos apenas de forma *Escrita* e as duplas 03 e 06 preencheram de forma *Escrita/Desenhada*, possuindo dessa forma alguma representação feita em forma de desenho nas regras. No último aspecto da descrição, *Erros de Preenchimento dos Passos de Construção das Regras* observa-se que as duplas 01, 05 e 06 cometeram erros ao escreverem as regras no sexto passo de construção de modelos PCM6 dentro da lógica do

ambiente de modelagem WorldMaker, principalmente nos PCR2 e PCR3. Contudo, as duplas 03 e 04 não cometeram nenhum erro de construção das regras nesse passo.

#### **4.5.4.2 Aspectos da Análise**

Observa-se no primeiro aspecto da análise, *Diferenças na Transposição do Quinto Passo de Construção do Modelo (PCM5) para o Sexto Passo de Construção do Modelo (PCM6)*, que todas as duplas apresentaram diferença nessa transposição, mais especificamente na representação dos eventos que sempre forma representados de forma diferentes nos dois passos de construção de modelos (PCM5 e PCM6), a Dupla\_06 foi a única a apresentar diferença no número de regras construídas nos dois passos, sendo que no PCM6 a dupla construiu uma regra a menos do que no PCM5. O segundo aspecto, semelhanças com a representação do WorldMaker, observa-se que todas as duplas construíram regras, que apresentaram alguma semelhança com as regras que seriam construídas no ambiente de modelagem, podendo-se observar que as duplas 03 e 04 foram as duplas que construíram as regras com maior número de semelhança, justamente as duas duplas que não tinham apresentado erros de preenchimento das regras. O quadro apresentado com a rede sistêmica, *Construção das Regras no Papel*, na Figura 4.34, mostra o comportamento de cada dupla ao longo do PCM6 de cada dupla.

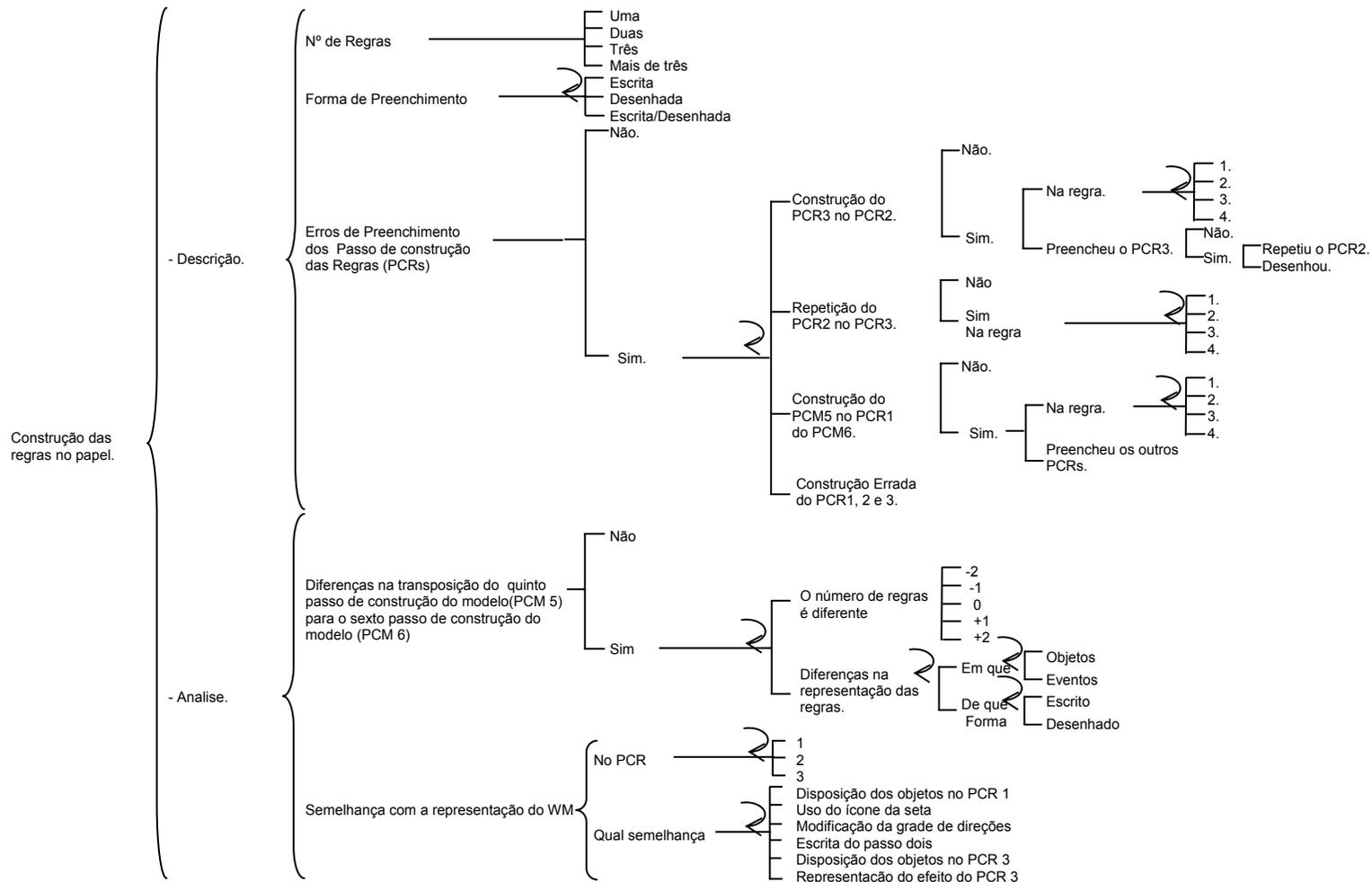


Figura 4.34: Rede Sistemática do Aspecto de Construção das Regras no Papel.

DUPLAS					
01	03	04	05	06	Total
					-
X	X	X			3
			X	X	2
X	X	X	X	X	5
	X			X	2
	X	X			2
X			X		2
				X	1
				X	1
				X	1
					-
					-
					-
X					1
X			X		2
					-
X				X	2
			X		1
			X		1
					-
			X		1
	X	X	X		3
					-
				X	1
					-
					-
					-
					-
X				X	2
X					1
				X	2
X	X	X	X	X	5
X	X	X	X	X	5
	X	X	X	X	3
X	X	X	X	X	5
	X				1
					-
X	X	X	X	X	5
		X			1
	X			X	2

#### 4.4.5 Sumário de Cada Dupla Para a Terceira Rede: Construção das Regras no Ambiente de Modelagem Computacional WorldMaker

Nesta seção será apresentado um sumário sobre cada dupla separadamente, referentes a terceira rede *Construção das Regras no WorldMaker* que descreve as atividade de construção do sistema *Gás-Recipiente* no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker.

##### 4.4.5.1 Construção do Modelo no Ambiente de Modelagem da Dupla\_01

Observa-se no primeiro aspecto da *Descrição* dessa terceira rede, *Nº de regras*, que a Dupla\_01 construiu o modelo final no ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker com três regras, ou seja uma regra a mais do que havia construído anteriormente no papel no PCM6. No segundo aspecto da *Descrição, Implementação das Regras no WorldMaker*, pode-se observar algumas características do processo de construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente* as quais serão apresentadas a seguir.

Primeiramente observa-se que a construção da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* feito pela Dupla\_01, possuía todos os objetos com suas respectivas classificações definidas anteriormente no papel. Observa-se também que as duas regras contruídas anteriormente no papel foram as mesmas construídas no ambiente de modelagem. Dessa forma, a primeira versão do modelo construída por essa dupla é idêntica ao modelo construído no papel.

Observando-se ainda o aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que após a construção da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente*, houve uma seqüência de modificações dessa primeira versão: foram feitas ao todo cinco modificações no modelo. Essas modificações concentraram-se, apenas na modificação das regras, sendo que não houve nenhuma modificação nos objetos ou em suas respectivas classificações.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo do sistema *Gás-Recipiente* pode-se também observar quais foram as principais dificuldades encontrada pela Dupla\_01. Observa-se que não houve dificuldades relacionadas a escolhas e classificações dos objetos contudo, na construção das regras observa-se dificuldades e habilidades em certos aspectos de construção dessas regras. Pode-se citar que as principais dificuldades encontradas na construção das regras foram: uso do ícone da seta, seleção dos ícones de efeito final no PCR3 e utilização incorreta da grade de direções do PCR1. Em relação a esta última dificuldade, a dupla desmarcou todas as possíveis direções, essa regra no modelo final é o *Jump* fazendo, dessa forma, que a regra não representasse de forma efetiva o evento para o qual ela foi construída, nesse caso o movimento aleatório das *Partículas*. Por outro lado pode-se destacar que a Dupla\_01 apresentou habilidades em relação a: disposição dos objetos no PCR1 e a escolha da mudança no PCR2.

A partir do item de *Análise, As Regras Possuem Diferenças com as Regras Construídas no Papel*, observa-se para a Dupla\_01 que as principais diferenças foram no PCR3, na disposição dos objetos e nos objetos usados, pois no papel a dupla não construiu esse passo utilizando os objetos com que a regra foi feita, apenas tentando determinar um resultado final para a regra. Também nota-se diferenças nas utilização da grade de direções, uso do ícone da seta e efeito da mudança no PCR3.

#### **4.4.5.2 Construção do Modelo no Ambiente de Modelagem da Dupla\_02**

Observa-se no primeiro aspecto da *Descrição* dessa terceira rede, *Nº de Regras*, que a Dupla\_02 construiu no ambiente de modelagem, três regras, ou seja uma regra a mais do que havia construído anteriormente no papel no PCM5.

No segundo aspecto da descrição, *Implementação das regras no WorldMaker*, pode-se observar algumas características do processo de construção de modelos do sistema *Gás-Recipiente*. Primeiramente observa-se que a construção da primeira versão do modelo feito pela Dupla\_02, possuía todos os objetos com suas respectivas classificações definidos no papel. Observa-se também que as duas regras

construídas anteriormente no papel, não foram construídas no ambiente de modelagem na primeira versão do modelo. Dessa forma, a primeira versão do modelo construída pela Dupla\_02 era composto dos mesmos objetos com as mesmas classificações feitas no papel, porém, esse modelo só possuía uma das regras feitas no papel a regra *Bounce* que foi feita pela dupla para representar a interação entre dois Objetos *Moléculas* e não para representar a interação entre os objetos *Moléculas* e *Parede do Recipiente* como no modelo descrito na seção 3.6.

Observando-se ainda esse aspecto, nota-se que após a construção da primeira versão do modelo, houve algumas modificações da, sendo que ao todo o modelo foi modificado três vezes. Essas modificações concentraram-se, apenas na modificação das regras, sendo que não houve nenhuma modificação nos objetos ou em suas respectivas classificações.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo, pode-se verificar que a Dupla\_02 não teve dificuldades relacionadas a escolhas e classificações dos objetos. Contudo, na construção das regras observa-se dificuldades relacionadas no uso do ícone da seta, uso dos ícones de efeito do PCR3 e determinação da mudança no PCR2. Por outro lado pode-se destacar que a Dupla\_02 teve habilidade em construir a disposição dos objetos no PCR1.

#### **4.4.5.3 Construção do Modelo no Ambiente de Modelagem da Dupla\_03**

Observa-se no primeiro aspecto da *Descrição, Nº de regras*, que a Dupla\_03 construiu no WorldMaker, três regras, ou seja uma regra a mais do que havia construído anteriormente no papel no PCM6. No segundo aspecto da descrição, *Implementação das Regras no WorldMaker*, pode-se resaltar características do processo de construção do modelo. Primeiramente, observa-se que a construção da primeira versão do modelo, possuía todos os objetos com suas respectivas classificações definidas no papel. Por outro lado, observa-se que as duas regras construídas anteriormente no papel não foram construídas na primeira versão do modelo no ambiente de modelagem: a primeira versão construída possuía apenas

uma das regras feita no papel, a regra que no ambiente representava a interação entre *Parede* e *Partícula* denominada de *Bounce*.

Observando-se ainda o aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que após a construção da primeira versão do modelo, a dupla o modificou mais duas vezes. Essas modificações concentraram-se, apenas na regras, sendo que não houve nenhuma modificação nos objetos ou em suas respectivas classificações.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo pode-se. Observa-se, para essa dupla, que não houve dificuldades relacionadas a escolha e classificações dos objetos. Contudo, na construção das regras observa-se dificuldades relacionadas, o uso ou não do ícone da seta em algumas regras. Por outro lado pode-se destacar que a dupla teve habilidade em construir a disposição dos objetos no PCR1, escolha da mudança no PCR2, uso do ícone da seta na maioria das regras construídas e estabelecimento do resultado final do PCR3.

A partir item de análise, *As Regras Possuem Diferenças com as Regras Construídas no Papel*, observa-se para a Dupla\_03 que as principais diferenças foram no PCR3 relacionadas a disposição dos objetos e nos objetos usados.

#### **4.4.5.4 Construção do Modelo no Ambiente de Modelagem da Dupla\_04**

Observa-se no primeiro aspecto da descrição, *Nº de Regras*, que a Dupla\_04 construiu no ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker, duas regras, ou seja o mesmo número de regras que havia sido construído anteriormente no papel. No segundo aspecto da descrição, *Implementação das Regras no WorldMaker*, pode-se observar algumas características do processo de construção do modelo.

Primeiramente observa-se que a construção da primeira versão do modelo, não possui todos os objetos definidos anteriormente no papel, é escolhido no ambiente de modelagem um objeto a menos do que havia se definido anteriormente no papel, porém, as respectivas classificações dos outros objetos é conservada no WorldMaker. Observa-se, no entanto, que as duas regras contruídas anteriormente

no papel, não foram construídas na primeira versão do modelo. Dessa forma, a primeira versão do modelo construída difere do modelo construído no papel, em relação ao número de objetos e de regras as quais são diferentes.

Observando-se ainda o aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que após a construção da primeira versão do modelo, houve duas modificações. Essas modificações concentraram-se, apenas na construção e modificação de regras já construídas, sendo que não houve nenhuma modificação nos objetos ou em suas respectivas classificações.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo do sistema *Gás-Recipiente*, pode-se observar que para essa dupla não houve dificuldades relacionadas a escolha e classificações dos objetos. Contudo, na construção das regras observa-se dificuldades relacionadas ao não uso do ícone da seta na primeira versão da regra de movimento. Por outro lado, pode-se destacar que a dupla não teve dificuldades com a disposição dos objetos no PCR1, escolha do ícone da seta em uma das regras, escolha da mudança no PCR2 e estabelecimento do resultado final no PCR3.

A partir do item de análise, *As Regras Possuem Diferenças com as Regras Construídas no Papel*, observa-se que as principais diferenças foram no PCR3 na, disposição dos objetos e nos objetos usados, pois, no papel a dupla não constrói esse passo utilizando-se os objetos com que a regra foi feita, apenas tentando determinar um resultado final para a regra. Também nota-se diferença em relação ao uso do ícone da seta.

#### **4.4.5.5 Construção do Modelo no Ambiente de Modelagem da Dupla\_05**

Observa-se no primeiro aspecto da *Descrição* dessa terceira rede, *Nº de Regras*, que a Dupla\_05 construiu no ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker, duas regras, ou seja uma regra a menos do que havia construído anteriormente no papel. No segundo aspecto da *Descrição*, *Implementação das Regras no WorldMaker*, pode-se observar algumas características do processo de construção do modelo.

Primeiramente observa-se que a construção da primeira versão do modelo possui todos os objetos com suas respectivas classificações definidas no papel. Observa-se, no entanto, que as três regras construídas anteriormente no papel, não foram construídas no ambiente de modelagem, sendo, a primeira versão do sistema construída com apenas duas regras.

Observando-se ainda o aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, nota-se que após a construção da primeira versão do modelo, houve apenas uma modificação dessa primeira versão. Essa modificação concentra-se, na modificação de uma regra já construída, sendo que não houve nenhuma modificação nos objetos ou em suas respectivas classificações.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo pode-se observar para essa dupla que não houve dificuldades relacionadas a escolhas e classificações dos objetos. Contudo, na construção das regras observa-se dificuldades ao uso do ícone da seta, escolha dos ícones de efeito do PCR3, disposição dos objetos no PCR1 e escolha da mudança no PCR2.

A partir do item de Análise, *As Regras Possuem Diferenças Com as Regras Construídas no Papel*, observa-se para a Dupla\_05 que essas diferenças se fizeram presente em todos os passos de construção de regras. Também nota-se diferenças no uso do ícone da seta e no efeito da mudança no PCR3.

#### **4.4.5.6 Construção do Modelo no Ambiente de modelagem da Dupla\_06**

Observa-se no primeiro aspecto, *Nº de Regras*, que a Dupla\_06 construiu no WorldMaker, quatro regras ou seja, o mesmo número de regras construído anteriormente no papel. No segundo aspecto da descrição, *Implementação das Regras no WorldMaker*, observa-se algumas características do processo de construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente*. Primeiramente observa-se que a Dupla\_06 foi a única a construir apenas uma versão do modelo. Esse modelo possui todos os objetos com suas respectivas classificações definidos no papel e todas a

regras contruídas anteriormente no papel por essa dupla. Dessa forma, a primeira e única versão do modelo construída pela Dupla\_06 é idêntico ao modelo construído por essa dupla no papel. Observa-se, ainda, que após a construção da primeira versão do modelo, não houve nenhuma modificação dessa versão.

A partir da observação da evolução temporal das regras e do modelo, observa-se, para essa dupla que houve dificuldades relacionadas a escolhas e classificações dos objetos pois, a classificação dos objetos que representavam as paredes do modelo estavam incorretas. Contudo, a classificação dos outros objetos estava correta. Na construção das regras observa-se dificuldades relacionadas ao uso do ícone da seta e a escolha dos ícones de efeito do PCR3. Por outro lado pode-se destacar que a dupla demonstrou habilidades com a disposição dos objetos no PCR1 e na escolha da mudança no PCR2.

A partir do item de Análise, *As Regras Possuem Diferenças com as Regras Construídas no Papel*, observa-se que as principais diferenças foram no PCR3, na disposição dos objetos e nos objetos usados, pois no papel a dupla não constrói esse passo utilizando-se os objetos com que a regra foi construída no PCR1, apenas tenta determinar um resultado final para a regra, também nota-se diferenças, no uso do ícone da seta, pois no papel não se define esse uso, porém, no ambiente a dupla constrói algumas regras usando esse ícone.

#### **4.5.6 Sumário em Relação Aos Aspectos Abordados na Terceira Rede**

Nessa seção serão feitos comentários comparativos entre as seis duplas, abordando-se cada aspecto analisado anteriormente em separado na redes de cada dupla. Os tópicos abordaram aspectos da descrição e aspectos de análise das redes.

#### 4.5.6.1 Aspectos da Descrição

Observando-se o aspecto, *Nº de Regras*, tem-se que as duplas 01, 02 e 03 construíram um número maior de regra no ambiente de modelagem do que no papel, construindo sempre uma regra a mais. As duplas 04 e 06 construíram o mesmo número de regras no ambiente o no papel e apenas a Dupla\_05 construiu um número menor de regras no WorldMaker do que no papel. Dessa forma, observa-se que os modelos construídos no papel sempre se modificam com relação ao número de regras construídas, na maioria das vezes, sendo que quatro duplas construíram um número diferente de regras no ambiente de modelagem

Observando-se a primeira versão do modelo construído por todas as duplas tem-se que as duplas 01, 02, 03, 05 e 06 utilizaram os mesmos objetos e classificações feitas anteriormente no papel, no ambiente de modelagem WorldMaker. Apenas a Dupla\_04 utilizou um objeto a menos que definido anteriormente no papel, porém, utilizou as mesmas classificações para os demais objetos. Dessa forma percebe-se que os modelos são pouco modificados com relação aos objetos e classificações definidas no papel. Observa-se também, na primeira versão desses sistemas, que as duplas 01 e 06 construíram essa primeira versão idêntica ao modelo construído no papel, as duplas 02, 03, 04 e 05 construíram a primeira versão diferente do que haviam construído anteriormente no papel, seja nos objetos usados ou nas regras construídas.

A partir da primeira versão construída dos modelos observa-se que as duplas 01, 02, 03, 04, 05 implementaram modificações, sendo todas elas feitas para modificar os modelos através da alteração das regras. Nenhuma dupla modificou os objetos e suas respectivas classificações. Apenas a Dupla\_06 não modificou a primeira versão do seu sistema.

A partir das observações da evolução temporal da construção das regras observa-se que as duplas apresentaram dificuldades e demonstraram habilidades na construção das regras no ambiente de modelagem WorldMaker. As duplas 01, 02, 05 e 06 foram as duplas que apresentaram maior dificuldades na construção das regras, as duplas

03 e 04 foram as duplas que apresentaram maior habilidades na construção das regras do sistema. Cabe destacar que os modelos mais próximos do modelo esperado foram construídos pela duplas 03 e 04.

#### 4.5.6.2 Aspectos da Análise

Comparando-se a construção das regras no WorldMaker com as regras construídas anteriormente no sexto passo de construção de modelos (PCM6). Observa-se que as duplas apresentaram diferenças na construção dessas regras no WorldMaker para o papel, tanto na construção da disposição dos objetos nos passos como na seleção das funções de cada passo. Nesse aspecto temos que todas as duplas apresentaram diferenças na construção do PCR3 das regras, seja nos objetos usados e conseqüentemente na disposição desses objetos. Foi também observado diferenças no uso do ícone da seta, uso da grade de direções e no efeito da mudança. Cabe ainda ressaltar que apenas a Dupla\_05 apresentou diferenças na construção do PCR2.

