



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

ELIANE MARIA DE OLIVEIRA ARAMAN

**UMA PROPOSTA PARA O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA
PARA A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS NAS
SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL**

Londrina
2006

ELIANE MARIA DE OLIVEIRA ARAMAN

**UMA PROPOSTA PARA O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA
PARA A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS NAS
SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Irinéa de Lourdes Batista

Londrina
2006

ELIANE MARIA DE OLIVEIRA ARAMAN

**UMA PROPOSTA PARA O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA
PARA A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS NAS
SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Irinéa de Lourdes Batista
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho
Universidade Estadual de São Paulo

Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 11 de dezembro de 2006.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as crianças que freqüentam as escolas brasileiras e que, apesar de todas as dificuldades, demonstram um autêntico prazer pela aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

A minha família, que esteve presente em todos os momentos, dividindo comigo as alegrias e me apoiando nas dificuldades.

A minha orientadora que, além de todos os ensinamentos, acreditou em mim desde o começo.

Aos amigos de longa jornada e aos amigos encontrados nesta importante etapa de minha vida acadêmica, que sempre estiveram dispostos em me ajudar nas pequenas e nas grandes tarefas.

A Secretaria Municipal de Educação de Londrina, pela colaboração na dedicação que pude dar ao meu trabalho.

As professoras Adriana, Karen, Liliane, Tatiane e Iracema, que dividiram comigo o desafio desta proposta.

A equipe de direção e supervisão das escolas que demonstraram boa vontade em colaborar com esta pesquisa.

Aos alunos que participaram das atividades, sempre com verdadeiro entusiasmo.

Aos professores que participaram da banca, pelas contribuições necessárias ao aprimoramento do trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina.

Aos técnicos dos laboratórios de Física, que me ajudaram muito na realização dos experimentos.

Aos funcionários da secretaria de Pós-Graduação e da biblioteca, que sempre me atenderam com dedicação e cordialidade.

E a Deus, que permitiu que tudo fosse possível.

EPÍGRAFE

*Não escapam todos os encantos
Com o mero toque da fria filosofia?
Houve um medonho arco-íris no céu:
Conhecemos sua trama, sua textura; ele está
No insípido catálogo das coisas comuns.
A filosofia irá podar as asas de um anjo,
Todos os mistérios conquistar por regra e régua,
Esvaziar o ar assombrado, e a mina do gnomo,
Desfiar um arco-íris.
John Keats, Lamina, 1820*

*Meu título vem de Keats, que acreditava que Newton
tinha destruído toda a poesia do arco-íris ao reduzi-
lo às cores prismáticas. Keats não poderia estar
mais errado, e meu objetivo é guiar todos, que estão
tentados a uma visão semelhante, até a conclusão
oposta. A ciência é, ou deveria ser, a inspiração
para a grande poesia.
**Richard Dawkins, Desvendando o Arco-Íris, Cia.
das Letras, SP, 2000.***

ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. **Uma proposta para o uso da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental**. 2006. 242f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

RESUMO

Esta investigação, de caráter qualitativo, promoveu a integração de referenciais que corroborassem para a elaboração de uma abordagem histórico-pedagógica adequada às séries iniciais do Ensino Fundamental. Os referenciais contemplam a necessidade da Alfabetização Científica já neste nível de ensino; a Aprendizagem Significativa por meio da implementação de atividades inovadoras em Ensino de Ciências; a elaboração de Mapas Conceituais para a avaliação da aprendizagem; e a construção de atividades que respeitem o estágio de desenvolvimento cognitivo das crianças. O exemplar fenomenológico de interesse escolhido para essa investigação foi o Arco-Íris. Elaboramos uma reconstrução dos principais episódios históricos necessários para a compreensão de alguns conceitos físicos presentes neste fenômeno. A partir dos referenciais teóricos e do desenvolvimento histórico do fenômeno, construímos uma seqüência de atividades que foi aplicada em turmas de quarta série do Ensino Fundamental. A avaliação do processo de aprendizagem deu-se por meio da elaboração, antes e após a aplicação da seqüência, de Mapas Conceituais pelos alunos envolvidos. Nossas conclusões evidenciam que a construção de uma abordagem histórico-pedagógica para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais é fértil, proporcionando bons resultados para aprendizagem desse nível de ensino.