#### 4.5.7 Sumário dos Modelos Finais de Cada Dupla

Nas próximas seções serão feitos comentários sobre os modelos finais construídos por cada dupla. Esses comentários abordaram as regras que constítuem esses modelos e os respectivos comportamentos que esse conjunto de regras gerou para o sistema modelado. Cabe ressaltar, ainda, que o modelo considerado mais adequado para o sistema *Gás-Recipiente* foi descrito na seção 3.4. Contudo, o modelo mais adequado para esse sistema é constituído de dois *Objetos* que são: *Partícula* e *Parede*. A partir do objeto *Partícula* constroi-se três regras: *Bounce*, *Swap* e *Jump*. A regra *Bounce* representa a interação entre os *Objetos Partícula* e *Parede*; a regra *Swap* representa a interação entre dois *Objetos Partícula* e a regra *Jump* representa o movimento aleatório de *Objetos Partículas*.

#### 4.5.7.1 Modelo Final da Dupla\_01

No quadro da rede da Figura 4.35 pode-se observar que o modelo final construído pela dupla é constituído de três regras: **Swap**, **Repelled By** e **Jump**, construídas respectivamente nessa ordem, no ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se que:

**Regra Swap** representa a interação entre dois objetos *Partículas*;

**Regra Repelled By** representa a interação entre *Partícula* e *Parede do Recipiente*;

**Regra Jump** representa o movimento aleatório das *Partículas*.

Em relação a regra **Jump**, esta foi construída com os estudantes desmarcando todas as possíveis opções de direção da *Grade de Direção* do PCR1, o que fez com que a regra não representasse, de forma efetiva, o movimento aleatório das *Partículas*, mas sim apresentasse um comportamento estático.

A regra **Repelled By** não representava da forma correta a interação entre os *Objetos Partícula* e *Parede*, uma vez que essa regra não representa o evento de colisão entre esses objetos: essa regra representa um objeto *Partícula* sendo repelida pelo objeto *Parede*.

A regra **Swap** foi a única regra construída de forma correta, ou seja, foram utilizados os objetos adequados e estabelecido o efeito adequado, que nesse caso é denominado de *Swap “trocar o sentido da direção”*.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído pelos estudantes dessa dupla possui apenas uma, das três regras esperadas, construída de forma correta para esse modelo, ou seja, a regra *Swap*.

#### 4.5.7.2 Modelo Final da Dupla\_02

No quadro da rede da Figura 4.36 pode-se observar que o modelo final construído pelos estudantes dessa dupla é constituído de três regras: **Bounce**, **From Background** e **Roll**, construídas respectivamente nessa ordem. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se que:

**Regra Bounce** representa a interação entre dois objetos *Moléculas*;

**Regra From Background** representa a interação entre *Moléculas* e *Parede*,

**Regra Roll** representa o movimento das *Moléculas*

A maneira como a regra **Roll** foi construída não representava de forma correta o movimento aleatório das *Moléculas* gerando um movimento repetitivo das mesmas, sempre na mesma direção.

A regra **From Background** também não representava de forma correta a interação entre *Partícula* e *Parede*, uma vez que essa regra, apesar de ter sido construída de forma correta, não representa o evento de forma satisfatória, uma vez que a Dupla\_02, definiu *Parede* como *Objeto-Cenário* o que possibilitou a escolha do Evento *From Background* ao invés de *Bounce*.

A regra **Bounce** foi a construída de forma incorreta, ou seja, usando-se os objetos inadequados, duas *Moléculas*, para estabelecer o evento de *Bounce* “*bater e voltar*”.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído por essa dupla não possui nenhuma das três regras esperadas para esse modelo.

#### 4.5.7.3 Modelo Final da Dupla\_03

No quadro da rede da Figura 4.37 pode-se observar que o modelo final construído por essa dupla é constituído de três regras: **Bounce**, **Jum** e **Swap** construídas

respectivamente nessa ordem. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se que:

**Regra Bounce** representa a interação entre os objetos *Partícula* e *Parede*;

**Regra Jump** representa o movimento aleatório das *Partículas*;

**Regra Swap** representa a interação entre dois objetos *Partículas*.

Em relação a regra **Bounce**, esta foi construída a partir do objeto *Parede*, ao invés de ter sido construída a partir do objeto *Partícula*. Assim, a regra não representava, de forma correta, a interação entre *Partícula* e *Parede*, uma vez que, nessa construção a regra representa uma mudança de sentido do objeto *Parede* ao invés do sentido do objeto *Partícula*, como era esperado para essa regra.

As regras **Jump** e **Swap** foram construídas de forma correta, ou seja, foram utilizados os objetos adequados e estabelecido os efeitos adequados.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído por essa duplas possui todas as regras esperadas para esse modelo.

#### 4.5.7.4 Modelo Final da Dupla\_04

No quadro da rede da Figura 4.38 pode-se observar que o modelo final construído pela dupla é constituído de duas regras: **Bounce** e **Jump** respectivamente nessa ordem. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se:

**Regra Bounce** foi construída a partir do objeto *Gás*, utilizando o *Any-Object* que representa qualquer *Objeto* do mundo;

**Regra Jump** representa o movimento aleatório das partículas de *Gás*.

A regra **Bounce** construída tanto para representar a interação entre *Gás* e *Parede* quanto para representar a interação entre *Gás* e *Gás*, não representa de forma

correta essa última interação, uma vez que na interação entre dois Objetos Gás, os dois objetos devem mudar de sentido e não apenas um deles como representado pela regra *Bounce*.

A regra **Jump** foi construída de forma correta, ou seja, foram utilizados os objetos adequados e estabelecido o efeito adequado.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído pelos estudantes dessa dupla, possui duas das três regras esperadas para esse modelo, ou seja, a regra *Jump* e a regra *Bounce*. No entanto, apesar da regra *Bounce* representar de forma correta a interação entre *Gás* e *Parede*, ela não representa corretamente a interação entre dois objetos *Gás*.

#### 4.5.7.5 Modelo Final da Dupla\_05

No quadro da rede da Figura 4.39 pode-se observar que o modelo final construído pela dupla é constituído de duas regras: ***Bounce*** e ***Jump***, construídas respectivamente nessa ordem. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se:

**Regra *Bounce*** representa a interação entre *Partícula* e *Parede*;

**Regra *Jump*** representa o movimento aleatório das *Partículas*.

As regras ***Bounce*** e ***Jump*** foram construídas de forma correta, ou seja, foram utilizados os objetos adequados e estabelecido os efeitos adequados.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído por essa dupla possui duas das três regras esperadas para esse modelo ou seja, *Bounce* e *Jump*. No entanto, a regra *Swap* de interação entre dois objetos *Partículas* não foi construída, deixando modelo conceitualmente incompleto.

#### 4.5.7.6 Modelo Final da Dupla\_06

No quadro da rede da Figura 4.40 pode-se observar que o modelo final construído pelos estudantes dessa dupla é constituído de quatro regras: **Both Repel**, **Bounce**, **Repelled By** e **Jump**, construídas respectivamente nessa ordem. Observando-se as regras do modelo final separadamente, tem-se que:

**Regra Both Repel** representa a interação entre dois *Objetos Moléculas*;

**Regra Bounce** representa a interação entre o *Objeto Molécula* e o *Objeto-Cenário Parede da Sala*;

**Regra Repelled By** representa a interação entre *Molécula* e *Parede do Recipiente*;

**Regra Jump** representa o movimento aleatório das *Moléculas*.

A regra **Both Repel** não representa de forma correta a interação de dois objetos *Molécula*, uma vez que essa regra não representa o evento de colisão entre esses objetos: essa regra representa dois objetos *Molécula* se repelindo.

A regra **Bounce** apesar de ser a regra correta que representa de forma efetiva a interação entre os objetos *Molécula* e *Parede da Sala*, nesse caso específico está incorreta, uma vez que *Parede da Sala* é definido como *Objeto-Cenário*.

A regra **Repelled By** não representa de forma correta a interação entre o objeto *Molécula* e a *Parede do Recipiente*, uma vez que essa regra não representa o evento de colisão entre esses objetos: ela representa um objeto *Molécula* sendo repelida pelo objeto *Parede do Recipiente*. Além deste fato, o objeto *Parede do Recipiente* foi definido como objeto-cenário.

A regra **Jump** foi construída de forma correta, ou seja, foram utilizados os objetos adequados e estabelecido os efeitos adequados.

Dessa forma, constata-se que o modelo final construído por essa dupla possui uma das três regras esperadas para esse modelo, ou seja, *Jump*.

#### 4.5.7.7 Padrão Geral de Construção de Regras dos Modelos Finais das Duplas

Considerando o modelo descrito na seção 3.4 e os modelos finais de cada dupla pode-se estabelecer quais são as regras do modelo esperado que foram efetivamente construídas pelas duplas e estabelecer, dessa forma, algum padrão de frequência de construção das regras para a representação do modelo do sistema *Gás-Recipiente*.

Tabela 4.1: Regras Construídas pelas Dupla na Construção do Modelo

Regras	Dupla_01	Dupla_02	Dupla_03	Dupla_04	Dupla_05	Dupla_06
<b>Bounce</b>		X	X	X	X	X
<b>Swap</b>	X		X			
<b>Jump</b>	X		X	X	X	X
<b>Repelled By</b>	X					X
<b>From Background</b>		X				
<b>Roll</b>		X				
<b>Both Repel</b>						X

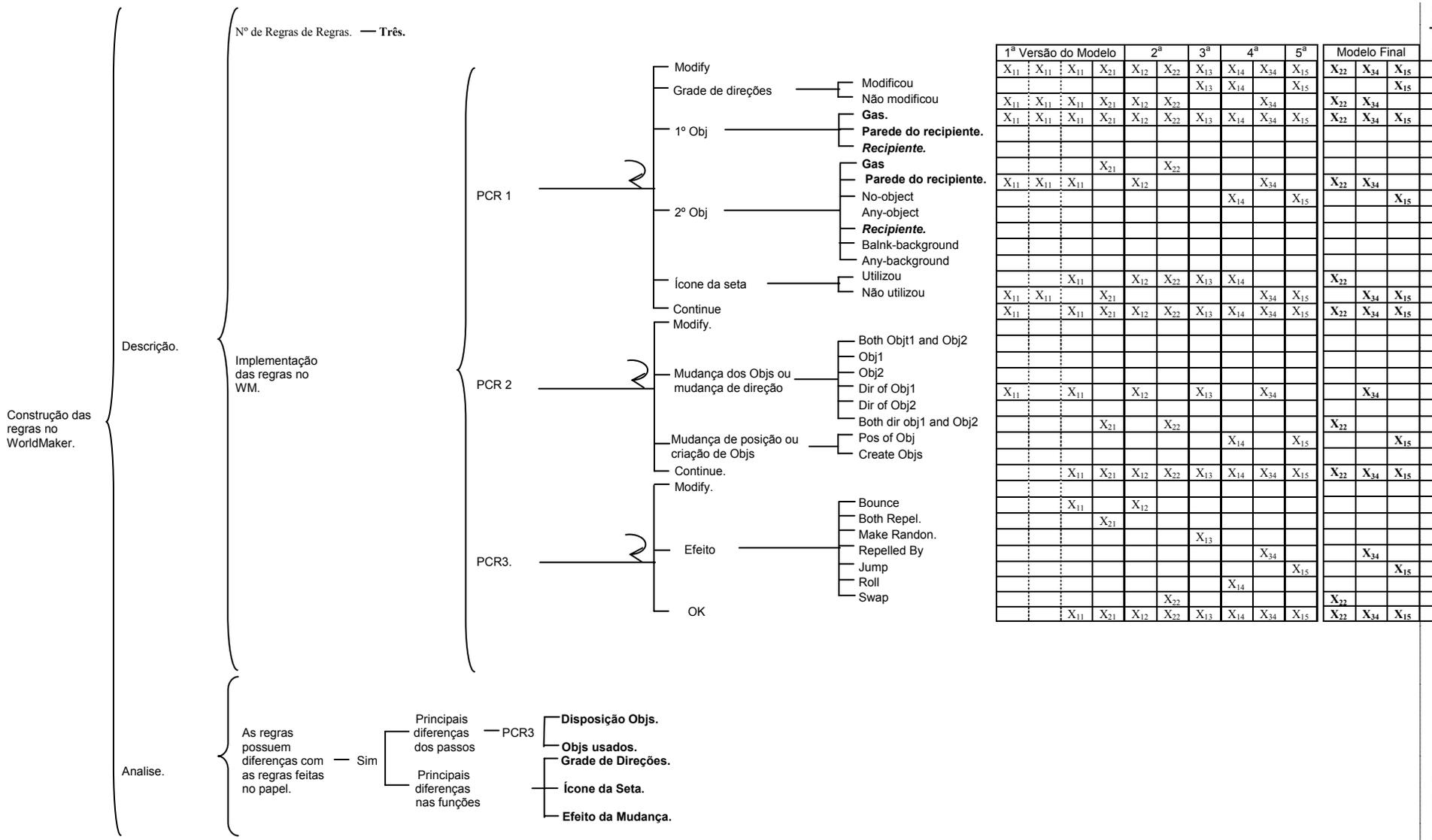
A partir da análise do modelo final de cada dupla tem-se quais delas construíram alguma regra para representar especificamente a interação entre os objetos que representam *Partícula do Gás* e *Parede*. Cabe ressaltar que a regra *Bounce* é a regra que representa de forma correta essa interação. Observando-se a Tabela 4.1 observa-se que as duplas 03, 04, 05 e 06 construíram a regra *Bounce* para representar a interação entre os Objetos *Partícula do Gás* e *Parede*. Contudo, a Dupla\_06 definiu dois *Objetos-Cenário* para representar as paredes do seu modelo construindo, além da regra *Bounce*, a regra *Repelled By* para representar essa interação. A Dupla\_01 também construiu a regra *Repelled By*. Por fim, tem-se que a Dupla\_02 construiu a regra *From Background* para essa interação.

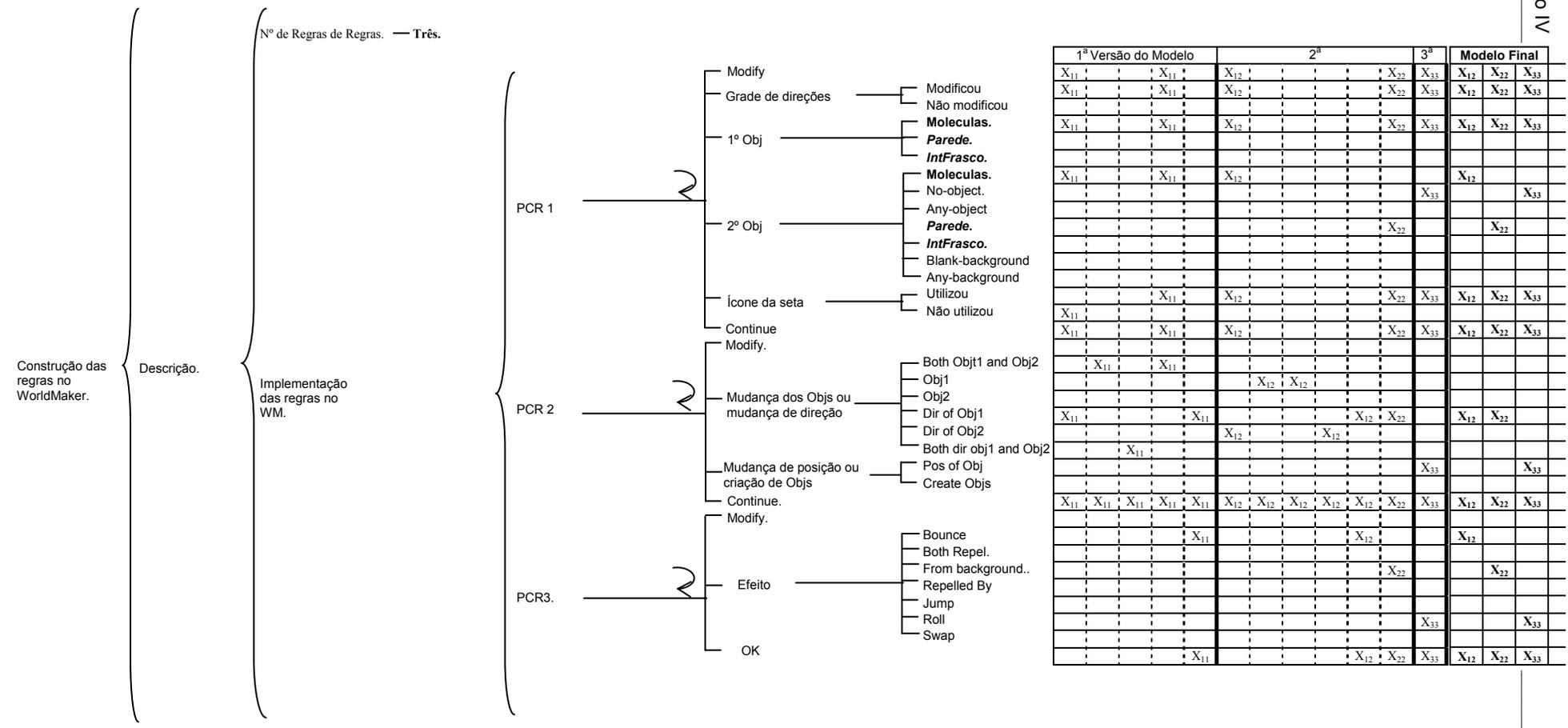
Para a regra que representa a interação entre dois objetos *Partículas de Gás*, cabe ressaltar que a regra que melhor representa esse evento é a regra *Swap*. Observa-se que as duplas 01 e 03 construíram a regra *Swap*, as duplas 02 e 04 construíram a

regra *Bounce*, a Dupla\_06 construiu a regra *Both Repel* e a Dupla\_05 não construiu nenhuma regra para representar essa entre dois objetos *Partículas de Gás*.

Para a regra que representa o movimento aleatório das *Partículas de Gás*, tem-se que a regra que melhor representa esse movimento é a regra *Jump*. Observa-se que, excetuando a Dupla\_02 que construiu a regra *Roll* para essa interação, as demais construíram a regra *Jump*.

Terminada a análise dos dados, o próximo capítulo apresenta a discussão e as conclusões desse estudo.





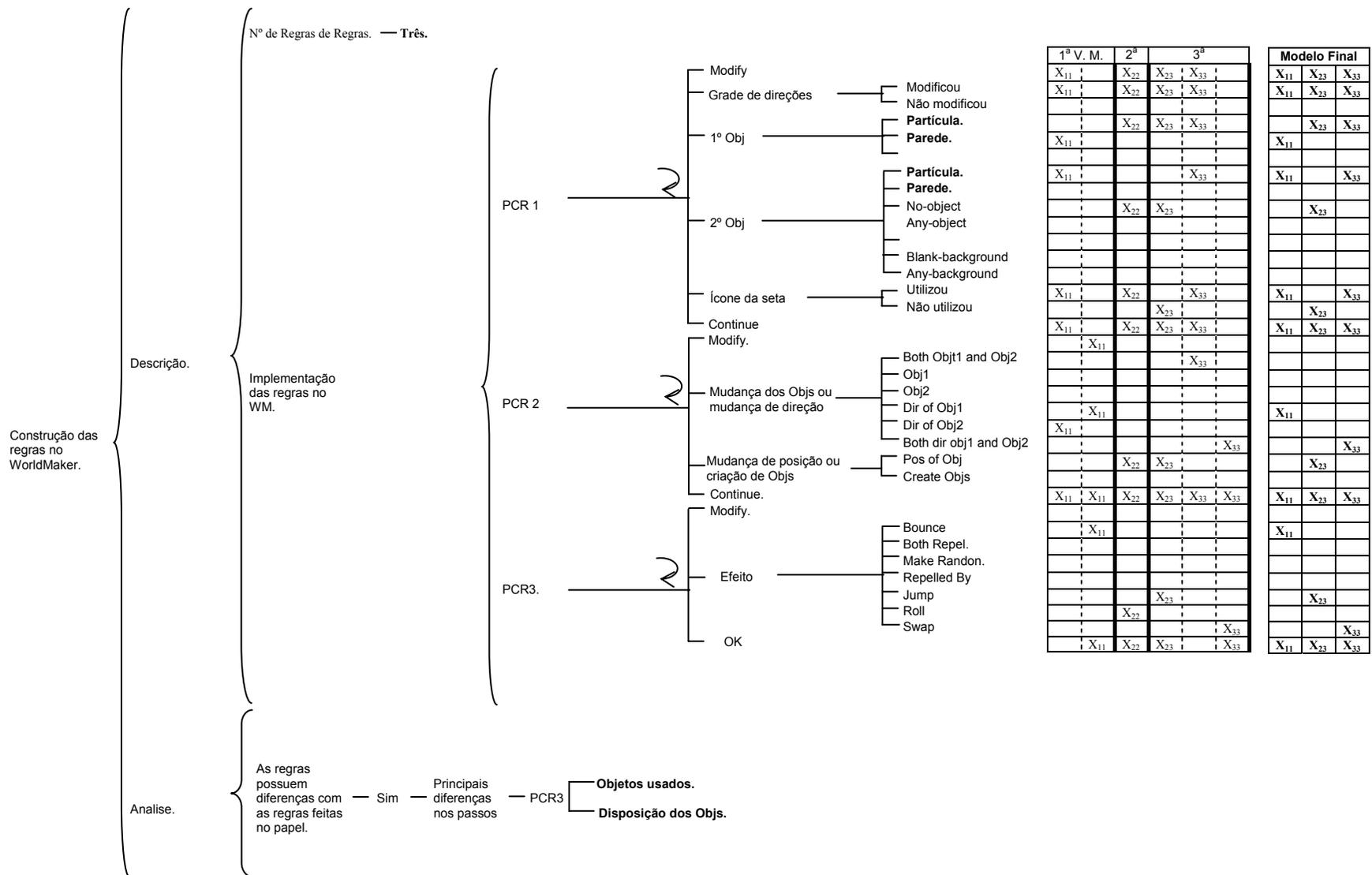


Figura 4.37: Rede Sistemática da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_03

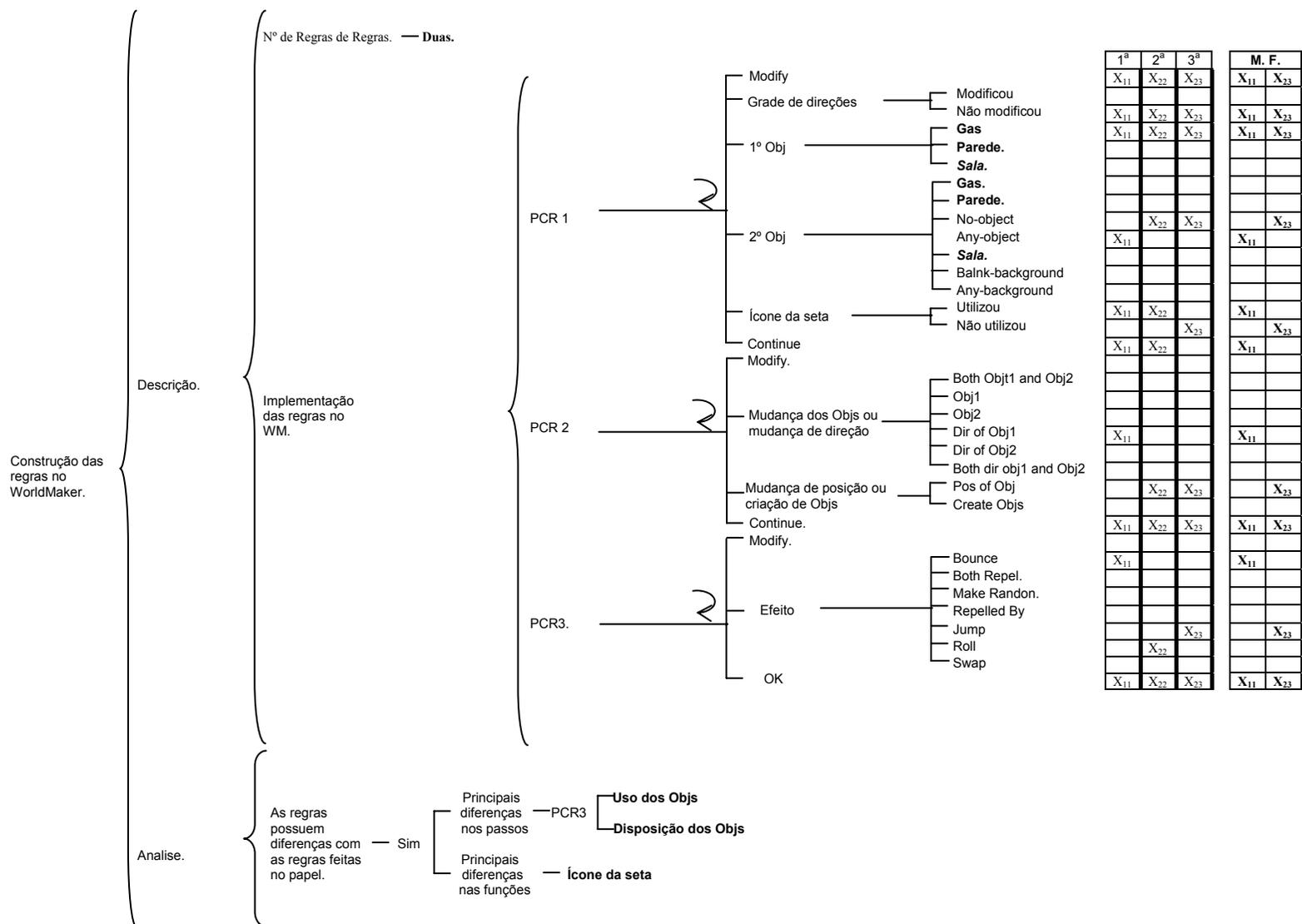


Figura 4.38: Rede Sistêmica da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_04

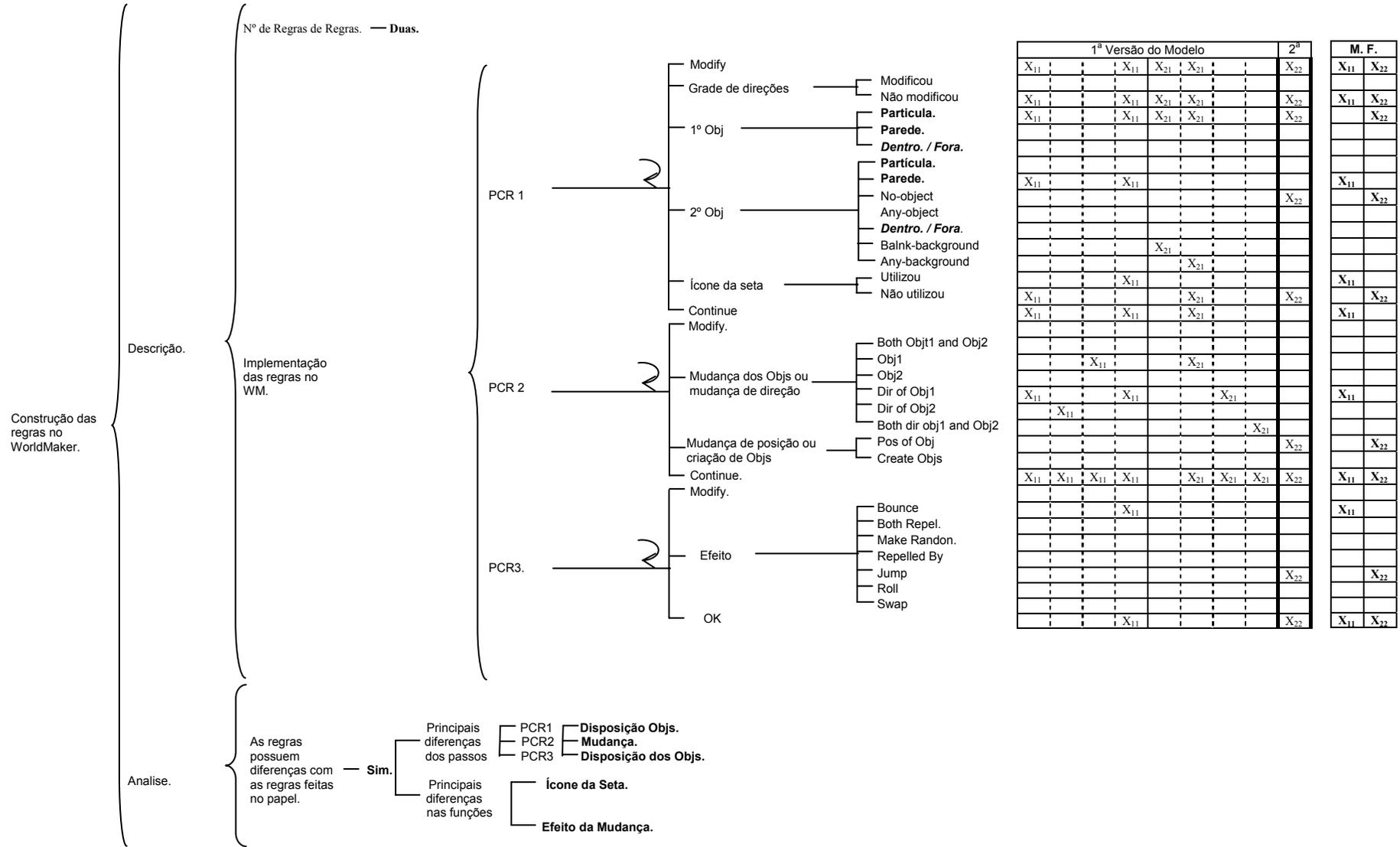


Figura 4.39: Rede Sistemática da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_05.

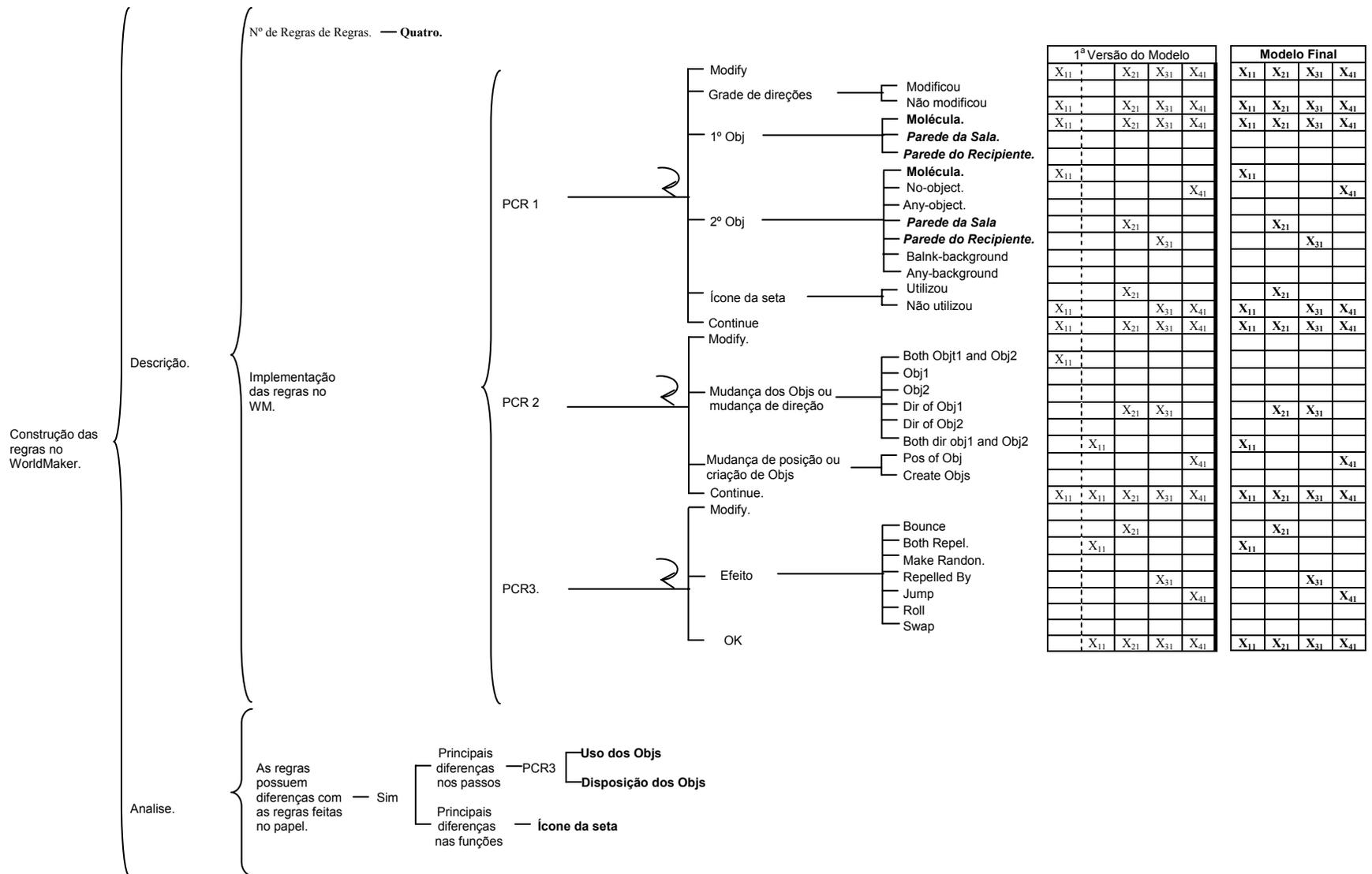


Figura 4.40: Rede Sistêmica da Construção das Regras no WorldMaker da Dupla\_06.

# Capítulo V

## Discussão e Conclusões

### 5.1 Introdução

Este capítulo apresenta a discussão e as conclusões da análise de dados exposta no Capítulo IV. As discussões e conclusões serão pautadas respondendo-se as questões básicas de pesquisa apresentadas no início do Capítulo III, as quais são transcritas abaixo:

1. Quais são os critérios utilizados pelas duplas para a listagem dos elementos importantes para o modelo do sistema *Gás-Recipiente* no Terceiro Passo de Construção de Modelos (PCM3)?
2. Em que aspectos os PCM5 e PCM6 contribuíram para os estudantes incorporarem o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais?
3. Quais as principais características da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído pelas duplas no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker?

4. Quais são os procedimentos adotados pelas duplas para implementar as versões finais dos modelos construídos no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker a partir das primeiras versões construídas?
5. Considerando o processo de implementação de regras no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker (PCM7):
  - 5.1 Quais foram as seqüências de alterações mais freqüentes observadas nos modelos até as suas versões finais?
  - 5.2 Como caracterizar as regras dos modelos finais em relação às regras do modelo esperado?

## 5.2 Respostas as Perguntas

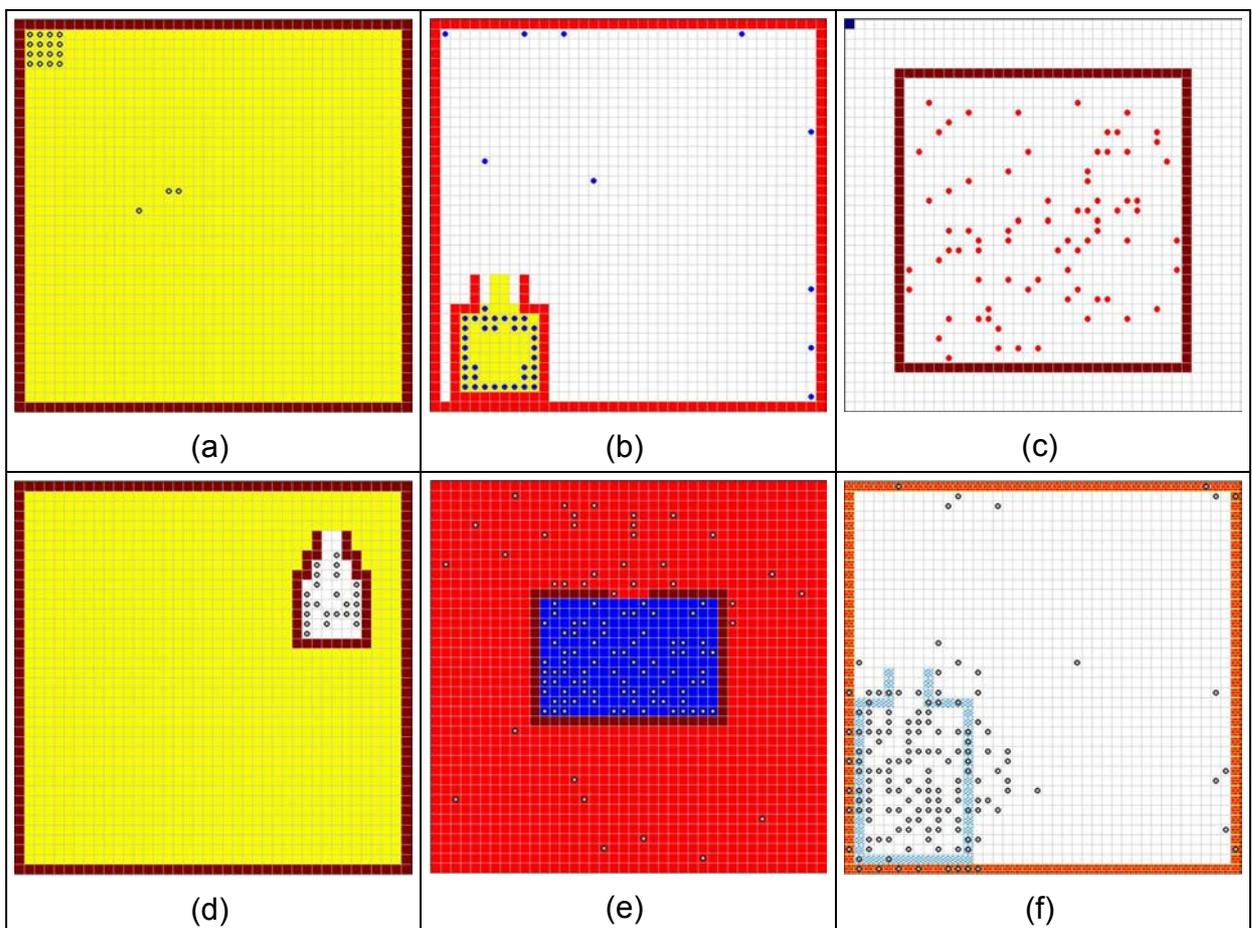
Nesta seção as questões básicas de pesquisa serão respondidas a partir dos resultados da análise dos dados deste estudo apresentados no capítulo anterior.

### 5.2.1 Quais são os critérios utilizados pelas duplas para a listagem dos elementos importantes para o modelo do sistema *Gás-Recipiente* no PCM3?

A resposta para essa questão é baseada na articulação de três aspectos. O primeiro aspecto são os **objetos definidos por cada dupla** e que são apresentados na Tabela 5.1, construída a partir do aspecto de *Número de Objetos do Modelo* e *Classificação dos Objetos*, da primeira rede de *Discussão das Regras no Papel* e sumarizados nas Figuras 4.7, 4.12, 4.16, 4.21, 4.25 e 4.29. O segundo aspecto, é a **disposição dos Objetos e Objetos-Cenário** construída pelas duplas na *grade dos mundo* no PCM7 e que são

apresentadas na Figura 5.1. E o terceiro aspecto são as **regras construídas pelos estudantes no PCM5** que serão transcritas a seguir.

A Figura 5.1 mostra como cada dupla construiu a disposição dos elementos listados no PCM3 na *grade dos mundos* no ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker no PCM7.



**Figura 5.1:** Disposições dos Objetos e Objetos-Cenário na Grade do Mundo  
(a) Dupla\_01, (b) Dupla\_02, (c) Dupla\_03, (d) Dupla\_04, (e) Dupla\_05 e (f) Dupla\_06.

Descrevendo, para cada dupla, quais foram os objetos listados no PCM3 e a partir dessa escolha observando quais desses elementos estão presentes na construção das regras no ambiente de modelagem será respondida a pergunta.

Tabela 5.1: Objetos Definidos por Cada Dupla no PCM3

Duplas	Partículas	Parede do Recipiente/ Frasco	Espaço dentro do Recipiente	Espaço dentro da Sala	Parede da Sala	Total
01	X	X	X			3
02	X	X	X			3
03	X	X				2
04	X	X		X	X	4
05	X	X	X	X		4
06	X	X			X	3

Para a Dupla\_01 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *Partículas*, *Parede do Recipiente* e *Espaço Dentro do Recipiente*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras foram: *molécula de gás* e *parede do recipiente*. Dessa forma, a Dupla\_01 não utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

#### Regras Construídas pela Dupla\_01 no PCM5:

- E1: “Se a *molécula de gás* (elemento gás) bater na *parede do recipiente* então ela volta em qualquer direção”
- E1: “Se o elemento gás colidir com outro elemento gás, então volta em qualquer direção”
- E2: “ Se *molécula do gás* bater na *parede*, ela volta em qualquer direção, ou se se bater em outra *molécula* também volta em qualquer direção”

Para a Dupla\_02 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *Partículas*, *Parede do Recipiente/Frasco* e *Espaço Dentro do Recipiente*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras foram: *molécula* e *parede do recipiente/frasco*. Dessa forma, a Dupla\_02 também não utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

#### Regras Construídas pela Dupla\_02 no PCM5:

- E1: “Se *molécula* encontra com outra ela segue direção oposta”
- E1: “Se *molécula* encontra um obstáculo (*parede do recipiente*) ela segue direção oposta”

E2: “*molécula batendo com outra: volta na direção oposta*”

E2: “*molécula bate no frasco ou na parede: volta na direção oposta (BATE E VOLTA)*”

Para a Dupla\_03 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *partículas, parede do recipiente/frasco*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras foram: *Partícula e Parede*. Dessa forma, diferentemente das duplas 01 e 02, a Dupla\_03 utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

#### Regras Construídas pela Dupla\_03 no PCM5:

E1: “*Se part. interage com parede, então partícula muda direção com 100% de prob*”

E1: “*Se partícula interage com partícula, então partícula muda direção com 100% de prob*”

E2: “*Se partícula interage com parede então muda de direção (100%)*”

E2: “*Se partícula interage com partícula então muda de direção (100%)*”

Para a Dupla\_04 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *Partículas, Parede do Recipiente/Frasco, Parede da Sala e Espaço Dentro do Sala*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras são: *gás e qualquer objeto*. Dessa forma, assim como as duplas 01 e 02, a Dupla\_04 também não utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

#### Regras Construídas pela Dupla\_04 no PCM5:

E1: “*SE gás se encontrar com qualquer objeto então reflete 100%*”

E1: “*SE o gás não se encontrar com nenhum objeto ENTÃO então continua o movimento*”

E2: “*Se o gás se encontrar com qualquer objeto então reflete 100%*”

E2: “*Se o gás não se encontrar com nenhum objeto não mudará a direção*”

Para a Dupla\_05 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *partículas, Parede do Recipiente/Frasco, Espaço dentro do Recipiente e Espaço Dentro da Sala*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras são: *partícula, parede, dentro e fora*. Dessa forma, assim como a Duplas\_03, a Dupla\_05

também utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

**Regras Construídas pela Dupla\_05 no PCM5:**

*E1: “Se **partícula** encontra **parede**, então ela volta”*

*E1: “Se **partícula** encontra **dentro**, então muda sua posição”*

*E1: “Se **partícula** encontra **fora**, então muda a direção”*

*E2: “Se a **partícula** encontra a **parede** ela então retorna”*

*E2: “Se a **partícula** encontra o objeto-cenário **dentro/fora** ela muda a posição”*

Para a Dupla\_06 observa-se na Tabela 5.1 que os elementos listados como importantes para a construção do modelo foram: *Partículas*, *Parede do Recipiente* e *Parede da Sala*. Da transcrição das regras construídas e listadas abaixo tem-se que os objetos utilizados na construção dessas regras são: *molécula*, *parede do recipiente* e *parede da sala*. Dessa forma, assim como as duplas 03 e 05, a Dupla\_06 também utilizou todos os elementos listados anteriormente como importante no PCM3 para a construção das regras do modelo.