Palavras-chave: Alfabetização científica. História da ciência. Aprendizagem significativa. Arco-íris. Séries iniciais.

ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. **A proposal to use science history in learning of physical concepts in the beginning level of elementary school.** 2006. 242p. Dissertation (Master Degree in Science Teaching and Mathematical Education) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

ABSTRACT

This investigation, of qualitative character, promoted the integration of some references that corroborated for the elaboration of a historical-pedagogic approach adapted to the early years of Elementary School. Those references contemplate the need of a Scientific Literacy, already in this level of education; the Significant Learning, which is given by the implementation of innovative activities in Science Teaching; the elaboration of Conceptual Maps to evaluate the learning; and the prosecution of activities that respect the period of children's cognitive development. The phenomenological model chosen for this investigation is the rainbow. We elaborated a reconstruction of the main historical episodes necessary for the understanding of some current physical concepts in this phenomenon. Starting from the theoretical references and from the historical development of that phenomenon, we built a sequence of activities, which were applied in groups from the fourth level of Elementary School. The learning process' evaluation was done through the elaboration, before and after the sequence, of Conceptual Maps by the involved students. Our conclusions evidence that the construction of a historical-pedagogic approach to physical concepts in the early schooldays is fertile and provides good results for that education level's learning.

Keywords: Scientific literacy. History of science. Significant learning. Rainbow. Elementary school.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Idéia de Aristóteles para a formação do Arco-Íris em que o Sol está no horizonte em <i>S</i> , a nuvem em <i>R</i> e os olhos em <i>O</i>	48
Figura 2 – Idéia de Aristóteles da formação do Arco-Íris com o Sol em <i>S</i> acima do horizonte <i>DOE</i>	49
Figura 3 – Determinação aristotélica do ponto <i>R</i> com a luz produzindo Arco-Íris e refletindo para o olho em <i>O</i>	50
Figura 4 – Concepção de Aristóteles de que os Arco-Íris primário e secundário eram formados no mesmo trajeto.....	53
Figura 5 – Explicação aristotélica para a ordem das cores no Arco-Íris secundário	54
Figura 6 – Diagrama que ilustra a lei de refração de Grosseteste, ângulo <i>CBE</i> = ângulo <i>EBD</i>	57
Figura 7 – Diagramas acompanhando a explicação de Teodorico do Arco-Íris	64
Figura 8 – Diagrama de uma cópia manuscrita do <i>De Iride</i> de Teodorico. Cada uma das quatro gotas envia para o olho uma cor diferente....	65
Figura 9 – Diagrama de Teodorico ilustrando a formação das diferentes cores do Arco-Íris secundário	67
Figura 10 – Diagrama ilustrando o método que Teodorico utilizou para encontrar as distâncias relativas associadas ao Arco-Íris.....	70
Figura 11 – Diagrama usado por Dominis para explicação da formação do Arco-Íris	71
Figura 12 – Esquema utilizado por Snell para explicação da lei de refração.....	73
Figura 13 – Explicação de Descartes para a formação do Arco-Íris primário e do secundário	74
Figura 14 – Prisma utilizado por Descartes para explicar porque cada cor aparece sempre no mesmo lugar, o vermelho em <i>F</i> e o azul em <i>H</i>	76
Figura 15 – Esquema de Newton (não publicado em 1672) para o experimento descrito no artigo de 1672, em que a luz solar forma uma mancha colorida e alongada na parede de um quarto escuro, após passar por um prisma.....	78

Figura 16 – Uma das variações do <i>experimentum crucis</i> (não publicado em 1672). A luz do Sol é decomposta por um primeiro prisma. A lente colocada antes do prisma permite produzir um espectro fino e com cores bem definidas. Um orifício no anteparo permite que uma pequena faixa do espectro passe por um segundo prisma, que não decompõe a luz em novas cores, apenas reproduz a cor selecionada pelo orifício	81
Figura 17 – Representação de Newton da gota de chuva pela esfera <i>BNFG</i>	83
Figura 18 – Esquema utilizado por Newton para descrever as cores do Arco-Íris primário e secundário de acordo com seus graus de refração	84
Figura 19 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>A</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	99
Figura 20 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>B</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	100
Figura 21 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>C</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	101
Figura 22 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>D</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	102
Figura 23 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris.....	108
Figura 24 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris.....	108
Figura 25 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação do Arco-Íris	109
Figura 26 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação do Arco-Íris	110