**Regras Construídas pela Dupla\_06 no PCM5:**

*E1: “Colisões: **molécula–molécula**, **molécula–parede do recipiente** e **molécula–recipiente da sala**”*

*E1: “**moléculas** ocupando novos espaços”*

*E2: “Colisões: **molécula–molécula**, **molécula–paredes do recipiente** e **molécula–paredes da sala**”*

*E2: “**moléculas** ocupando novos espaços”*

A partir do que foi descrito para cada dupla observa-se que somente as duplas 03, 05 e 06 listaram apenas elementos que foram efetivamente utilizados na construção das regras no PCM5, enquanto 01, 02 e 04 listaram um número maior de elementos no PCM3 para a construção das regras.

Uma possível explicação para esse resultado é que esses elementos que não foram utilizados na construção das regras por essas três últimas duplas é que eles estariam sendo considerados como uma **contextualização** de um *lócus* onde os eventos ocorreriam, ou seja, *espaço dentro do recipiente* utilizado pelas duplas 01 e 02 e *espaço dentro da sala* pela Dupla\_04. De mesma forma, observando-se atentamente a Figura 5.1 pode-se notar que essas duplas usaram esses mesmos elementos para construir a

disposição dos elementos do modelo na *grade dos mundos* o que pode ser interpretado como uma corroboração de representações do contexto onde acontecem os eventos. É importante ressaltar que a Dupla\_01 considera todo o espaço disponível na *Grade do Mundo* como o recipiente.

Poder-se-ia argumentar que a Dupla\_05 também teria definido elementos para representar o *espaço do recipiente* – “dentro” e o *espaço da sala* – “fora”. Contudo, parece que, para essa dupla, a importância desses elementos é justificada não a partir da disposição dos elementos na grade do mundo para uma contextualização do local onde os eventos ocorrem, mas, sim para a construção das regras associadas ao movimento das partículas como pode ser observado na transcrição das regras dessa dupla.

Por fim, pode-se dizer que o critério utilizado pelos estudantes para a *listagem de elementos importantes* na construção do modelo do sistema *gás-recipiente* segue dois caminhos distintos. O primeiro, utilizado pelas duplas 03, 05 e 06, que consideraram como elementos importantes do modelo do sistema, apenas aqueles que seriam efetivamente utilizados na construção de regras para o modelo. O segundo critério, utilizado pelas duplas 01, 02 e 04, que consideraram importante não só elementos que seriam usados para se construir as regras, como também elementos que representariam o *locus* onde o evento ocorreria.

### 5.2.2 Em que aspectos os PCM5 e PCM6 contribuíram para os estudantes incorporarem o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais?

Para responder a essa pergunta, primeiramente será comparado o **número de regras** construídas em cada passo. Em seguida, será abordado o aspecto *Estrutura da Regra* do aspecto *Análise da primeira rede sistêmica* e, o aspecto *Semelhanças do PCM6 Com a Representação do WorldMaker* do aspecto *Análise da segunda rede sistêmica*. É importante lembrar que a Dupla\_02 não será considerada conforme explicado anteriormente na seção 4.3.1.2.2.

A Tabela 5.2 apresenta o número de regras construídas no PCM5 e o número de regras construídas no PCM6. Comparando-se esse número de regras observa-se que, excetuando a Dupla\_06 que construiu uma regra a menos do que havia construída anteriormente, as demais construíram o mesmo número de regras nos dois PCMs. Assim, no caso deste experimento, o PCM6 não favoreceu o surgimento de novas regras para o modelo.

**Tabela 5.2:** Comparativo Entre o Número de Regras Construídas no PCM5 e PCM6

Nº de Regras	Dupla_01	Dupla_03	Dupla_04	Dupla_05	Dupla_06
<b>PCM5</b>	2	2	2	3	4
<b>PCM6</b>	2	2	2	3	3

A Tabela 5.3 mostra os tipos de estruturas das regras construídas no PCM5 pela duplas na busca do formalismo da estrutura causal “*Se e Então*”. Apesar de não ser possível tecer considerações conclusivas no que diz respeito a comparações dessas estruturas com as estruturas das regras construídas no Ambiente WorldMaker, pelo fato da parcela *Então* da estrutura causal ser desdobrada em dois Passos de Construção de Regras no WordIMaker,  $PCR2 = \text{Tipo de Mudança} + PCR3 = \text{Resultado da Mudança}$ , é a partir da estruturação das regras escritas no PCM5 que os estudantes refletem sobre quais serão

as regras que eles consideram relevantes para a construção do modelo computacional do sistema *Gás-Recipiente*.

**Tabela 5.3:** *Variação das Estrutura de Regras Construídas pelas Duplas no PCM5*

<b>Estrutura das Regras</b>
[Objetos] [Evento]
[Evento] [Eobjetos]
<b>Se</b> [Objetos] <b>Então</b> [Evento]
<b>Se</b> [Objetos] [Evento]
<b>Se</b> [Objetos não] [não Evento]

As duas primeiras estruturas da Tabela 5.3 foram denominadas de estruturas de *Eventos* enquanto que as três últimas de estruturas *Geradoras de Eventos*. Embora a rede diferencie estes dois tipos de estruturação de regras que, exceto pela terceira estrutura, a rigor, não corresponde ao formalismo “*Se..Então*”, a partir da análise da argumentação dos estudantes nos excertos de transcrição de cada dupla, foi possível observar que essas estruturas representariam formas alternativas de representação da estrutura formal. O surgimento dessas variações puderam ser atribuído tanto a uma economia na escrita da regra quanto à uma possível dificuldade dos estudantes em escrever a regra no formalismo adequado.

Conforme apresentado na seção 3.2.2, a proposta em se incluir o **PCM6** foi o de auxiliar os estudantes a incorporar o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais. Nesse sentido, pode-se observar que a construção do PCM6 pelas duplas, mostradas nas Figuras 4.9, 4.18, 4.22, 4.26 e 4.31, apresenta características que podem ser associadas as regras implementadas no ambiente de modelagem. Dessa forma, pode-se concluir que esse passo promoveu a construção das regras em um formalismo próximo da ferramenta e, conseqüentemente, parece ter atingido seu objetivo.

Na Tabela 5.4 pode-se confirmar que todas as duplas construíram as regras no PCM6 apresentando alguma semelhança com as regras que seriam implementadas no ambiente de modelagem, sendo as duplas 03, 04 e 06 as que mais apresentaram características de semelhanças.

**Tabela 5.4:** *Semelhanças das Regras do PCM6 com as Regras Construídas no WorldMaker*

Semelhanças	D_01	D_03	D_04	D_05	D_06
Disposição dos objetos no PCR1	X	X	X	X	X
Uso do ícone da seta		X			
Modificação na grade de direções					
Escrita do PCR2	X	X	X	X	X
Disposição do objetos no PCR3					
Representação do efeito do PCR3		X	X		X

A partir das observações das Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 observa-se que o **PCM5** é o passo de construção de regras onde os estudantes listam as regras que consideram importantes e suficientes para a descrição inicial do modelo do sistema *Gás-Recipiente* ou seja, o PCM5 leva os estudantes a refletirem sobre o fenômeno para sua representação na forma de um modelo baseado em regras. Dessa forma, pode-se concluir que esses dois Passos de Construção de Modelo, foram complementares pois, enquanto o **PCM5** levou os estudantes a listarem as regras relevantes para descrever o fenômeno, o **PCM6** fez com que essas regras listadas fossem construídas dentro de um formalismo próximo ao do ambiente WorldMaker.

Nessa perspectiva, observa-se na Tabela 5.4 que as duplas que melhor estruturaram as regras no PCM6 foram as duplas 03, 04 e 06: essas duplas apresentaram menor dificuldade para implementar as regras do papel no ambiente WorldMaker, enquanto que a **Dupla\_05**, que não estruturou um bom PCM6, apresentou maior dificuldade na implementação das regras no ambiente WorldMaker. A Dupla\_01 que não estruturou as regras de forma satisfatória no PCM6 encontrou dificuldades apenas no começo da implementação das regras. Uma complementação a essa conclusão é o fato de que a

**Dupla\_02** não fez o PCM6 antes de implementar as regras no ambiente: essa dupla foi a que apresentou maior dificuldade na implementação dessas regras no ambiente de modelagem e foi a que construiu o modelo mais distante do modelo esperado no experimento. Esse fato corrobora a importância das duplas construírem no papel as regras do modelo dentro do formalismo do ambiente de modelagem a partir dos Passos de Construção de Modelos.

No entanto, no caso da **Dupla\_05** apesar de ter apresentado dificuldade na implementação das regras no ambiente de modelagem, construiu um modelo satisfatório o que indica que conseguiu superar essas dificuldades a partir da utilização da ferramenta. Em contrapartida, a **Dupla\_06** que não apresentou dificuldades em implementar as regras no ambiente de modelagem, não construiu um modelo satisfatório, uma vez que os elementos *Parede* foram classificados em *Objetos-Cenário*.

Por fim, analisando-se as duplas 05 e 06 pode-se concluir a partir das Figuras 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 e 4.40 na caixa ao lado do aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, que *saber utilizar a janela de edição de regras* antes da implementação das regras no ambiente de modelagem, não assegura a construção de um modelo satisfatório. Dessa forma, observa-se que mesmo que os estudantes apresentem dificuldades em implementar as regras no ambiente de modelagem, eles parecem aprender sobre a ferramenta quanto começam a utilizá-la: na medida que os estudantes começam a construir as regras na ferramenta, o número de tentativas para concluir uma mesma regra reduz, revelando um aprendizado sobre a caixa de edição de regras da ferramenta. Por fim, pode-se concluir que os PCM5 e PCM6 contribuíram para os estudantes incorporarem o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais, principalmente o PCM6. No entanto, esse aprendizado não garantiu a construção de um modelo computacional satisfatório no ambiente de modelagem para todas as duplas.

### **5.2.3 Quais as principais características da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* constuído pelas duplas no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker?**

A partir do aspecto, *Implementação das regras no WorldMaker*, da terceira rede sistêmica, *Construção das regras no Worldmaker*, apresentadas nas Figuras 4.11, 4.14, 4.20, 4.22, 4.28 e 4.32 construíu-se as Tabelas 5.5 e 5.6.

A Tabela 5.5 mostra os objetos definidos e classificados no PCM3 e PCM4 com os objetos selecionados e suas respectivas classificações no WorldMaker (PCM7) e a Tabela 5.6 mostra o número total de regras construídas no papel (PCM5) e o número de regras construídas na primeira versão do modelo no ambiente (PCM7).

Observa-se que apenas a Dupla\_04 definiu um número menor de objetos no ambiente de modelagem do que havia definido anteriormente no papel, escolhendo, no ambiente, um objeto a menos do que definido no papel. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que no papel essa dupla havia definido dois objetos *parede* e no ambiente definiu apenas um objeto para representar esses dois objetos *parede*. As demais duplas definiram o mesmo número de objetos no papel e no WorldMaker.

Da Tabela 5.5, também observa-se que as classificações dos objetos e objetos-cenário não se modificaram. Cabe resaltar que possíveis erros de classificação desses objetos no papel continuam a ser repetidos no ambiente de modelagem na construção da primeira versão do modelo, uma vez que as duplas parecem não refletir sobre essas classificações, apenas repetindo as classificações feitas anteriormente no papel como no caso das duplas 02 e 06.

**Tabela 5.5:** Comparação Entre os Objetos Definidos e Classificados no PCM3 e PCM4 Com os Objetos Escolhidos e Classificados no PCM7

<b>PCM3/PCM4</b>	<b>Objetos</b>	<b>Objetos-Cenário</b>
<b>Dupla_01</b>	Gás Parede do Recipiente	<i>Recipiente</i>
<b>Dupla_02</b>	Molécula	<i>Intfrasco</i> <i>Parede</i>
<b>Dupla_03</b>	Partícula Parede	
<b>Dupla_04</b>	Partículas do Gás Parede do Frasco Parede da Sala	<i>Sala</i>
<b>Dupla_05</b>	Partículas de Gás Parede do Recipiente	<i>Dentro</i> <i>Fora</i>
<b>Dupla_06</b>	Moléculas	<i>Parede da Sala</i> <i>Parede do Recipiente</i>
<b>PCM7</b>	<b>Objetos</b>	<b>Objetos-Cenário</b>
<b>Dupla_01</b>	Gás Parede do Recipiente	<i>Recipiente</i>
<b>Dupla_02</b>	Molécula	<i>Intfrasco</i> <i>Parede</i>
<b>Dupla_03</b>	Partícula Parede	
<b>Dupla_04</b>	Gás Parede	<i>Sala</i>
<b>Dupla_05</b>	Partícula Parede	<i>Dentro</i> <i>Fora</i>
<b>Dupla_06</b>	Moléculas	<i>Parede da Sala</i> <i>Parede do Recipiente</i>

Um terceiro aspecto a ser abordado é o número de regras construídas no papel e na primeira versão do modelo no ambiente WorldMaker mostrados na Tabela 5.6. Pode-se observar que, excetuando as duplas 01 e 06, a demais construíram um número **menor** de regras na primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* no ambiente de

modelagem do que o número total de regras construídas no papel. Este fato é corroborado por Ogborn (1999) que relata ter observado uma tendência inicial dos estudantes considerarem várias idéias, mas ao final construindo um número reduzido de regras no ambiente de modelagem.

**Tabela 5.6:** *Comparação Entre o Número de Regras Construídas no Papel Com o Número de Regras Construídas na Primeira Versão do Modelo Construída no WorldMaker*

Regras	D_01	D_02	D_03	D_04	D_05	D_06
PCM5	2	2	2	2	3	4
Primeira Versão no Ambiente	2	1	1	1	1	4

Dessa forma, as principais características da primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* constuído pelas duplas no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker são que houve uma tendência predominante em construir a primeira versão com o mesmo *Número de Objetos* definidos no papel, mantendo-se também a mesma classificação. Em relação ao *Número de Regras Construídas no Ambiente de Modelagem* houve uma tendência em construir um número menor de regras do que as consideradas no papel.

#### **5.2.4 Quais são os procedimentos adotados pelas duplas na modificação da primeira versão dos modelos construídos no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker para a obtenção dos modelos finais?**

A resposta para essa pergunta será baseada no aspecto de *Descrição* da terceira rede, *Implementação das Regras no WorldMaker*, mais especificamente no processo de construção de regras descrito no quadro-resumo anexado ao lado do aspecto, *Construção das Regras no Worldmaker*, nas redes sistêmicas apresentadas nas Figuras 4.11, 4.14, 4.20, 4.22, 4.28 e 4.32.

Observando-se o aspecto, *Implementação das Regras no WorldMaker*, da terceira rede sistêmica construída para as duplas, pode-se constatar que excetuando-se a dupla 06, as demais modificaram no, mínimo, uma vez a primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído no ambiente WorldMaker. Dessa forma, o objetivo é buscar descrever os possíveis procedimentos usados pelas duplas na modificação dessas primeiras versões até construírem as versões finais dos modelos. Para isso, será apresentado um breve resumo das modificações implementadas a partir da primeira versão dos modelos para cada dupla.

Para a **Dupla\_01**, observa-se que o modelo foi modificado **quatro vezes**.

**A primeira modificação** do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a primeira regra construída por eles, regra *Bounce*, considerando-a correta. Na Segunda, os estudantes analisaram a segunda regra construída, regra *Both Repel*, modificando-a para a regra *Swap*.

**A segunda modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes analisaram novamente a primeira regra construída, regra *Bounce*, modificando-a para a regra *Make Radon*. Dessa forma, nesse estágio o sistema ainda possui duas regras: *Make Radon* e *Swap*.

**A terceira modificação** do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, a regra *Make Radon* foi modificada para a regra *Roll*. Na Segunda, os estudantes incluíram uma terceira regra no modelo, a regra *Repelled By*. Nesse estágio o sistema possuía três regras: *Swap*, *Repelled By* e *Roll*.

**A quarta modificação**, feita em uma única etapa e, mais uma vez, a primeira regra foi modificada, *Roll*, foi alterada para uma regra *Jump*.

Assim, o modelo final era composto por três regras, *Swap*, *Repelled By* e *Jump*.

Para a **Dupla\_02**, observa-se que o modelo foi modificado **duas vezes**.

**A primeira modificação** do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a primeira regra construída por eles, regra *Bounce*, considerando-a correta. Na Segunda, os estudantes construíram uma segunda regra para o modelo denominada de *From Background*. Após essa primeira modificação o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *From Background*.

**A segunda modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma terceira regra para o modelo, a regra *Roll*.

Assim, o modelo final era composto por três regras, *Bounce*, *Fron Background* e *Roll*.

Para a **Dupla\_03** observa-se que o modelo foi modificado **três vezes**

**A primeira modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma segunda para o modelo, a regra *Roll*. Nesse estágio o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *Roll*.

**A segunda modificação** do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a regra *Roll*, modificando-a para a regra *Jump*. Na Segunda, os estudantes incluíram uma terceira regra no modelo, a regra *Swap*. Assim, o modelo final era composto por três regras, *Bounce*, *Swap* e *Jump*.

Para a **Dupla\_04** observa-se que o modelo foi modificado **duas vezes**.

**A primeira modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma segunda regra no modelo, a regra *Roll*. Após essa primeira modificação o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *Roll*.

**A segunda modificação** do modelo ocorreu mais uma vez em uma única etapa: os estudantes alteraram a regra *Roll*, modificando-a para *Jump*.

Assim, o modelo final era composto por duas regras: *Bounce* e *Jump*.

Para a **Dupla\_05** observa-se que o modelo foi modificado uma **única vez**.

**A primeira e única modificação** do modelo ocorreu com os estudantes incluindo uma segunda regra no modelo, a regra *Jump*.

Assim, o modelo final era composto duas regras: *Bounce* e *Jump*.

Para a **Dupla\_06** não houve modificação alguma na primeira versão do modelo

O modelo final construído por essa dupla no ambiente de modelagem era composto de quatro regras: *Both Repel*, *Bounce*, *Repeled By* e *Jump*.

A partir da descrição dos procedimentos usados por cada dupla para para implementar as versões dos seus modelos no ambiente WorldMaker foi possível observar que os procedimentos foram baseados na **análise** de regras e na **alteração** de regras já construídas, sendo que as duplas utilizam um total de 5 procedimentos:

- Análise da validade de regras já construídas;
- Alteração de uma regra por outra que representa a mesma interação no modelo;
- Alteração de uma regra por outra que representa uma interação diferente no modelo;
- Inclusão de uma regra que representa uma nova interação no modelo;
- Inclusão de uma regra que representa uma interação já construída no modelo

A Tabela 5.7 mostra os procedimentos utilizados por cada dupla para a modificação das primeiras versões dos modelos.

**Tabela 5.7:** *Procedimentos Utilizados Pelas Duplas Para Obtenção Das Várias Versões dos Modelos*

Procedimento	D_01	D_02	D_03	D_04	D_05	D_06
<b>Análise da validade de regras já construídas</b>	X	X				
<b>Alteração de uma regra por outra que representa a mesma interação no modelo</b>	X		X	X		
<b>Alteração de uma regra por outra que representa uma interação diferente no modelo</b>	X					
<b>Inclusão de uma regra que representa uma nova interação no modelo</b>		X	X	X	X	
<b>Inclusão de uma regra que representa uma interação já construída no modelo</b>	X					

Por fim, pode-se concluir que os procedimentos de modificação de versões de modelos do sistema *Gás-Recipiente* construídos no ambiente WorldMaker nesse experimento consistiu de **análise** e **alteração** de regras já construídas.

Pode-se observar que esses procedimentos utilizados pelas duplas não incluíram as possíveis alternativas de **inclusão**, **exclusão** de *Objetos* e *Objetos-Cenário* ou **alteração** das classificações desses elementos. Cabe ressaltar que, tivessem as duplas utilizado alguns desses procedimentos, elas teriam a possibilidade de ter produzido uma versão final do modelo adequada ao experimento: excetuando a versão final do modelo da Dupla\_03, as demais versões finais produzidas não possuíam o número adequado de *Objetos* e *Objetos-Cenário*. Além disso, as versões das duplas 02 e 06 não apresentaram as classificações correta em *Objetos* e *Objetos-Cenários* de alguns dos elementos considerados importantes.