Figura 27 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	115
Figura 28 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	116
Figura 29 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	117
Figura 30 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	118
Figura 31 – Fotografia representando o experimento histórico da “grande gota d’água”	119
Figura 32 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d’água	125
Figura 33 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d’água	126
Figura 34 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d’água	127
Figura 35 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d’água	128
Figura 36 – Fotografia representando o experimento histórico da decomposição da luz ao passar por um prisma.....	129
Figura 37 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	134
Figura 38 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	135
Figura 39 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	135
Figura 40 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	141
Figura 41 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	142
Figura 42 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	143
Figura 43 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	143

Figura 44 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>E</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	146
Figura 45 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>E</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	146
Figura 46 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>A</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	147
Figura 47 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>F</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	148
Figura 48 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>F</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	149
Figura 49 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>G</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	150
Figura 50 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>G</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	151
Figura 51 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>H</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	154
Figura 52 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>I</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	155
Figura 53 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>J</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	156
Figura 54 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>L</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	156

Figura 55 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris.....	158
Figura 56 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris.....	159
Figura 57 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação do Arco-Íris	159
Figura 58 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	162
Figura 59 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	163
Figura 60 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	164
Figura 61 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais	165
Figura 62 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	167
Figura 63 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	168
Figura 64 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	169
Figura 65 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma	169
Figura 66 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água	172
Figura 67 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água	173
Figura 68 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água	174
Figura 69 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água	175
Figura 70 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	177

Figura 71 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	178
Figura 72 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	179
Figura 73 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura de cores primárias da luz	179
Figura 74 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>M</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	182
Figura 75 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>M</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	183
Figura 76 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>N</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	183
Figura 77 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>N</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	184
Figura 78 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>O</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	185
Figura 79 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>O</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	185
Figura 80 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>P</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	186
Figura 81 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno <i>P</i> da 4ª série do Ensino Fundamental.....	187

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Concepções prévias de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno Arco-Íris (Conjunto IA) – Primeira Aplicação98
- Gráfico 2** – Concepções de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do Arco-Íris, após a realização das atividades (Conjunto IIA) – Primeira Aplicação145
- Gráfico 3** – Concepções prévias de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno Arco-Íris (Conjunto IB) – Segunda Aplicação153
- Gráfico 4** – Concepções de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do Arco-Íris, após a realização das atividades (Conjunto IIB) – Segunda Aplicação181

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
1.1 A HISTÓRIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	22
1.1.1 O papel da História da Ciência em nossa pesquisa	26
1.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	30
1.3 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	33
1.4 USO DE MAPAS CONCEITUAIS NAS SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL.....	38
1.5 CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.....	41
2 RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA A RESPEITO DO ENTENDIMENTO DO FENÔMENO DO ARCO-ÍRIS	46
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	88
4 APRESENTAÇÃO E APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HISTÓRICO- PEDAGÓGICA	93
4.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA PRIMEIRA APLICAÇÃO	97
4.1.1 Atividade 1: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IA).....	97
4.1.2 Atividade 2: Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira.....	103
4.1.3 Atividade 3: Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz	110
4.1.4 Atividade 4: A grande “gota d’água”	118
4.1.5 Atividade 5: Decomposição da luz ao passar por um prisma	128
4.1.6 Atividade 6: Soma das luzes coloridas	136
4.1.7 Atividade 7: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IIA)	144
4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA SEGUNDA APLICAÇÃO	152
4.2.1 Atividade 1: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IB).....	152
4.2.2 Atividade 2: Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira.....	157

4.2.3 Atividade 3: Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz	160
4.2.4 Atividade 4: Decomposição da luz ao passar por um prisma	165
4.2.5 Atividade 5: A grande “gota d’água”	170
4.2.6 Atividade 6: Soma das luzes coloridas	175
4.2.7 Atividade 7: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IIB)	180

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	189
-------------------------------------	------------