### 5.2.5 Considerando o processo de construção de modelos no ambiente de modelagem computacional WorldMaker (PCM7) quais foram as seqüências de alterações mais freqüentes observadas nas diferentes versões dos modelos até a sua versão final?

As respostas para as duas últimas questões de pesquisa serão baseadas na Tabela 5.8 onde são mostradas todas as seqüências de implementação das regras no ambiente de modelagem de cada dupla através das diferentes versões dos modelos até sua versão final. Analisando-a pode-se ter que as variações mais freqüentes são:

- *Roll – Jump* → três vezes
- *Bounce – Bounce* → duas vezes
- *Both Repel – Swap* → uma vez
- *Bounce – Make Random* → uma vez
- *Make Random – Roll* → uma vez

Observa-se que, excetuando-se a análise da regra *Bounce* que ocorreu duas vezes e a alteração da regra *Both Repel* para a regra *Swap*, as outras alterações foram com relação às regras de movimento. Essa maior freqüência de alteração das regras de movimento pode ser explicada pelo fato de que o comportamento do modelo construído é diferente do comportamento do modelo esperado no caso do primeiro ter sido construído com a regra *Jump* ao invés da regra *Roll*. A menor freqüência de alteração das outras regras pode ser explicada pelo fato do comportamento do modelo construído ser aproximadamente semelhante ao do modelo esperado no caso do primeiro ter sido construído sem as regras *Bounce* e *Swap*. Dessa forma, conclui-se que a regra de movimento, para o modelo do sistema *gás-recipiente* é a mais modificada, sendo que sua construção correta foi feita com um maior número de acertos entre as duplas.

### 5.2.6 Considerando o processo de construção de modelos no ambiente de modelagem computacional WorldMaker (PCM7) como caracterizar as regras dos modelos finais em relação ao modelo esperado?

A resposta a essa pergunta será também baseada a partir dos modelos finais de cada dupla. Será feita uma análise dos modelos finais de cada dupla em comparação com o modelo esperado exposto na seção 3.4 e, em seguida, serão feitos comentários pertinentes ao longo de todo o processo de construção do modelo do sistema *gás-recipiente*.

**Tabela 5.8:** Seqüência de Implementação de Regras no Ambiente WorldMaker pelas Duplas

Dupla	1ª Versão	2ª Versão	3ª Versão	4ª Versão	5ª Versão
01	Bounce	Bounce	Make Radom	Roll	<b>Jump</b>
	Both Repel	<b>Swap</b>			
				<b>Repelled By</b>	
02	Bounce	<b>Bounce</b>			
		<b>From Background</b>			
			<b>Roll</b>		
03	<b>Bounce</b>				
		Roll	<b>Jump</b>		
			<b>Swap</b>		
04	<b>Bounce</b>				
		Roll	<b>Jump</b>		
05	<b>Bounce</b>				
		<b>Jump</b>			
05	<b>Both Repel</b>				
	<b>Bounce</b>				
	<b>Repelled By</b>				
	<b>Jump</b>				

A **Dupla\_01** construiu apenas uma das três regras esperadas para o modelo, *Swap*.

- A regra *Jump* foi construída de forma incorreta: o erro foi que a dupla desmarcou no PCR1 todas as possíveis direções da *Grade de Direções* gerando uma regra que não produz movimento.
- No caso da regra *Repelled By*, esta é usada para representar uma interação *Objeto-Objeto*, quando um objeto é repelido pela ação do outro em qualquer direção. Embora a visualização da simulação do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído com esta regra possa parecer semelhante à visualização do modelo construído com a regra *Bounce*, sua utilização nesse modelo está errada, uma vez que, neste caso, ela representa a *Partícula* sendo repelida pela *Parede* ao invés de representar a colisão entre esses dois objetos.

A **Dupla\_02** não construiu nenhuma regra de forma correta.

- A regra *From Background* é usada para representar uma interação *Objeto/Objeto-Cenário*, quando a direção do objeto é alterada pelo objeto-cenário. A utilização desta regra nesse modelo está conceitualmente errada, pois *Parede* deve ser classificada como *Objeto* não produzindo o efeito adequado.
- A regra *Bounce* é usada para representar uma interação *Objeto-Objeto*, quando um objeto colide com o outro sendo o primeiro remetido no sentido contrário. Embora a visualização da simulação do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído com a regra *Bounce* possa parecer semelhante à visualização do modelo construído com a regra *Swap*, sua utilização nesse modelo está errada, uma vez que, neste caso, apenas uma das duas partículas será remetida pela ação da outra ao invés de representar a colisão entre esses dois objetos.
- A regra *Roll* é usada para representar uma interação *Objeto/No-Object*, quando um objeto se desloca sempre na mesma direção, podendo seu sentido variar. A utilização desta regra nesse modelo está errada, uma vez que na interação

denominada *Movimento* neste estudo, a partícula movimenta-se aleatoriamente e não sempre na mesma direção, não produzindo o efeito adequado.

A **Dupla\_03** construiu duas regras esperadas para o modelo, *Swap* e *Jump*.

- A regra *Bounce* foi implementada a partir do *Objeto Parede* e não a partir do *Objeto Partícula*. Dessa forma, essa interação não representa a *partícula batendo na parede e voltando em sentido oposto* e sim a *parede batendo na partícula e voltando em sentido oposto*, não estando a regra correta.

A **Dupla\_04** construiu duas regras esperadas para o modelo, *Bounce* e *Jump*.

- A regra *Bounce* implementada representa tanto a regra *Bounce* quanto a regra *Swap* do modelo esperado, pois foi construída com o *Any-Object*. Sendo assim, a regra *Bounce* não representa de forma correta a regra *Swap*.

A **Dupla\_05** construiu duas regras esperadas para o modelo *Bounce* e *Jump*.

- A regra *Swap* não foi implementada no modelo.

A **Dupla\_06** construiu uma regra esperada para o modelo, *Jump*.

- A regra *Bounce* foi construída a partir de um objeto *Parede* classificado como *Objeto-Cenário* o que gerou uma regra errada, uma vez que deveria ter sido implementada com o elemento *Parede* classificado como *Objeto*.
- A regra *Both Repel* é usada para representar uma interação *Objeto-Objeto*, quando os dois objetos se repelem mutuamente em qualquer direção. Embora a visualização da simulação do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído com a regra *Both Repel* possa parecer semelhante à visualização do modelo construído com a regra *Swap*, sua utilização nesse modelo está conceitualmente errada, uma vez que, neste caso, ela representa as duas *Partículas* se repelindo mutuamente ao invés de representar a colisão entre esses dois objetos.

- A regra *Repelled By* é usada para representar uma interação *Objeto-Objeto*, quando um objeto é repelido pela ação do outro em qualquer direção. Embora a visualização da simulação do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído com a regra *Repelled By* possa parecer semelhante à visualização do modelo construído com a regra *Bounce*, sua utilização nesse modelo está conceitualmente errada, uma vez que, neste caso, ela representa a *Partícula* sendo repelida pela *Parede* ao invés de representar a colisão entre esses dois objetos.

A partir destes fatos conclui-se que nenhuma das seis duplas conseguiu construir uma versão final do modelo do sistema *Gás-Recipiente* inteiramente de acordo com o modelo esperado.

No entanto, pode-se classificar os modelos produzidos de acordo com sua proximidade com o número de regras do modelo esperado. Nesse sentido, conclui-se que os modelos que mais se aproximam do modelo esperado foram os das duplas 03, 04 e 05, com duas regras construídas de forma correta e o modelo mais distante foi o da Dupla\_02 com nenhuma regra correta. Os modelos das duplas 01 e 06 foram construídos com uma regra correta.

Por fim, cabe ressaltar quais foram os outros aspectos relevantes no processo de construção de modelos, além do número de regras construídas de forma correta. Nesse sentido, a partir da observação de todo o processo de construção de modelos desenvolvidos por cada dupla, serão apresentados fatores que, de certa forma, contribuíram para que nenhum dos modelos finais fosse construído de forma correta

**Em primeiro lugar** tem-se que uma definição incorreta do número de elementos que vão compor o modelo pode vir a se tornar um fator que pode prejudicar a construção do modelo. Nesse sentido, foi observado que, excetuando-se a Dupla\_03, as demais definiram um número de elementos maior do que o esperado. No entanto, para essas duplas observou-se que, excetuando-se a Dupla\_06 que construiu regras com esses

elementos que foram definidos a mais, para as demais esses elementos não constituíram como um fator prejudicial na construção do versão final dos modelos pois, esses elementos não foram utilizados na implementação de regras e sim como um contextualizador de lócus para os outros elementos que compunham o modelo.

**Em segundo lugar** foi a classificação dos elementos definidos para compor o modelo em *Objetos* e *Objetos-Cenário*. Nesse aspecto, observou-se que as duplas 02 e 06 classificaram de forma incorreta em *Objetos-Cenário* os elementos *Parede* dos seus modelos e, dessa forma, invalidou qualquer regra que tenha sido construída utilizando esses *Objetos-Cenários*. As demais duplas classificaram de forma correta todas os elementos do modelo.

**Em terceiro lugar** observou-se um outro fator que gerou dificuldades na implementação do modelo no ambiente de modelagem que foi a não construção de todas as regras importantes para descrever o modelo no papel, antes de sua implementação no ambiente de modelagem. Essa falta de identificação das regras importantes para a descrição do sistema foi observada para as duplas 01, 02, 03 e 05. Em contrapartida, excetuando-se a Dupla\_05, as demais duplas construíram as regras que não havia sido listadas anteriormente no papel no ambiente de modelagem.

**Em quarto lugar** observou-se que apesar das duplas terem construído algumas regras no papel no formalismo do ambiente de modelagem eles ainda encontram dificuldades relacionadas a janela de edição de regras. Nesse aspecto, observou-se que foram três as principais dificuldades relacionadas as janelas de edição de regras:

- Dificuldade em determinar em quais regras o *Ícone da Seta* seria usado;
- Dificuldade em diferenciar os conceitos de *direção* e *posição* para a implementação das regras no PCR2;

- Dificuldade em diferenciar os desenhos dos *Ícones de Efeito Final* do PCR3 devido a sua semelhança.

Apesar de todas essas dificuldades observadas na construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente* e a observação de que nenhum modelo construído nesse experimento está inteiramente correto, excetuando aos modelos das duplas 02 06, os demais modelos construídos apresentaram um comportamento visualmente semelhante ao comportamento do modelo esperado. Dessa forma, a modelagem no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker parece ser flexível a pequenos erros no processo de construção dos modelos pois, foi observado em quatro desses modelos um comportamento visual próximo do modelo esperado. No caso de ambientes de modelagem computacional semiquantitativo e quantitativo não é possível observar essa característica uma vez que, nestes tipos de ambientes, o comportamento dos modelos construídos dependem da especificação de relações matemáticas entre as variáveis consideradas relevantes. Caso uma destas especificações não seja estabelecida de forma *exatamente* igual ao modelo do especialista, o modelo não apresentará o comportamento esperado.

### 5.3 Avaliação do Material Instrucional

O material instrucional utilizado nesse estudo consistiu de uma apostila de *Introdução ao Ambiente de Modelagem WorldMaker* e uma *Atividade de Modelagem com o Ambiente WordMaker* disponibilizadas no Apêndice B. e foi baseado no material utilizado por Gomes (2003). No entanto, como o presente estudo teve o objetivo de analisar o processo de construção dos modelos desde a sua primeira versão escrita no papel até a sua versão computacional final com enfoque principal na análise da evolução das regras do modelo, foi necessário implementar um material instrucional específico para o estudo.

Assim, a partir dessa especificidade e das alterações sugeridas por Gomes (2003) na conclusão de seu estudo foi incluído um passo intermediário no papel que auxiliasse os

estudantes a incorporar o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais de seus modelos. Dessa forma, o material instrucional utilizado nesse experimento continha um passo a mais nos passos de construção de modelos, totalizando uma seqüência de nove passos. O passo intermediário acrescido foi o de construção de regras no papel representado pelo *Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)*. Além desta implementação, foi ainda adicionada na apostila uma seção detalhando a construção de regras no ambiente WorldMaker, com exemplos específicos de construção e exercícios exploratórios de orientação aos estudantes.

A partir dos resultados relatados é possível concluir que essas mudanças foram fundamentais para o presente estudo, uma vez que, além de ampliar o espectro de dados coletados, foi possível observar que com a inclusão do Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6) o desempenho dos estudantes na construção das regras no ambiente de modelagem computacional WorldMaker foi maior comparado com os resultados relatados por Gomes (2003).

Concluindo, pode-se dizer que é importante que o material apresentado aos estudantes para a construção de modelos no papel apresente características semelhantes as encontradas na ferramenta que será utilizada, uma vez que, além desse material oferecer um melhor comparativo entre os modelos, promove a redução da carga cognitiva relacionada ao aprendizado da ferramenta e conseqüentemente das dificuldades dos estudantes. Esta conclusão é extensiva a qualquer estudo que utilize a metodologia dos *Passos de Construção de Modelos*, apresentados nas seções 2.2.2 e 3.2.2. a partir da utilização de ambiente de modelagem computacional Qualitativo como o WorldMaker, Semiquantitativo como o WinkIt ou Quantitativo como no caso dos ambientes STELLA e Vensim citados na seção 2.3.

## 5.4 Trabalhos Futuros

Esse estudo teve o objetivo de investigar o *Processo de Modelagem Computacional (PMC)* através da análise dos *Passos de Construção de Modelos (PCM's)* desenvolvidos por estudantes universitários para o fenômeno de *Difusão de Gás* no Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo baseado na Metáfora de Objetos e Eventos denominado *WorldMaker*. O estudo analisa o processo de construção dos modelos desde a sua primeira versão escrita no papel até a sua versão computacional final com enfoque principal na análise da evolução das regras do modelo. A análise foi baseada em aspectos como escolha e classificação dos objetos, uso de conhecimento prévio, raciocínio com as regras, estrutura das regras, associação das regras construídas no papel com as regras construídas no *WorldMaker* na construção do modelo do sistema *Gás-Recipiente*. A partir dos resultados deste trabalho, surgem questões que apontam para o desenvolvimento de novos estudos e que podem ser sugeridos a partir do estabelecimento das observações feitas nas respostas as questões de pesquisa.

Uma questão que surge é como os estudantes entendem a natureza dos elementos que vão compor os seus respectivos modelos a partir da lógica do ambiente de modelagem computacional qualitativa *WorldMaker*, classificando-os como *Objetos* ou como *Objetos-Cenário*. Essa questão surge a partir da observação de que algumas duplas apresentaram dificuldades em classificar corretamente o elemento que representa uma parede no sistema *Gás-Recipiente* como *Objeto*, classificando-o, em alguns casos, como *Objeto-Cenário*, resultado também relatado por Gomes (2003). Assim, uma possível perspectiva de investigação seria estudar a classificação desses elementos de forma mais precisa buscando observar o que leva os estudantes a classificar um elemento de um determinado sistema de forma incorreta buscando, desse modo, alternativas para um melhor entendimento dos estudantes sobre essa classificação que poderiam incluir a busca de uma nomenclatura alternativa para se classificar os elementos do sistema.

Um estudo comparativo entre duplas pode ser uma possível abordagem futura. Essa perspectiva surge a partir da observação de que as duplas 03 e 04 construíram as

regras no PCM6 sem nenhum erro (Tabela 5.5), semelhantes ao formalismo das regras no WorldMaker e construíram modelos finais próximos ao modelo esperado da seção 3.4. Porém, no caso da Dupla\_05 que construiu as regras no PCM6 com vários erros, o modelo final construído no ambiente WorldMaker foi também satisfatório. Dessa forma, a construção de um modelo esperado parece não depender exclusivamente de como os estudantes dominam a lógica empregada na construção das regras no WorldMaker. Depende, também, do entendimento dos estudantes sobre o fenômeno e de suas habilidades em relacionar a esse fenômeno somente as regras necessárias para a representação do fenômeno, não precisando, necessariamente, destas regras estarem representadas no formalismo correto do ambiente. Dessa forma pode-se observar como cada um desses dois aspectos influencia a construção de modelos que apresentem comportamentos satisfatórios num ambiente de modelagem qualitativa, fazendo-se um estudo comparativo, onde em algumas duplas seriam desenvolvidas habilidades relacionadas a construção de regras no WorldMaker, deixando-se o entendimento do fenômeno em segundo plano e em outras duplas é privilegiado o desenvolvimento de entendimento do fenômeno para que essas duplas possam fazer uma melhor escolha das regras que irão compor o seu modelo, porém, deixando o desenvolvimento das habilidades de construção de regras em segundo plano e, desse modo, poder avaliar de forma mais precisa onde cada um desses dois aspectos influencia a construção de um modelo computacional satisfatório.

Uma outra questão de estudo surge a partir da observação de que, em determinados modelos, algumas regras parecem ser mais relevantes para representar o comportamento do que outras, como no caso do modelo de difusão de gases, onde se percebe um comportamento semelhante dos modelos construídos pelos estudantes com o comportamento do modelo esperado, mesmo com algumas regras estando construídas de forma incorreta. Dessa forma, poderia se estudar modelos onde observasse diferenças nítidas de comportamento, quando esses não possuem alguma de suas regras construídas de forma correta e observar se a construção desses modelos se o conjunto total de regras construídas de forma corretas é maior do que num modelo que

apresenta comportamento satisfatório mesmo não estando com todas as regras construídas de forma adequada.

Uma outra possibilidade a ser explorada no futuro são as possíveis formas de se alterar um modelo no ambiente de modelagem computacional WorldMaker. Os resultados dessa pesquisa mostraram que as duplas se concentraram principalmente na modificação das regras construídas para produzir o modelo final. Porém, existem outras formas de modificar o comportamento de um modelo e que não foram abordadas nesse estudo tais como, *alteração da probabilidade de ocorrência das regras, alteração da disposição dos Objetos e Objetos-Cenário na grade do mundo e alteração da classificação dos elementos do sistema*. Dessa forma, um estudo futuro poderia explorar algumas dessas possibilidades de alteração a partir da apresentação formal delas aos estudante.

Por fim, este estudo gerou resultados que contribuem para o delineamento e desenvolvimento de um Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo com design apropriado para a implementação de atividades de modelagem na perspectiva dos Passos de Construção de Modelos. Esta é uma perspectiva de trabalho promissora mas que demandará um maior investimento em recursos humanos e de tempo.

## Referências Bibliográficas

- BLISS, J. (1994) Causality and Common Sense Reasoning. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press. Cap 14, p. 117-127.
- BLISS, J., MONK, M., OGBORN, J. (1983) (Eds.) Qualitative Data Analysis for Educational Research A Guide to Uses of Systemic Networks. Cap 2 & 3 p 7-106
- BOOHAN, R. (1994) Interpreting the world with numbers: an introduction to quantitative modelling. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press. p. 49-58.
- BOOHAN, R. (1994) Creating Worlds from Objects and Events. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press, p. 171-79.
- BRUNER, J. S. (1978) A Importância da Estrutura In: *O Processo da Educação*. São Paulo, Companhia Editora Nacional, Cap. 2, p. 15-29.
- BRUNER, J. S. (1976) Notas Sobre uma Teoria da Aprendizagem In: *Uma Nova Teoria da Aprendizagem*. Rio de Janeiro: Bloch Editores S. A., Cap. 3, p. 47-60.
- BRUNER, J. S. (1995) On Learning Mathematics. In: *The Mathematics Teacher*. 88 (4): p. 305-330.
- CAMILETTI, G.G. (2001) A Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo de Tópicos de Ciência: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES.
- CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A. (2001) A Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(2): 214-28.

- CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A. (2002) A Utilização da Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo do Sistema Mola-Massa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 24(2): p. 110-123.
- CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A. (2003) A Utilização da Modelagem Computacional STELLA no Estudo do Sistema Mola-Massa. *Anais do IV Seminário sobre Representação e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem: Perspectivas da Modelagem em Ciências e Tecnologia para a Formação de Professores através do Ensino à Distância*. Vitória-ES, p.255-72.
- CARDOSO, R. P. & SAMPAIO, F. F. (2003) Trabalhando Gráficos Através da Modelagem Computacional Semiquantitativa. *Anais do IV Seminário sobre Representação e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem: Perspectivas da Modelagem em Ciências e Tecnologia para a Formação de Professores através do Ensino à Distância*. Vitória-ES, p.299-304.
- CLANSEY, W. J. (1998) The Role of Qualitative Models in Instruction. In: Self, J. *Artificial intelligence and human learning intelligent computer – aided instruction*. New York: Chapman and Hall Ltd. Cap3.b
- DOMINICINI, C.K. & FERRACIOLI, L. (2005) Introdução ao ambiente de Modelagem Computacional Vensim©. *Série Modelos 08-2005*. Vitória, Publicação Interna do ModeLab/UFES.
- FERRACIOLI, L. (1999) Aprendizagem, Desenvolvimento e Conhecimento na Obra de Jean Piaget: uma Análise do Processo de Ensino-Aprendizagem em Ciências. In: *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*. Brasília, v80, nº 194, p. 5-18, jan/abr.
- FERRACIOLI, L. (2004) A Integração de Ambientes Computacionais ao Aprendizado Exploratório em Ciências. Projeto de Pesquisa financiado pelo CNPq. Processo 30.4785/2004-0.
- FORRESTER, J. W. *System Dynamics: Adding Structure Rvelance to Precollege Education*, System Dynamics and Precollege Education, p.118-131.
- FORRESTER, J. W. (1994) Learning Through System Dynamics as Preparation for the 21<sup>st</sup> Centure. In: *Systems Thinking and Dynamic Modelling Conference for K-12 Education*, June, 27-29, 1994, at Concord Academy, Concord MA, USA. Disponível em: < <http://sysdyn.clexchange.org/people/jay-forrester.html> > Acesso em: 7 maio 2005.
- GOMES, T. & FERRACIOLI, L. (2003) A Abordagem da Aprendizagem em Física Através de uma Ferramenta de Modelagem Computacional Baseada na Metáfora de Objetos e Eventos: Uma Proposta de Estudo. *Anais do IV Seminário sobre*

*Representação e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem: Perspectivas da Modelagem em Ciências e Tecnologia para a Formação de Professores através do Ensino à Distância.* Vitória-Es, p.283-298.

FERRACIOLI, L. ; GOMES, T. (2005) A Utilização da Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo do Sistema Predador-Presa. *Revista Brasileira de Informática na Educação.* 12(3): No prelo.

GOMES, T. (2003) A Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo de Tópicos de Ciência: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES.

KURTZ do SANTOS, A. C. (2003) Idéias dos Estudantes Sobre Estruturas e Comportamentos Dinâmicos. *Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem,* Vitória-ES, 2003, p. 49-69.

LAW, N. & Tam, E.W.C. (1998) WorldMaker (HK) – An Iconic Modeling Tool for Children to Explore Complex Behaviour: *In: Paper presented at the International Conference on Computers in Education.* Disponível em: <<http://worldmaker.cite.hku.hk/worldmaker/pages/>> Acesso em: 02 maio 2005.

LAW, N. (1999) Making Physics Concepts Accessible and Explorable Using WorldMaker – an Iconic Modeling Tool. *In: Workshop Presented at the ICPT99, Guilin, PRC, 19-23/08/1999.* Disponível em: <<http://worldmaker.cite.hku.hk/worldmaker/pages/>>. Acesso em: 02 maio. 2005.

LAW, N., LI, S.C., LI, R. & TANG, P. (2000) WorldMaker: Making Collaborative Exploration of Complex Systems Accessible to Children. *In: Paper presented at the Global Chinese Conference on Computers in Education, Singapore.* Disponível em: <<http://worldmaker.cite.hku.hk/worldmaker/pages/>> Acesso em 02 maio 2005.

MELLAR, H. & BLISS, J. (1994) Introduction: Modelling and Education. *In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum.* The Falmer Press, London & Washington, D.C., 1994. Cap 1, p. 1-7.

MOREIRA, M. A. (1999) Teorias da Aprendizagem. *In: A Teoria de Ensino de Bruner.* São Paulo, E.P.U. Editora Pedagógica Universitária Ltda. cap. 5, p. 81-94.

NORMAN, D. A. (1983) Some Observations on Mental Models. *In: Mental models.* Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 365 Broadway, Hillsdale, New Jersey. Cap 1, pg. 7-15.

- OGBORN, J.; BOOHAN, R. & WRIGHT, S. (1992) *WorldMaker: A New Approach to Computer Modelling*. User Guide-London: Institute of Education University of London.
- OGBORN, J. (1999) Modeling Clay for Thinking and Learning. In Feurzeig, W & Roberts, N. *Modeling and Simulation Science and Mathematics Education*. New York: Springer-Verlag. p 5-37.
- OGBORN, J.& MILLER, R. (1994) Computacional Issues in Modelling. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Tompsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: The Falmer Press. Cap 5, p. 33-38.
- RIDGWAY, J. (1998) Of Course ICAI is Impossible... Worse Though, it Might be Seditious. In: Self, J. *Artificial Intelligence and Human Learning Intelligent Computer – Aided Instruction*. New York: Chapman and Hall Ltd. Cap 2.
- SAMPAIO, F.F. (1996) LinkIt: Design, Development and Testing of a Semiquantitative Computer Modelling Tool. Ph.D. Thesis, Department of Science and Technology, Institute of Education, University of London.
- SANTOS, A. C. K.; CHO, Y; ARAÚJO, I. S. & GONÇALVES, G.P. (2000) Algumas Possibilidades de Utilização dos Princípios de Sistema em Tópicos de Física com o ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17(1): 81-95.
- SANTOS, A. C. K. (1997) Students Modelling Environmental Issues. *Journal Of Computer Assisted Learning*. 13:35-47.
- SANTOS, A. C. K.; SAMPAIO, F.F. & FERRACIOLI, L. (2001) Um Experimento de Modelagem Dinâmica Semiquantitativa com a Utilização da Técnica dos Hexágonos. *Revista Brasileira de Informática na Educação*. 7(1): 21-35.
- TOMPSETT, C. (1994) An Introduction to Qualitative Modelling. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press, London & Washington, D.C. Cap 16, p. 145-152.
- WEBB, M. (1994) Learning by Building Expert Systems Models. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press, London & Washington, D.C. Cap 16, p. 162-170.

## **Apêndice A**

### **TRANSCRIÇÃO DOS DADOS DA DUPLA\_03 SOBRE O SISTEMA GÁS-RECIPIENTE**

Neste apêndice é apresentado um exemplar de transcrição do processo de construção do modelo do sistema gás-recipiente pela Dupla\_03.

Grande parte da análise desenvolvida nesta dissertação foi baseada nas transcrições feitas do processo de construção dos modelos de todas as duplas.

## Transcrição Dupla 03 Difusão de Gases.

### 1º Passo: Definição do sistema a ser estudado.

E1: *Um gás confinado num recipiente estando inicialmente localizado em uma região limitada a um dos cantos.*

E2: *Um gás confinado em um recipiente inicialmente confinado em um dos cantos.*

### 2º Passo: Escolha do fenômeno de interesse.

E1: *Comportamento do gás. Evolução temporal das partículas.*

E2: *Comportamento do gás, evolução temporal das partículas.*

### 3º Passo: Listagem dos elementos importantes.

E1: *Partículas e Parede.*

E2: *Partículas e Parede.*

### 4º Passo: Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objetos.

E1: *Partículas → Objeto.*

*Parede → Objeto.*

E2: *Partícula → Objeto.*

*Parede → Objeto*

**5º Passo: Construção das regras através das interações entre os elementos.**

E2: Olha só a partícula vai interagir com a parede e com outra partícula também +++

E1: As partículas vai interagir com as paredes e vai interagir com... Acho que a gente não vai ter essa opção então.

E2: Interagir com ela mesmo + acho que vai.

E1: Vai ter não!

E2: É igual a mesma coisa que a gente tava fazendo com a parede!

E1: Vai, mas o programa não tem recurso pra isso não + só pode botar dois ++ ou pode botar três?  
+

E2: Não a gente pode colocar aqui ó!

E1: Não, mas você não pode botar um elemento interagindo com si próprio +++...

E2: Coloca partículas vermelinhas e azulsinhas aí se coloca azulsinhas interagindo com vermelinhas que interagem/

E1: Pode criar várias né? + A tá! Isso mesmo, agora a construção das regras é ++ Se esfera, se partícula interage com parede partícula muda direção.

E2: Sim!

E1: É uma regra +++...Então... Com cem por cento de probabilidade.

E2: E a mesma coisa pra...

E1: Se partícula interage com partícula +++...

E2: Também cem por cento +++...

E1:

*Se part. Interage com parede, então partícula muda de direção com 100% de prob.*

*Se partícula interage com partícula então partícula muda direção com 100% de prob.*

E2:

*Se partícula interage com parede , então muda a direção (100%).*

*Se partícula interage com partícula então muda de direção (100%).*

**6º Passo: Construção de cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com a apostila.**

E2: É bolinha do lado é partícula do lado de partícula ou do lado de parede, não!

E1: Eu esqueci o que a gente fez pra bolinha anda e a parede não pode voltar pra olhar lá? +++...

E2: A sim estabelece o objeto pra olhar em todas as direções ou apenas numa direção específica? Tem que colocar tudo isso no papel se ele vai só numa direção ou se ele vai geral. Aleatório, eu posso escrever movimento aleatório? +++...

E1: É isso aí Mazioli!

E2: Movimento aleatório +++...Só essa condição inicial!

E1: Partícula ao lado de parede +++... atua na parede ++ c-o-l-o-c-a-r +++ pronto: partícula ao lado de parede quer dizer que... e tem que colocar aquela setinha em cima que é pra especificar que ele tem que seguir a direção!

E2: Não deve seguir!

E1: Não, a setinha em cima é seguir a direção!

E2: Não, mas a gente não quer, a gente quer o movimento aleatório!

E1: Mas o movimento aleatório não é determinado por aquela setinha /

E2: É determinado por aqui ó ++ A não! Sim é seguir a direção tá certo é verdade ++

E1: Não é isso? +++...Isso determina que o objeto olhe em todas as direções, colocar seta que determina que o objeto olhe em todas as direções +++... Passo dois determinar... O passo dois determina d-i-r-e... mudança não é?

E2: Sim! ++ se vai mudar então é só a bola a partícula!

E1: É determinar mudança apenas de direção da partícula +++... mudança apenas na direção da partícula +++... A é a gente vai fazer duas regras né?

E2: É essa aqui é só pra parede +++... Passo três resultado da mudança, bate e volta né? ++

E1: É! Determinar o efeito né?

E2: Aí já é o resultado!

E1: Passo três determinar o efeito.

E2: O resultado é bater e voltar, qual é o resultado?

E1: Não, mas se vai ter que determinar isso lá no computador!

E2: A sim tem a setinha lá!

E1: Sim que determina o efeito de bate e volta +++...

E2: Mesma coisa que o de cima +++...

E1: Só que no passo dois é diferente né?

E2: É aí as duas vão mudar de direção!

E1: Os dois são objetos né! +++... Determinar mudança em ambos +++...

E2: Só que aqui nesse último ele pode ++ ele pode bate e para e pode bate... eu posso selecionar mais de um?

E1: Bate o volta ++ mas ele não vai bate e para ele vai bate e refletir!

E2: Mas pode bate e para se eles tiverem aqui ó!

E1: Tá ficando doido Maziolli, duas partículas vai bate e para!

E2: Pode qual que é o problema? O mundo é meu!

E1: Seu mundo tá ficando meio fora do real +++... partícula do gás não bate e para não, senão o gás vai solidificar, se você abaixar a temperatura/

E2: O mundo é meu!

E1: Fala sério vamo fazer isso lá no computador agora!

5º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
Partícula ao lado da parede, colocar setas que determinam direções aleatórias para os objetos.	Determinar mudança apenas na direção da partícula.	Determinar o efeito de bater e voltar $\leftarrow$
Partícula ao lado da partícula, colocar seta para det. direções.	Determinar mudança em ambas as direções. (2 objetos)	Determinar o efeito do bater e voltar.

6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.

Passo 1 (Condição Inicial)	Passo 2 (Tipo de Mudança)	Passo 3 (Resultado da Mudança)
1ª → movimento aleatório. → Partícula ao lado da parede.	→ mudanças de direção da partícula.	→ Bate. V. P.
2ª → movimento aleatório. → partícula ao lado de partícula	→ mudanças de direção de ambos =	→ Bate volta

E1:

Figura 1: Construção das Regras no PCM6, Dupla\_03.

## 7º Passo: Representações das interações no ambiente WorldMaker e simulação.

### Seleção dos Objetos e Objetos-Cenário.

E2: Primeiro constrói e coloca os objetos.

E1: Objetos, escreve aí partícula +++...

E2: Coloca uma outra também ++ uma azulsinha e uma vermelinha!

E1: Não rapaz só uma, vai botar um tipo de partícula só e vai interagir com si própria batendo e voltando.

E2: Ela pode interagir com si própria +++...

E1: Agora a parede + recipiente bota aí.

E2: A colocar parede logo +++...



Figura2: Objetos Selecionados pela Dupla\_03 no WorldMaker.

### Construção das regras e disposição dos Objetos e Objetos-Cenário na grade dos mundos

E2: Vamos fazer as regras aqui primeiro, vamos lá +++... se tem que fazer a regra a partir da partícula, pois a parede vai ficar parada ++

E1: O que?

E2: Selecciona a partícula, clica aí ++ Modify +++...

E1: Poderia ser/

E2: Não qual é a regra da parede, ela tá parada!

E1: Não olha só vamo clica aqui só pra ver rapidinho +++... mesma coisa!

E2: Não, sim!

E1: Ó vai aparecer tudo aqui mesmo!

E2: A tá! Pode ser

E1: Tanto faz

E2: Eu acho que ++ não sei!

E1: Tanto faz Maziolli ++ Ó vou botar assim+++... Agora vou botar a setinha Maziolli ++ continua +++ O agora só vai mudar a direção, vai mudar a direção ++ dá partícula, direção of partícula, só a partícula vai mudar a direção não ambas?

E2: Partícula/

E1: A gente não vai mudar a partícula, ela não vai se transformar em uma outra coisa, ela vai mudar de direção, direção da partícula.

E2: A tá!

E1: Continua, quando muda a partícula é aquele negócio, quando tigre se transformou em coelho, entendeu? +++...

E2: Efeito ++

E1: Não deu cara! +++... Cliquei duas vezes lá e sumiu ++

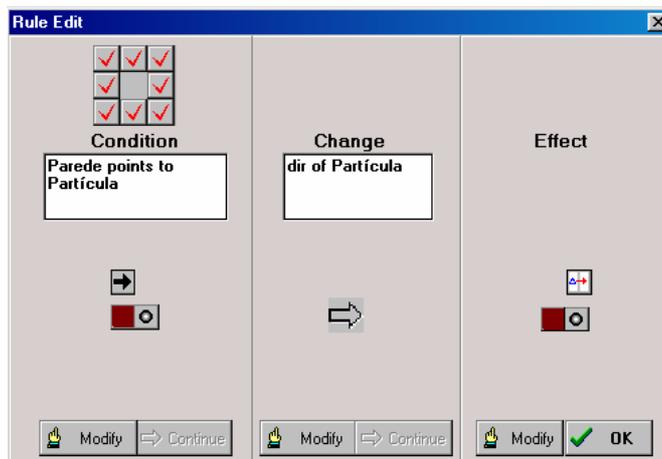


Figura3: Primeira Tentativa de Construção da Primeira Regra no WorldMaker.

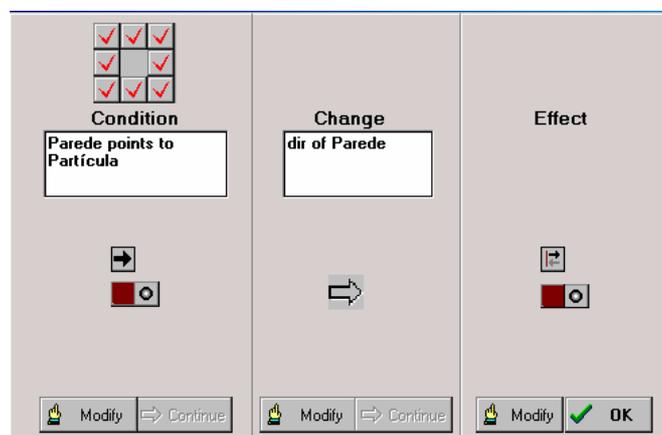


Figura4: Construção da Primeira Regra no WorldMaker.

E1: É Mazioli acho que é isso aí cara ++ Ok +++....

E2: Agora vamo fazer pra ela também se movimentar.

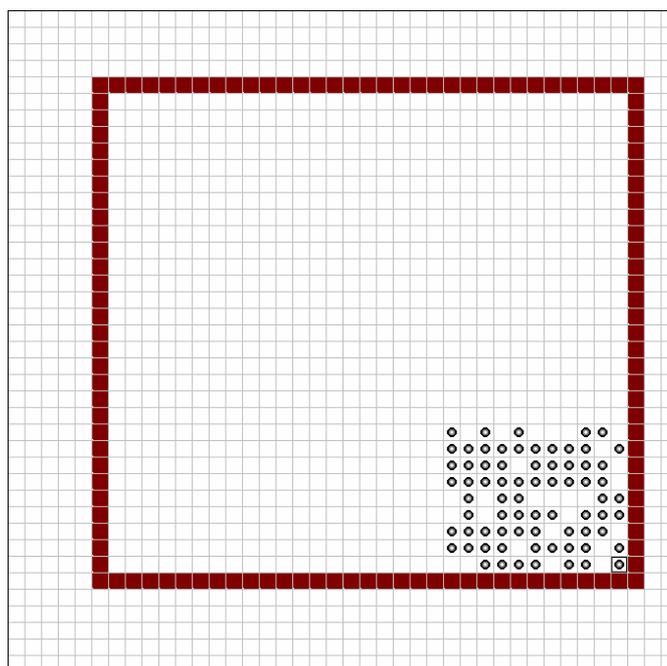
E1: Mas já tá feito +++ a parede né +++... agora a bolinha ++ aleatória só no cantinho +++...

E2: Aumenta a densidade aí vai!

E1: Pode ser +++ bota um pouquinho mais aqui!

E2: Que que se tá fazendo?

E1: Botei pra andar



**Figura5:** *Disposição dos Objetos na grade do Mundo.*

E2: Não, não se tem que fazer ela se movimentar também!

E1: Mas a gente não definiu isso lá atrás?

E2: Não + se definiu a interação dela com a parede!

E1: A é/

E2: Se tem que definir ela com o espaço vazio, se lembra? Espaço vazio ela toma o lugar ++

E1: Mas antes a gente não fez isso e ela não adquiriu movimento também, por que ela não pegou movimento agora!

E2: Não ela adquiriu movimento por que a gente fez aquelas relações aqui +++ vai clica aqui.

E1: Fez uma já agora vamo fazer a outra/

E2: Tanto faz fazer em baixo ou em cima, faz aí mesmo, vai Modify ++ vai coloca aqui o espaço vazio ++ é vazio em cima ++

E1: Não Mazioli a gente definiu isso antes lá

E2: Não! Se definiu a interação/

E1: A gente não boto as duas + depois a gente não boto que a bolinha ai mudar de direção +

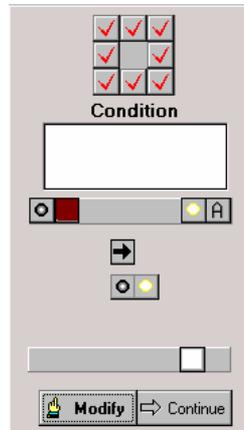
E2: Não mas se só vai mudar de direção quando tá interagindo com a parede Paulo. Aqui ela tá interagindo, ela tem que interagir com o espaço vazio ++ Se tem que tá /

E1: Vai vai! Manda ver.

E2: Continua aí, pera aí em cima tinha que fazer alguma coisa?

E1: Acho que não é por aí não +++...

E2: Cadê o exemplo? +++...



**Figura6:** PCR1 da Construção da Regra de Movimento.

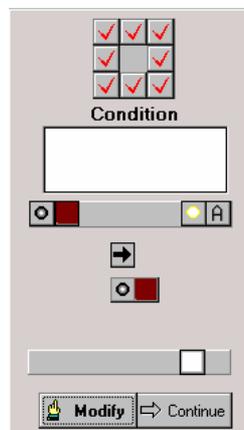
E1: Tem que ter setinha! A gente não boto?

E2: Tem que ter a setinha porque é aleatório!

E1: Nós botamos isso antes!

E2: Ou não?

E1: Como é que a gente volta naquele, é esse aqui? ++ a gente vai modificar, a gente vai mexer no mesmo ++ olha só vou botar esse aqui que é a parede, bota a setinha /

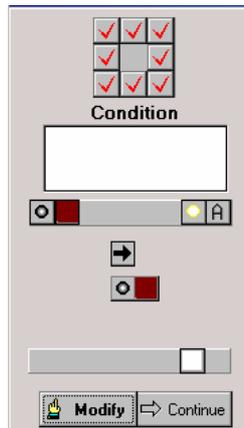


**Figura7:** PCR1 de uma nova regra Bounce.

E2: Não Paulo aquilo que a gente fez primeiro você colocou aqui na parede/

E1: Mas tá os dois /

E2: Mas se criou, mas se já criou essa daqui aqui na parede, fecha que vê, fecha aqui da Close, agora clica em cima da parede pra você vê se não vai aparecer aqui + aqui ela +++... se tem que definir com o que ela vai interagir ++ se tá fazendo isso de novo por que Paulo, já fez isso!



**Figura8:** PCR1 de Uma Nova Regra Bounce

E1: Pra ter na segunda agora ++

E2: Mas se já fez essa interação dela com a parede!

E1: Então por que, que ela não tá andando + interagindo!

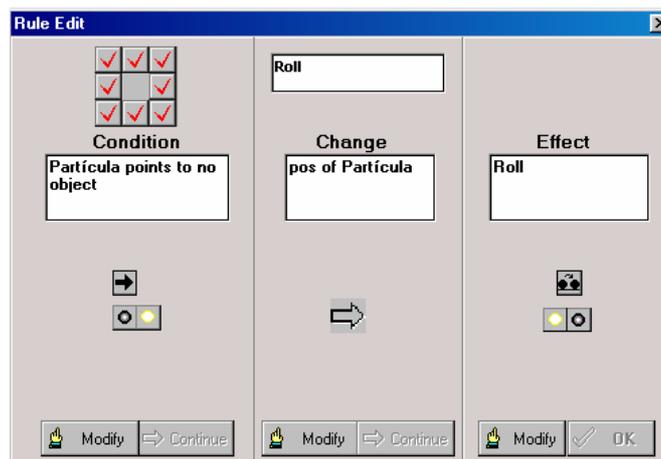
E2: É por que ela tem que interagir com nada, você tem que dizer que ela tem que andar, por exemplo até agora se tá falando que ela tá parada ela tem que ir, por exemplo /

E1: Vai vai Maziolli +++... se não precisa fazer isso não pra ela andar, antes a gente fez uma vez só!