REFERÊNCIAS	196
--------------------------	------------

ANEXOS	200
ANEXO A – Relatório da atividade 2	201
ANEXO B – Relatório da atividade 2	202
ANEXO C – Relatório da atividade 2	203
ANEXO D – Relatório da atividade 2	204
ANEXO E – Relatório da atividade 3	205
ANEXO F – Relatório da atividade 3	206
ANEXO G – Relatório da atividade 3	207
ANEXO H – Relatório da atividade 3	208
ANEXO I – Relatório da atividade 3	209
ANEXO J – Relatório da atividade 4	210
ANEXO L – Relatório da atividade 4	211
ANEXO M – Relatório da atividade 4	212
ANEXO N – Relatório da atividade 4	213
ANEXO O – Relatório da atividade 4	214
ANEXO P – Relatório da atividade 5	215
ANEXO Q – Relatório da atividade 5	216
ANEXO R – Relatório da atividade 5	217
ANEXO S – Relatório da atividade 5	218
ANEXO T – Relatório da atividade 6	219
ANEXO U – Relatório da atividade 6	220
ANEXO V – Relatório da atividade 6	221

ANEXO X – Relatório da atividade 6	222
ANEXO Z – Relatório da atividade 6	223
ANEXO AA – Relatório da atividade 2	224
ANEXO BB – Relatório da atividade 2	225
ANEXO AC – Relatório da atividade 2	226
ANEXO DD – Relatório da atividade 3	227
ANEXO EE – Relatório da atividade 3	228
ANEXO FF – Relatório da atividade 3.....	229
ANEXO GG – Relatório da atividade 3.....	230
ANEXO HH – Relatório da atividade 4	231
ANEXO II – Relatório da atividade 4	232
ANEXO JJ – Relatório da atividade 4.....	233
ANEXO LL – Relatório da atividade 4	234
ANEXO MM – Relatório da atividade 5	235
ANEXO NN – Relatório da atividade 5	236
ANEXO OO – Relatório da atividade 5.....	237
ANEXO PP – Relatório da atividade 5	238
ANEXO QQ – Relatório da atividade 6.....	239
ANEXO RR – Relatório da atividade 6	240
ANEXO SS – Relatório da atividade 6	241
ANEXO TT – Relatório da atividade 6.....	242

INTRODUÇÃO

As pesquisas mais atuais em Ensino de Ciências ressaltam a importância de implementarmos novas metodologias que atendam a necessidade de que a Ciência torne-se cada vez mais próxima e significativa para os estudantes. Seguindo essa argumentação, este processo deve se iniciar nas séries iniciais do Ensino Fundamental. A necessidade dessa inserção se dá pelo fato de que é nessa faixa de idade que os alunos terão pela primeira vez o contato com situações de ensino de concepções e conceitos científicos, que terão papel fundamental nos processos de aprendizagem subsequente em Ciências. Segundo Carvalho et al (1998, p. 6), se os primeiros contatos com atividades de ensino de Ciências forem agradáveis e se tiverem significado para as crianças, a probabilidade de serem alunos interessados em Ciências nos anos posteriores será maior.

O mundo em que vivemos, e as crianças também, é repleto de avanços científicos e tecnológicos, bem como dos benefícios e das mazelas advindos dele. Compreender a dinâmica envolvida em todo esse processo de desenvolvimento é promover aos estudantes a oportunidade de exercer a cidadania. E a criança também é um cidadão, que tem sua vida influenciada pelos avanços científicos e tecnológicos, e precisa, desde cedo, iniciar sua compreensão acerca do mundo em que vive. Portanto, a necessidade da Alfabetização Científica, desde as séries iniciais, deve ser uma busca constante dos educadores comprometidos com a Educação, e constitui um dos pontos fundamentais da nossa pesquisa.

Considerando esses pontos já colocados, nossa investigação apresenta, como objetivo principal, a construção de uma abordagem histórico-pedagógica que colabore para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental. Muitas pesquisas abordam as vantagens que a utilização da História da Ciência pode fornecer para o Ensino de Ciências, bem como seu caráter explicativo. Assim, este já é um conhecimento posto. O que pretendemos, como novidade metodológica, foi investigar e identificar quais eram os elementos mais adequados para construir uma abordagem histórico-pedagógica que atenda as especificações dessa faixa etária, e se a utilização dessa abordagem colabora para o processo de aprendizagem de conceitos físicos nas crianças.