E2: Não, fez isso aqui tbm.

E1: No exemplo a gente fez uma vez só

E2: Não acho que não +++...



**Figura9:** Construção da Regra Roll

E1: Que você fez aí?

E2: Aquilo que te falei!

E1: O que?

E2: Aqui ó +++ só porque que aqui ela só pegou poucas? Setinha é a direção dela! ++ como eu modifico? Vem aqui né, Modify, aí tem que construir tudo de novo?

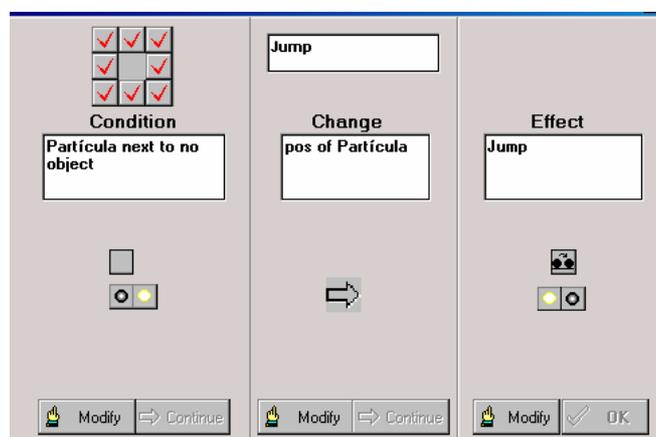


Figura10: Construção da Regra Jump

E1: A rapaz se tem que, então não precisava desse segundo não, no primeiro se faria isso!

E2: Mas é o que eu tava te falando rapaz! ++

E1: Olha só, olha só Maziolli ++ olha só + como é que a gente elimina esse aqui? ++ esse negócio aqui? +++ pego esse aqui +++... aí nós estávamos com esse aqui, esse né? /

E2: Não, não aí se vai modificar /

E1: Modificar /

E2: Aí se vai modificar a interação...

E1: Modificar é nada, nós vamos modificar tudo aqui! + não vamos botar a setinha! ++ um só foi suficiente aquela hora, porque não vai ser agora?

E2: Não foi Paulo, se fez dois cara ++ posso abrir o outro ali só pra mostrar pra ele ++ tá vendo se fez duas regras, uma a gente fez a interação da parede com a bolinha que é essa que você já tinha feito e a outra é a interação dela pra dizer ó vai pra frente!

E1: É né! Maziolli então faz o seguinte, o que se fez aqui?

E2: Modify, espaço vazio, isso! Continue, não sem setinha aleatório ++ pos of partícula isso!

E1: A tá!

E2: Continue lá em cima, dá Ok ++ Close

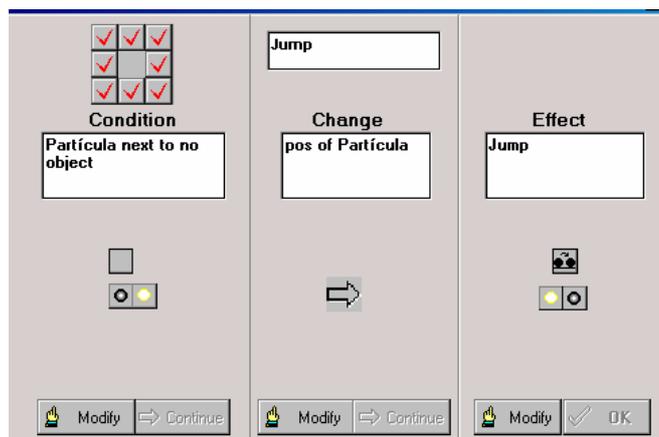


Figura11: Segunda Construção da Regra Jump

E1: Então vai ter que fazer outra agora!

E2: Agora você vai ter que fazer a interação da parede que você apagou ++

E1: Apaguei!

E2: Não, tá aí!

E1: Tem que fazer mais uma agora

E2: Agora tem que fazer a interação dela com ela mesma +++... sem setinha ou com setinha? +++

Ela tem que bater na direção em que ela tá indo, então é com setinha lógico!

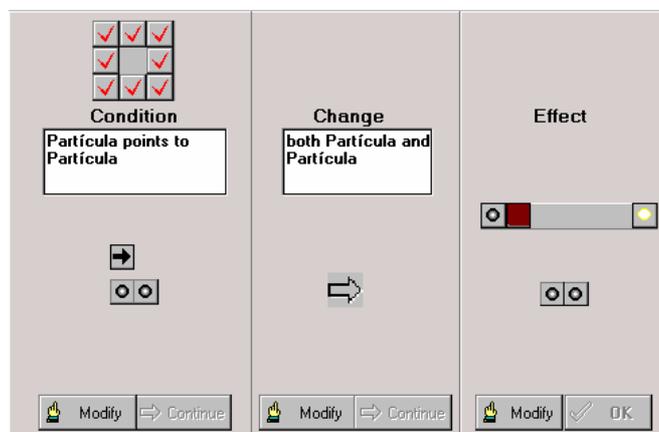
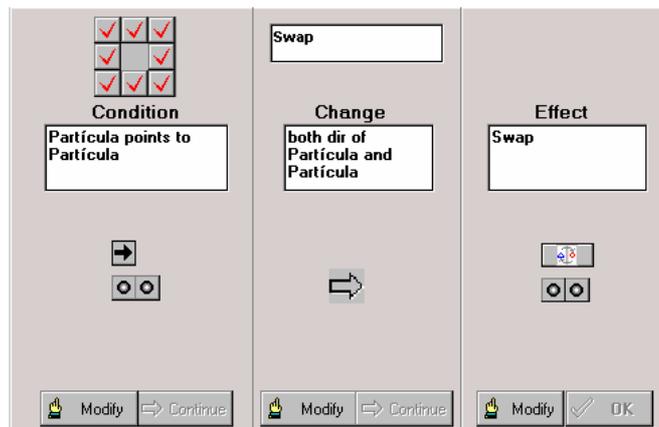


Figura12: Tentativa de Construção da Regra Swap

E1: É aqui!

E2: Só apareceu esse dá Ok! +++...



**Figura13:** Construção da Regra Swap

### 8º Passo: Simulação.

E1: Tá vendo uma bater na outra aí? Vou diminuir a velocidade +++... é elas tão batendo uma na outra mesmo!

E2: Só que elas tão batendo de frente?

E1: Elas batem do jeito que tiver +++... vamos voltar naquela configuração do começo +++...

E2: Ohhh!!!

E1: Olha o gás se difundindo ++ ele se difunde a vida inteira mas a gravidade puxa ele pra baixo, isso ele não tá vendo não!

E2: É pra mim /

E1: Será que com tempo a densidade aqui vai ficar igual aqui +++ vai não +++... é por que aqui elas se chocam mais aí elas vem pra cá +++...

### 9º Passo: Validação do modelo

E2: E aí Paulo se acha que é isso mesmo?

E1: É isso aí cara! +++... ficou homogêneo agora

## **Apêndice B**

Neste apêndice é apresentado o material instrucional utilizado para a coleta de dados que é constituído dos Módulos 1 e 2.

O Módulo 1 apresenta uma introdução ao estudo da Metáfora dos objetos e Eventos e ao Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.

O Módulo 2 apresenta a atividade de modelagem exploratória desenvolvida para este estudo. Ela é constituída de um texto sobre o sistema em questão e de passos para a construção do modelo no papel e no ambiente de modelagem.

# INTRODUÇÃO AO AMBIENTE DE MODELAGEM WORLDMAKER

Dupla: \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## 1. Visão do Mundo Através de Objetos e Eventos

### 1.1. Introdução

Quando se olha através de uma janela percebe-se que o mundo ao redor é constituído por uma série de objetos tais como pessoas, carros, animais, árvores ou casas. Também são percebidos, juntamente com esses objetos, ambientes nos quais eles estão inseridos. Alguns exemplos de ambientes são as cidades, as matas e a atmosfera. Dessa forma, para o objetivo deste estudo consideraremos o mundo ao nosso redor como sendo um sistema constituído de elementos que são os objetos e ambientes.

#### Exercício 1: Listando elementos do mundo.

Tente listar alguns elementos **relevantes** constituintes dos seguintes sistemas - mundos:

Praia \_\_\_\_\_

Cidade atingida por uma epidemia \_\_\_\_\_

As interações entre os elementos do sistema geram eventos, que, em conjunto, determinam o comportamento do sistema como um todo. Eventos são acontecimentos que podem ocorrer em um sistema, tais como, andar, saltar, alimentar e reproduzir. Cada sistema possui eventos específicos.

Portanto, observa-se que o mundo pode ser considerado como constituído por elementos, que interagem entre si gerando eventos, e, desta forma, geram o comportamento do sistema estudado. Assim, neste contexto define-se:

- **Objetos**  
elementos de um sistema que podem interagir entre si tais como pessoas e carros;
- **Eventos**  
os acontecimentos provenientes da interação entre os objetos.

#### Exercício 2: Listando os eventos do mundo.

Faça uma lista dos eventos que podem ocorrer no sistema cidade atingida por uma epidemia \_\_\_\_\_

Exemplo: adoecer;

### 1.2. Regras

Para cada evento que ocorre em um sistema existe uma regra específica associada. Assim, uma regra pode ser entendida como aquilo que determina o comportamento de um determinado objeto frente a uma determinada situação. O conjunto de várias regras acontecendo ao mesmo tempo gera o comportamento do sistema como um todo.

Imagine uma pessoa passeando em uma praça. Podemos listar algumas situações que podem acontecer:

- Ela poderia encontrar um amigo;
- Ela poderia encontrar alguém que não goste;
- Ela poderia não encontrar ninguém.

Estas situações podem ser consideradas como condições iniciais para que as regras sejam executadas. Por causa do grande número de situações que poderiam ocorrer com esta pessoa é impossível listar todas elas. Utilizando estes exemplos de situações podemos associar algumas regras possíveis tais como:

- **Se** ela encontrar um amigo, **então** ela pára;
- **Se** ela encontrar alguém que não goste, **então** ela desvia;
- **Se** ela não encontrar ninguém, **então** ela continua seu percurso.

Neste sentido, pode-se ver que as regras possuem a seguinte estrutura:

**SE** [condição inicial], **ENTÃO** [resultado]

O resultado proveniente de uma regra deve estar relacionado à condição inicial, ou seja, deve haver uma relação entre aquilo que deu origem ao evento e o resultado do mesmo.

### 1.3. Probabilidades

Cada regra possui uma probabilidade de acontecer. Essa probabilidade permite saber com que frequência uma regra será executada. Para exemplificar, imagine que a pessoa acima citada esteja com pressa e encontre um amigo, ela pode parar ou não para conversar dependendo da pressa. Assim, existem dois possíveis resultados para uma mesma condição inicial:

**Se** ela encontra um amigo, **então** {
 
 ela pára (pouca pressa) 70%  
 ela apenas cumprimenta (muita pressa) 30%

Pode-se dizer que os sistemas da natureza obedecem a regras bem definidas e cada uma delas tem uma determinada probabilidade de acontecer.

#### Exercício 3: Exercitando o entendimento sobre probabilidades.

O que você entende quando ouve dizer que uma pessoa tem 70% de probabilidade se alimentar quando está com fome?

Utilizando os eventos do **Exercício 2**, crie regras relacionadas a cada um dos eventos listados. Associe um valor de probabilidade para cada regra e explique o porquê deste valor.

## 2. A Representação de Objetos e Eventos no Computador

Existem muitas maneiras de representar um sistema da natureza em um computador possibilitando a observação do seu comportamento ao longo do tempo. Uma destas maneiras é construir um modelo do sistema e representá-lo através de uma ferramenta, ou ambiente, de modelagem computacional. Neste estudo utilizaremos um Ambiente de Modelagem Computacional denominado WorldMaker. Este ambiente de modelagem é baseado em ícones - imagens - e é específico para a construção de modelos utilizando a definição de *objetos* e *eventos*.

Os *objetos* - ou elementos do sistema - são diferenciados no WorldMaker em duas categorias distintas:

- **Objetos-Cenário**  
Elementos que constituem o cenário do mundo estudado, tais como, a cidade e mata;
- **Objetos**  
Elementos que não fazem parte do cenário, tais como pessoas e carros.

Os *objetos* do mundo, tanto os *Objetos* quanto os *Objetos-Cenário*, possuem a característica *direção preferencial*, o que significa dizer que o objeto aponta em uma direção específica.

### 2.1. Utilizando o WorldMaker

Inicie o WorldMaker clicando duas vezes no seu ícone localizado na tela do computador. Na sua inicialização aparecem algumas janelas iniciais que podem ser fechadas por não serem importantes.

#### 2.1.1. A Tela Principal

A tela principal do WorldMaker é composta por várias partes, sendo que cada uma tem uma função específica. Ela é mostrada na **Figura 01**:

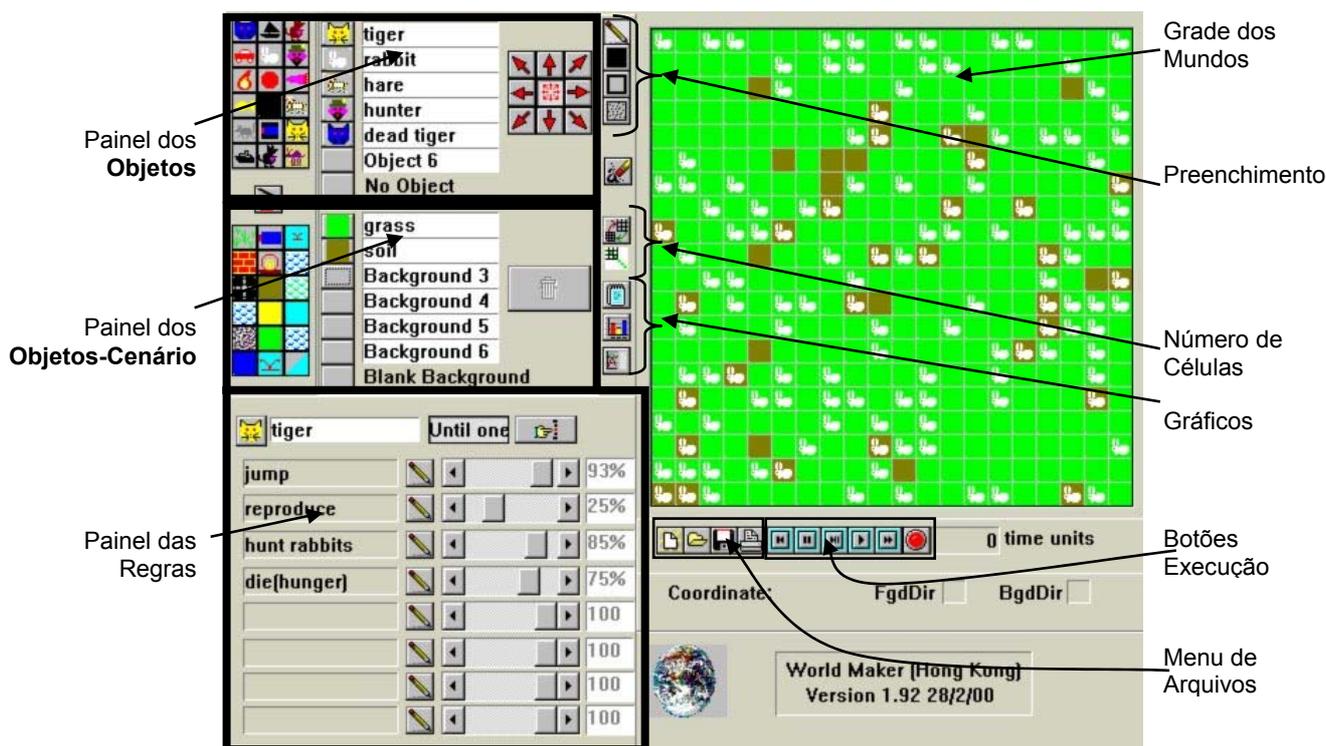


Figura 01: Tela principal do WorldMaker

Onde:

- **Painéis de Objetos e Objetos-Cenários:**  
Local especificado para serem inseridos os objetos do mundo;
- **Painel das Regras:**  
Ao clicar em um certo Objeto ou Objeto-Cenário do mundo, aparecem neste painel regras pertencentes a estes elementos. Neste painel as regras podem ser criadas, editadas e excluídas;

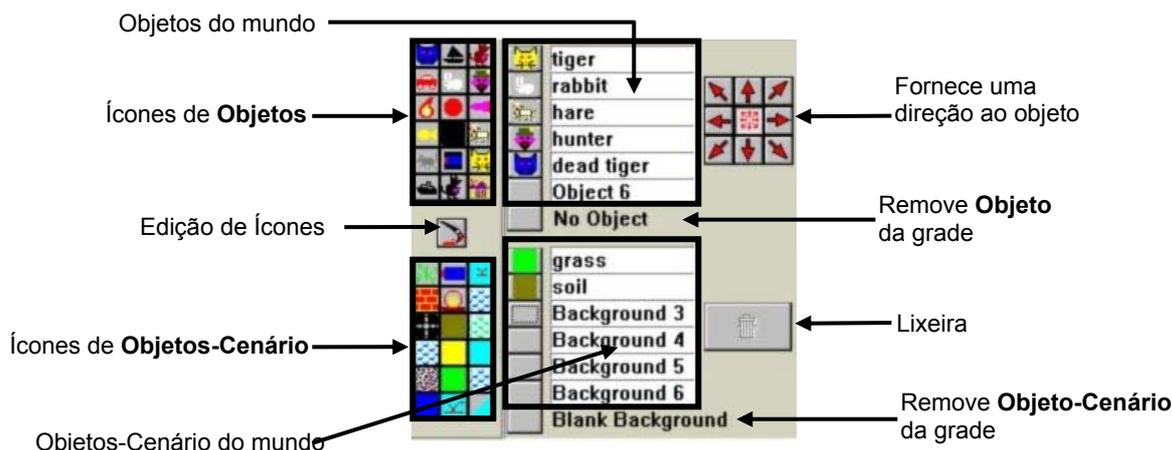
- Grade dos Mundos:**  
 Local constituído de uma rede quadrada de células onde o mundo é implementado e simulado. Neste local os objetos podem se mover para as células vizinhas se estas estiverem vazias de **Objetos**. Os **Objetos-Cenário** não podem se mover na rede;
- Ferramentas de Preenchimento:**  
 Ferramenta utilizada para adicionar ou remover **Objetos** e **Objetos-Cenário** na grade dos Mundos;
- Número de Células:**  
 Permite alternar o número de células da rede entre 20x20 e 40x40;
- Saídas Gráficas:**  
 Gráficos que auxiliam no entendimento do desenvolvimento do mundo.
- Botões de Execução do Mundo:**  
 Contém os botões Voltar, Parar, Avançar um passo, Avançar Normal e Avançar Rapidamente;
- Barra de Ferramentas:**  
 Funções básicas de trabalho com o arquivo do mundo.

**2.2. Construindo Mundos no Ambiente WorldMaker**

A implementação de um mundo no WorldMaker segue alguns passos que serão abordados nesta seção.

**2.2.1. Criando Elementos**

Como já foi dito, os elementos, no WorldMaker, podem ser **Objetos** ou **Objetos-Cenário** e para criá-los é preciso entender os itens dos Painéis de **Objetos** e **Objetos-Cenário**. Veja **Figura 02**.



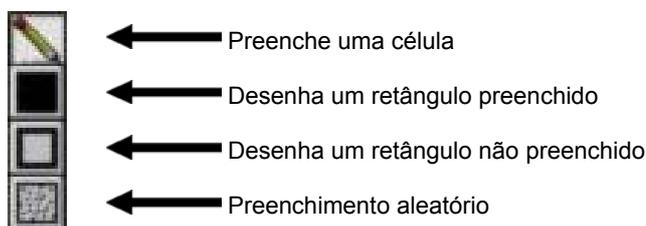
**Figura 02: Painel dos *Objetos* e *Objetos-Cenários***

Para inserir um **Objeto** no mundo que se quer modelar basta clicar em um dos ícones dos **Objetos** disponíveis e arrastá-lo com o mouse para o local onde ficam os **Objetos** do mundo. O mesmo procedimento serve para inserir os **Objetos-Cenário**. Se não existir um ícone que represente o **Objeto** ou **Objeto-Cenário** que se deseja modelar, é possível criá-lo clicando no botão de Edição de Ícones.

É possível remover um objeto que não pertença ao mundo, ou que tenha sido inserido por engano. O procedimento é bem simples, bastando apenas clicar no objeto indesejado e arrastá-lo até a Lixeira.

**2.2.2. Preenchendo Mundos**

Para se executar um mundo é necessário que a grade dos mundos esteja preenchida pelos elementos. Este preenchimento pode ser feito de quatro formas diferentes mostradas na **Figura 03**.

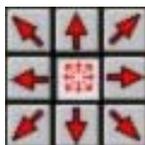


**Figura 03: Tipos de Preenchimento**

Para inserir um elemento na grade dos mundos é necessário, primeiramente, clicar no elemento desejado e, na seqüência, escolher a forma de preenchimento mostrada na **Figura 03** e, finalmente, clicar na grade dos mundos.

Para remover qualquer **Objeto** da grade dos mundos basta clicar no ícone “No object” mostrado na **Figura 02** e clicar sobre o **Objeto** que se deseja remover. No caso de **Objeto-Cenário**, o procedimento é análogo, clicando no botão “Blank Background”.

A **Figura 04** mostra a ferramenta que fornece uma direção ao objeto inserido na grade do mundo. Se esta ferramenta for clicada ao centro, será associada ao objeto uma direção aleatória.



**Figura 04:** Ferramenta de direções

**Exercício 4: Inserindo objetos no mundo.**

Insira alguns **Objetos-Cenário** e **Objetos** no mundo e depois os espalhe pela grade dos mundos utilizando as diferentes ferramentas de preenchimento. Observe que os **Objetos** ficam dispostos sobre os **Objetos-Cenário** quando eles se situam em locais iguais.

— O que acontece quando se tenta colocar dois elementos de tipo em um mesmo local? —

**2.2.3. Criando Regras**

A criação das regras no WorldMaker se dá, a princípio, da mesma forma que foi exposta no tópico 1.2. No WorldMaker é possível associar uma probabilidade a uma regra criada através do Painel de Regras mostrado na **Figura 01** e ampliado na **Figura 05**.



**Figura 05:** Painel das regras

Para adicionar regras a um determinado elemento do mundo, basta clicar sobre ele e ir ao painel das regras para clicar no botão de criação e edição das regras. Fazendo isso, abre-se uma janela com os três passos para a criação da regra. Esta janela é mostrada com detalhes na **Figura 06**.

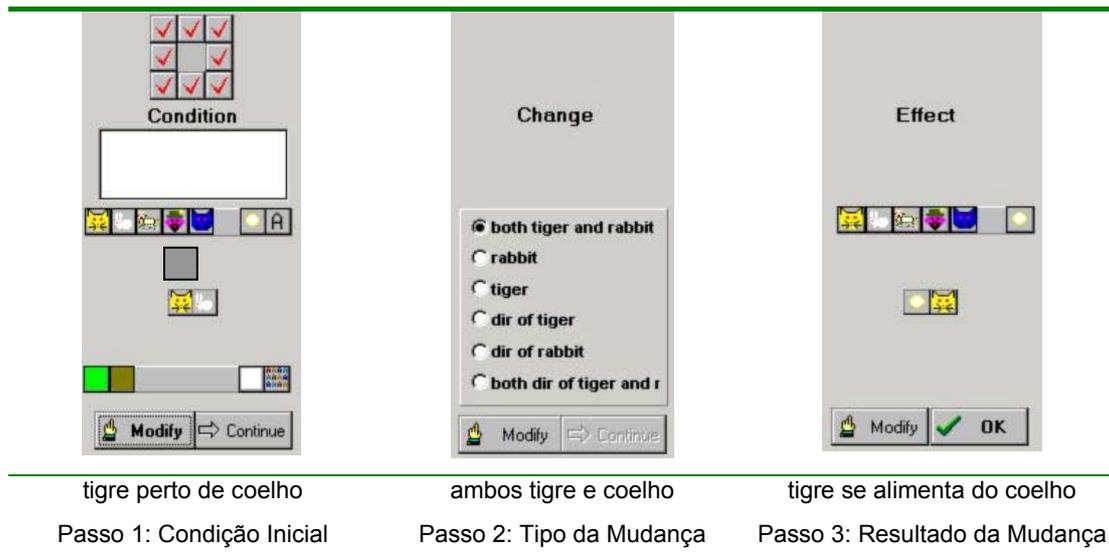


Figura 06: Passos de criação da regra “raposa come coelho”

Onde:

- Passo 1.** Condição inicial: o que precisa acontecer para que a regra seja executada;
- Passo 2.** Tipo de mudança: quais as características da condição inicial serão modificadas;
- Passo 3.** Resultado da mudança: qual o evento resultante da execução da regra.

**2.2.4 Entendendo cada passo da criação de uma regra.**

Cada um dos três passos expostos na Figura 06 devem ser entendidos como etapas de criação de um mesmo evento. Porém, esses três passos não podem ser entendidos separadamente um do outro: dependendo da condição inicial estabelecida no Passo 1, as possíveis opções no Passo 2 serão diferentes; do mesmo modo, dependendo da opção estabelecida no Passo 2, as possíveis opções do passo 3 também serão diferentes. Utilizando o exemplo da regra mostrada na Figura 06, os passos de construção das regras serão detalhados a seguir.

Para o Passo 1, detalhado na Figura 07, temos que:

**Se [Passo1: Condição Inicial]**

- Tigre ao lado de coelho.

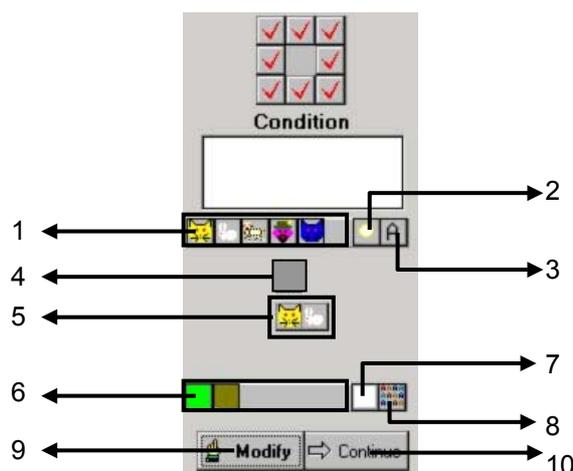


Figura 07: Passo 1 – Condição inicial

Onde:

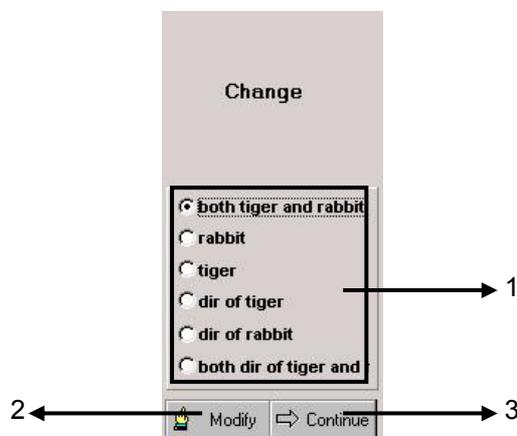
1. Local onde os *Objetos* do mundo criado ficam disponíveis.
2. Representa ausência de objeto: *no object*.
3. Representa qualquer objeto do mundo.

4. Estabelece se o objeto olhará em todas as direções ou se apenas em a sua direção específica.
5. Local onde é estabelecida a condição inicial.
6. Local onde os *Objetos-cenário* do mundo criado ficam disponíveis.
7. Representa a ausência de objeto cenário.
8. Esse ícone representa qualquer *Objeto-cenário* do mundo.
9. Inicia/Reinicia a construção do Passo1.
10. Finaliza a condição inicial, levando ao Passo 2.

Na Figura 08 é mostrado o Passo 2 em suas duas modalidades. Uma relacionada à mudança nas características do objeto e a outra relacionada ao movimento e à criação de objetos. Assim, de acordo com este passo, a metáfora é a seguinte:

**E [Passo 2: Tipo de Mudança]**

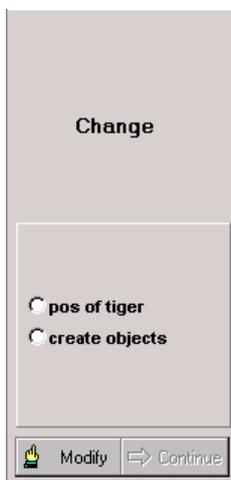
- Neste passo deve-se escolher as opções de mudanças nas características do objeto: *Objeto* e *Direção do Objeto*. Estas são feitas a partir da condição inicial estabelecida no Passo 1. No caso da com a condição inicial mostrada na Figura 07, as possíveis opções no Passo 2 são mostradas na Figura 8.



**Figura 08:** Passo 2 – Mudança Executada pela Regra

1. Opções de mudança que podem ocorrer.
2. Inicia/Reinicia a construção do Passo2.
3. Finaliza essa etapa e conduz ao Passo 3.

Uma outra possibilidade de opções para o Passo 2 está relacionada ao *Movimento do Objeto* e a *Criação de outros Objetos*. Essas opções, mostradas na Figura 09, aparecem apenas quando o elemento *no object*, item 2 da Figura 08, é utilizado para estabelecer a condição inicial.



**Figura 09:** Outra possibilidade de Passo 2.

Finalmente, no Passo 3 é estabelecido o resultado da mudança da condição inicial. Na Figura 10 estão

especificadas apenas as opções relacionadas ao Passo 1 da Figura 07 pois, dependendo da condição inicial estabelecida no Passo 1 e das escolhas feitas no Passo 2, surgem diferentes opções no Passo 3.

**Então [Passo 3: Resultado da Mudança]**

- Neste caso as mudanças especificadas são “o coelho some e o tigre toma o lugar do coelho”. Essa mudança é interpretada como sendo o evento do tigre se alimentando do coelho.

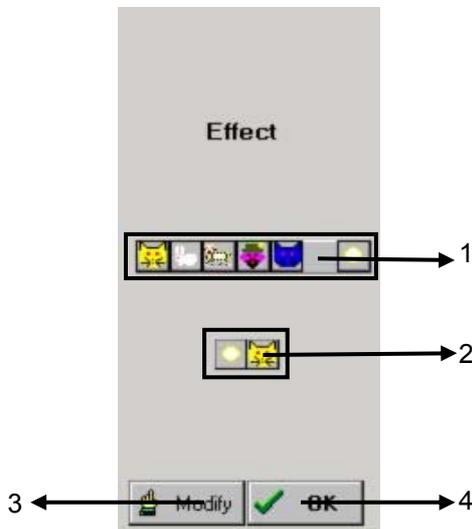


Figura 10 : Passo 3 – Resultado da Mudança

1. Local onde os objetos do mundo ficam disponíveis.
2. Local onde é estabelecido o resultado final da regra ou evento.
3. Inicia/Reinicia a construção do Passo 3.
4. Finaliza essa etapa e da regra.

Assim, este procedimento possibilita a construção de todas as regras necessárias para a criação de mundos no ambiente de modelagem WorldMaker: modelos do mundo que nos cerca.

**Exercício 5: Construindo algumas regras e explorando alguns passos.**

Crie um novo mundo com dois *objetos* utilizando para o primeiro um ícone que represente uma “esfera” e para o segundo algum ícone que represente uma “parede”. Coloque também um *Objeto-cenário* qualquer e o nomeie de *Cenário 1*.

1. Clique no *objeto* esfera, vá ao painel das regras e clique no botão de edição de regras. No Passo 1 da edição da regra clique em “Modify”. Arraste o ícone “parede” até o local ao lado do ícone “esfera”, item 5 da Figura 07. No botão acima dos dois objetos, item 4 da Figura 07, clique uma vez para aparecer uma seta. Esta seta indica que, para a regra ser executada, a direção da “esfera” deve estar apontada para a “parede”. A disposição dos ícones deve ficar como mostra a Figura 10.



Figura 10: Disposição dos Elementos

Feito isso clique em “Continue” para ir ao Passo 2. Analise as opções deste passo. Essas mudanças são relacionadas as características do objeto. Escreva no quadro abaixo aquelas relacionadas aos *próprios objetos* e aquelas relacionadas a *direção dos objetos*.

Próprio Objeto.	Direção do Objeto.

Escolha a opção “*dir of esfera*” no Passo 2 e clique em “Continue” para ir ao Passo 3. Clique duas vezes no botão que aparece acima dos objetos “*esfera*” e “*parede*”. Em seguida clique em “Ok” e em “Close” para finalizar a construção da regra.

- Abra uma nova janela de edição de regras a partir do objeto “*esfera*”. Monte o mesmo Passo 1 feito anteriormente, retirando apenas a seta de cima dos objetos. Clique em Continue para acessar o Passo 2. Analise as opções que aparecem nesse Passo 2. O que você conclui em relação às opções da regra construída no exercício anterior?

- Agora volte ao Passo 1 clicando no botão “Modify” deste passo. Construa o Passo 1 da seguinte forma: coloque ao lado do objeto “*esfera*” o *Objeto-Cenário* nomeado de “*Cenário 1*”. Em seguida clique no botão “Continue” para acessar o Passo 2. Analise novamente as opções do Passo 2.

Obs: É importante ressaltar que nos exercícios anteriores são feitas diferentes construções no Passo 1. No entanto, em todos eles, as opções que aparecem no Passo 2 são sempre de mesma natureza: mudança na característica do objeto, que engloba o próprio objeto ou a sua direção.

- Volte novamente ao Passo 1 clicando no botão “Modify” deste passo. Faça a disposição dos objetos como é mostrada na Figura 11, arrastando “*No Object*”, item 3 da Figura 07, até o local ao lado da “*esfera*”. Clique em “Continue” e analise as opções do Passo 2.



Figura 11: Nova Disposição dos Elementos.

Pode-se concluir a partir desses exercícios que é o “*No Object*” que determina as opções de mudanças de características que vão aparecer no Passo 2. Na tabela abaixo estão listadas todas as opções que podem aparecer no Passo 2: na coluna da esquerda estão dispostas as opções regras que não utilizam o “*No Object*”, no Passo 1; na coluna da direita estão dispostas aquelas que aparecem quando a construção da regra utiliza o “*No Object*” no Passo 1. Relacione as opções da direita com as da esquerda ligando as opções que você acha serem de características semelhantes.

Sem o <i>No Object</i>	Com o <i>No Object</i>
Both tiger and rabbit	
Rabbit	Pos of obj
Tiger	
Dir of tiger	Create obj
Dir of rabbit	
Both dir of tiger and dir of rabbit	

Voltando à construção da regra no ambiente, no Passo 2 escolha a opção “*pos of esfera*” que significa que a esfera mudará a sua posição. Clique em “Continue” para ir ao Passo 3. Clique agora no botão acima dos ícones “*esfera*” e “*No object*” para que seja escolhido o resultado da regra. Clique apenas uma vez para aparecer o ícone  e clique em “Ok” e em “Close”, respectivamente, para finalizar a construção desta regra.

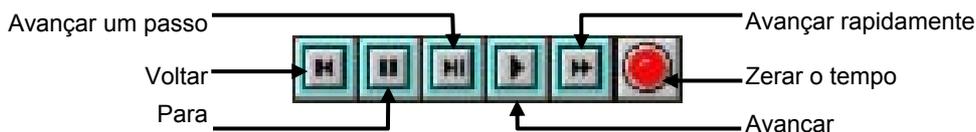
Disponha alguns objetos “*esfera*” na grade do mundo junto com alguns objetos “*parede*”. Faça isso como exercício e observe a execução do mundo clicando no ícone  que está entre os botões de execução do mundo.

### 2.2.5 Executando Mundos

Para a execução dos mundos existe um conjunto de botões semelhantes aos botões de um Toca-Fitas. Estes botões são:

- Voltar – volta o mundo à sua configuração inicial;
- Parar – para a execução do mundo;
- Avançar um passo – avança apenas um passo a simulação;
- Avançar – avança a simulação em velocidade normal;
- Avançar rapidamente – avança a simulação em alta velocidade;
- Zerar o tempo – volta o contador de tempo para zero.

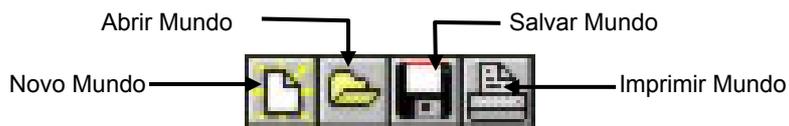
Estes botões são mostrados na **Figura 07**.



**Figura 07:** Botões de Execução da Simulação

### 2.2.6 Criar, Abrir e Salvar Mundos

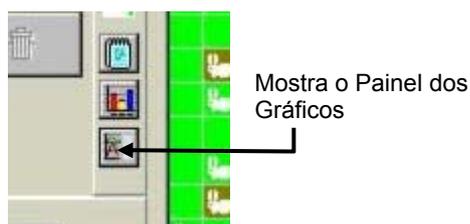
No layout do WorldMaker existem botões para se trabalhar com o arquivo do Mundo. Eles são mostrados na **Figura 09**.



**Figura 09:** Ferramentas de Para Criar, Abrir e Salvar um Mundo

### 2.2.7 Visualizando gráficos no WorldMaker

O WorldMaker permite visualizar através de gráficos o desenvolvimento do mundo que esteja sendo simulado. Para isto basta clicar no botão mostrado na **Figura 10**.



**Figura 10:** Botão que mostra o Painel dos Gráficos

Para exemplificar o uso deste painel será utilizado o mundo já criado. Clique no botão abrir mundo e procure o mundo doença.db no diretório “c:\atividade\exemplo”. Após ser aberto o mundo, clique no botão indicado na **Figura 10**. A figura que aparecerá é mostrada e explicada na **Figura 11**.



Figura 12: Painel dos Gráficos

Uma “situação” é o acontecimento que deve ser contado, ou seja, se é desejado contar quantos coelhos estão na grade dos mundos insere-se apenas o coelho, mas se eu desejo saber quantos coelhos estão sobre a grama é necessário inserir o coelho e a grama no mesmo local. Para editar uma situação o procedimento é o mesmo que para inserir um objeto ao mundo, bastando clicar e arrastar ao local indicado na seta na **Figura 12**.

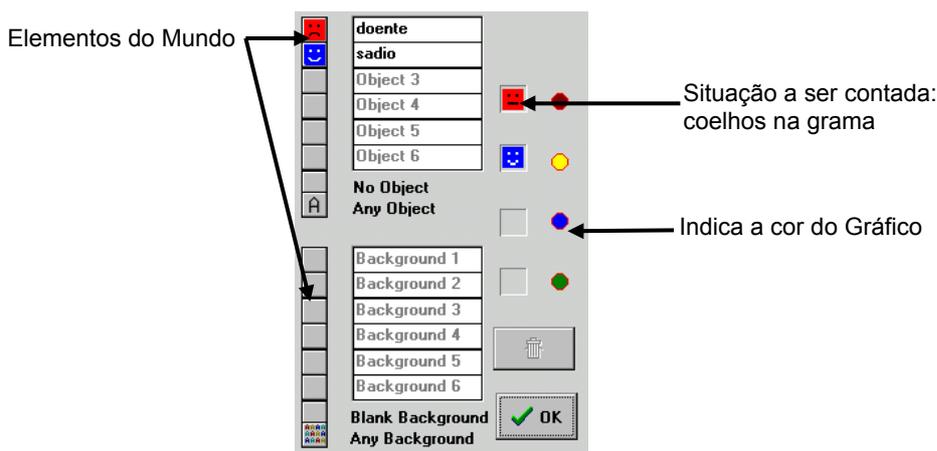


Figura 13: Painel Onde é Editado o que Será Contado

### 3. Passos para a Construção de um Modelo

Na próxima atividade você será solicitado a construir um modelo sobre dois fenômenos a partir de suas próprias idéias sobre os mesmos. Para auxiliá-lo nesta tarefa, a seguir é apresentada uma seqüência de passos que você deverá observar. Esses passos são:

- 1º Passo - Definição do sistema a ser estudado;
- 2º Passo - Escolha do fenômeno de interesse;
- 3º Passo - Listagem dos elementos – objetos – importantes;
- 4º Passo - Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objetos;
- 5º Passo - Construção do modelo através criação de regras de interação entre os elementos;
- 6º Passo - Representação das Interações no Ambiente WorldMaker
- 7º Passo - Simulação;
- 8º Passo - Validação do modelo.

# 1ª Atividade de Modelagem com o Ambiente WorldMaker

## Difusão de Gases

Dupla: \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Pode-se considerar que um gás contido em um recipiente é constituído por partículas que interagem entre si movendo-se aleatoriamente, colidindo-se entre si e com as paredes do recipiente no qual se encontram. Imagine o fenômeno de um gás que estivesse confinado apenas em um dos cantos de um recipiente fechado como na situação de um frasco de perfume que é aberto em um dos cantos de uma sala.

Com base em suas próprias idéias sobre o fenômeno descrito acima, construa um modelo no ambiente WorldMaker.

- Desenvolva seu modelo discutindo suas idéias com o seu colega de dupla;
- Durante o desenvolvimento do modelo explique o que está sendo feito EM VOZ ALTA.

### 1º Passo - Definição do sistema a ser estudado:

### 2º Passo - Escolha do fenômeno de interesse;

### 3º Passo - Listagem dos elementos importantes;

### 4º Passo - Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objetos;

**5º Passo - Construção das regras através das interações entre os elementos;**

--

**6º Passo - Construa cada regra descrita no quadro acima, detalhando em cada coluna da tabela abaixo, os passos de construção de cada regra, de acordo com apostila.**

<b>Passo 1 (Condição Inicial)</b>	<b>Passo 2 (Tipo de Mudança)</b>	<b>Passo 3 (Resultado da Mudança)</b>

**7º Passo - Representação das Interações no Ambiente WorldMaker e simulação**

- Construir o modelo no WorldMaker;
- Antes de simular, explique com detalhes cada regra criada em voz alta;

**8º Passo - Simulação****9º Passo - Validação do modelo**

- Explique o comportamento do modelo em voz alta.
- O comportamento do modelo está como o esperado? Explique em voz alta.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)