Portanto, nossa pesquisa foi desenvolvida em quatro turmas de quarta série do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Londrina.

Os referenciais teóricos que apresentamos no Capítulo 1 dão suporte para a investigação do processo de construção da nossa abordagem. Discutimos nesse capítulo, alguns dos principais aspectos da utilização da História e Filosofia da Ciência e como ela pode colaborar para a aprendizagem em Ciências. A necessidade da Alfabetização Científica, como já argumentamos, deve ser almejada em qualquer situação de aprendizagem em Ciências, principalmente quando investigamos novas abordagens.

Recorremos à teoria da Aprendizagem Significativa e ao uso de Mapas Conceituais por crianças, pois compreendemos que o processo cognitivo evolui sempre numa constante organização do conhecimento, em que as novas informações são relacionadas aos conhecimentos que o indivíduo já tem. Em nossa pesquisa, optamos pelo uso de Mapas Conceituais para a avaliação da aprendizagem proporcionada pela abordagem construída.

As preocupações com a fase de desenvolvimento cognitivo do aluno são consideradas de acordo com pesquisas realizadas para a construção do conhecimento físico, que estabelecem as adequações necessárias para desenvolvermos atividades nesse nível de ensino.

No Capítulo 2, fazemos uma reconstrução dos principais exemplares históricos necessários à compreensão do fenômeno físico Arco-Íris. Escolhemos esse fenômeno porque ele fornece bons exemplares históricos e elementos conceituais adequados à faixa de idade pretendida¹.

No Capítulo 3, a respeito da metodologia utilizada, fazemos uma descrição cuidadosa de todas as etapas desenvolvidas durante a investigação, evidenciando que a integração do aporte teórico sustenta a elaboração da abordagem histórico-pedagógica, independentemente do fenômeno escolhido para o estudo. Apresentamos as atividades desenvolvidas e nossa abordagem no Capítulo 4, assim como discutimos e analisamos os resultados de cada uma delas, tanto na primeira aplicação quanto na segunda, e também dos Mapas Conceituais elaborados pelos alunos. Utilizamos exemplares de alguns mapas e de alguns

¹ Pesquisas realizadas por Feher e Meyer (1992) revelam que crianças não relacionam espontaneamente a cor com a luz.

relatos escritos dos alunos para a apreciação do leitor.

Encerramos todo esse processo explicitando, nas Considerações Finais, os avanços e resultados obtidos em nossa pesquisa, assim como algumas constatações do que ainda precisa ser entendido na intenção de avançar cada vez mais nessa investigação.

*CAPÍTULO UM:
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA*

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica que abordaremos neste capítulo, com referenciais reconhecidos pela comunidade acadêmica, tem por objetivo argumentar e sustentar a elaboração de uma abordagem histórico-pedagógica para o ensino de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental. Nesse sentido, discutiremos as contribuições da História e a Filosofia da Ciência no ensino de Ciências como uma importante abordagem que auxilia o aluno na construção de seu conhecimento.

Cada vez mais o conhecimento científico e seus avanços tecnológicos fazem parte da vida moderna. Para termos uma compreensão de como se dá essa dinâmica, é necessário a implementação da Alfabetização Científica desde as séries iniciais. Sendo assim, esse referencial é um importante suporte para as pesquisas em Ensino de Ciências. A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel contribui para a compreensão do processo de cognição dos sujeitos. A elaboração de Mapas Conceituais por crianças também fundamenta a nossa pesquisa, uma vez que eles constituem nosso instrumento de avaliação do processo de aprendizagem.

As pesquisas de Piaget, abordadas por Kamii e Devries, contribuem para a análise de como se dá a construção de conhecimento físico por crianças. E as atuais investigações em Ensino de Ciências para as séries iniciais, realizadas por Carvalho et al, fundamentam a estruturação das atividades de conhecimentos físicos desenvolvidos nessa pesquisa.

1.1 A HISTÓRIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Muitos pesquisadores têm chamado a atenção para a necessidade de se incluir a História e a Filosofia de Ciência no Ensino de Ciências como um recurso que pode atender a alguns objetivos, como argumentam Silva e Martins

Há muitas formas de se usar a História da Ciência como um elemento no ensino de Ciências.[...] O objetivo pode ser aprender teorias científicas e conceitos, discutir sobre a natureza da Ciência e seu método, a relação entre Ciência e o contexto social, entre outras coisas (SILVA; MARTINS, 2003, p. 54).

Para Mathews (1994, p. 50), a História e a Filosofia da Ciência podem colaborar para um entendimento mais integral das Ciências, uma melhor compreensão de conceitos e métodos científicos, permite fazer uma conexão entre o desenvolvimento do pensamento individual e o desenvolvimento das idéias científicas, ameniza o dogmatismo muito comum em educação em Ciências, adequa o formalismo e humaniza os conteúdos científicos, possibilitando uma maior compreensão da natureza da ciência.

Do ponto de vista de Solbes e Traver (2003, p. 706), utilizar História da Ciência com os alunos pode contribuir para melhorar a imagem que os mesmos têm a respeito de Ciências e, conseqüentemente, melhorar suas atitudes em relação a essa disciplina. O foco da História da Ciência possibilita uma maior compreensão do conhecimento do trabalho científico e um entendimento a respeito das repercussões das realizações científicas que colaboram para uma atitude mais positiva em relação ao conhecimento científico.

É muito importante mostrar aos estudantes que o desenvolvimento científico não se dá de uma hora para outra, que muitos aspectos interferem nesse desenvolvimento e precisam ser analisados. A análise desses aspectos pode contribuir para aproximar a ciência dos interesses culturais e políticos da sociedade (MATTHEWS, 1995, p. 165). A História e a Filosofia da Ciência podem permitir um debate sobre a estrutura da Ciência, suas relações com o poder, suas teorias dominantes, desmistificando a Ciência e auxiliando o aluno na construção do seu próprio conhecimento.

Segundo Dias (2001, p. 226-232), a História e a Filosofia da Ciência podem demonstrar como e porquê se deu a descoberta de um determinado conceito científico, expondo as questões para as quais o conceito foi desenvolvido, ou seja, sua função e seu significado no contexto em que foi descoberto; revelando o tipo de pensamento que havia na época em que se deu o seu desenvolvimento. E essas questões podem ser adequadas como parte de uma metodologia, como a autora descreve em seu artigo sobre “A teoria do calor” em que argumenta que a utilização

da História e da Filosofia da Ciência realça os problemas e questões enfrentadas pelos cientistas ao formularem a termodinâmica.

Dessa forma, segundo Peduzzi (2001, p. 158), pesquisas que implementem a utilização de materiais históricos de qualidade em sala de aula poderão contribuir para:

- propiciar uma aprendizagem de Ciências mais significativa, aproveitando as concepções alternativas dos alunos;
- contribuir para a compreensão do aluno de que o pensamento científico evolui com o tempo, portanto as teorias científicas são fonte de constantes revisões;
- proporcionar uma metodologia diferenciada para o ensino de Ciências;
- relacionar o desenvolvimento científico com os avanços tecnológicos da sociedade, seus benefícios e seus problemas, contribuindo para a formação crítica do aluno.

Para Galili e Hazan (2001, p. 345), a discussão a respeito de se incluir a História e a Filosofia da Ciência já vem sendo conduzida há muitos anos. No entanto, a sua utilização raramente é implementada. Isto poderia estar ocorrendo devido à complexidade e controvérsia natural de seu êxito e da necessidade de mais investimento teórico para a sua compreensão. Pesquisas educacionais recentes estão investigando a implementação da História e da Filosofia da Ciência por meio de uma base teórica mais sólida que promova realmente sua utilização. Esse conhecimento pode ser utilizado na elaboração de currículos e em materiais teóricos e experimentais para serem aproveitados em sala de aula.

Utilizar a História e a Filosofia da Ciência não parece ser uma tarefa fácil. As dificuldades existentes vão desde a escassez de pesquisas, notadamente as relacionadas às séries iniciais do Ensino Fundamental, até aos conteúdos programáticos da disciplina de Ciências desse nível de ensino que são muito amplos, o que contribuiu para um ensino tradicional meramente transmissor de conteúdo. Essas perspectivas salientam a necessidade de desenvolver pesquisas para a superação desses obstáculos, fundamentadas num processo de ensino e de aprendizagem que objetive a construção do conhecimento pelo aluno por meio de currículos flexíveis que respeitem o seu desenvolvimento cognitivo.

Outra preocupação consiste na necessidade de se fazer uma adequação didática, com uso de uma linguagem apropriada e acessível para atender as especificidades das séries iniciais do Ensino Fundamental. As atividades precisam ser bem formuladas, com exemplificações que respeitem o desenvolvimento cognitivo das crianças. Não se pretende, nesse nível de ensino, que as crianças alcancem abstrações matemáticas a respeito de conceitos científicos, mas que elas comecem a perceber quais questões estão envolvidas na conceituação científica, a natureza do raciocínio científico, que avanços a Ciência precisou ter para atingirmos o nível de desenvolvimento científico que temos hoje. A esse respeito, Matthews destaca essas questões:

Não se deseja que as crianças sejam capazes de resolver a controvérsia entre realismo e instrumentalismo; também não se tenciona que elas sejam submetidas a uma 'catequese' sobre as quinze razões pelas quais as conclusões de Galileu eram corretas e as dos cardeais não. Ao contrário, espera-se que elas considerem algumas das questões intelectuais que estão em jogo; espera-se que considerem o fato de que há perguntas a serem feitas e que comecem a refletir não somente sobre as respostas para essas perguntas, mas, sobretudo, sobre quais as respostas válidas e que tipos de evidências poderiam sustentar essas respostas (MATTHEWS, 1995, p. 168).

Ainda neste artigo, Matthews considera que as adequações são necessárias dependendo da idade do estudante, mas que estas adequações não devem ser apenas uma ilustração histórica, mas sim que contribua no processo pedagógico:

A tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico. A simplificação deve levar em consideração a faixa etária dos alunos e todo o currículo a ser desenvolvido. História e ciência podem tornar-se mais e mais complexas à medida que assim o exija a situação educacional" (MATTHEWS, 1995, p. 177).

Há ainda que se prestar atenção para não substituir a aprendizagem de um conceito científico em questão pela aprendizagem da história deste conceito, ou seja, não substituir o ensino de Ciência pelo ensino de História da Ciência. O que se pretende é utilizar uma Abordagem histórico-filosófica como um instrumento

didático que auxilie a compreensão de um determinado conceito científico.

Para a pesquisadora Batista (2004, p. 473) a abordagem histórico-filosófica permite a reconstrução da problemática envolvida no desenvolvimento de um conceito científico, os desafios conceituais ou empíricos que foram ultrapassados até a elaboração conceitual que temos hoje. A autora considera que uma abordagem histórico-filosófica contribui para a compreensão do porquê uma proposição é estabelecida como conhecimento, estimulando o aluno a pensar de maneira integrada e crítica, com uma visão ampliada e consistente da atividade científica:

a abordagem histórico-filosófica funciona como um fio condutor dos raciocínios, como um elemento na estrutura didática que favorece a cognoscibilidade dos conteúdos, que justifica racionalmente a coordenação didática desses, estabelecendo-se no próprio corpo integrado das estruturas de ensino e, como pretendemos, de aprendizagem (BATISTA, 2004, p. 474).

Assim, o processo de ensino e de aprendizagem em Ciências desde as séries iniciais do ensino Fundamental deve contar com uma abordagem pedagógica que integre a História e a Filosofia da Ciência, aliada à integração entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, objetivando um processo interdisciplinar de construção do conhecimento científico pelo aluno.

1.1.1 O papel da História da Ciência em nossa pesquisa

O estudo da História da Ciência nos mostra que a construção do conhecimento científico é um processo contínuo de progressividade, mesmo que ocorram alguns cortes nesse processo, e não podemos considerar esses conhecimentos como definitivamente estabelecidos, mas que são constantemente modificados pelas novas descobertas. Piaget e Garcia (1989, p. 14), argumentam que um conhecimento não pode ser dissociado de seu contexto histórico, e que a história de uma noção provê alguma indicação de sua significação epistêmica. A fim de estabelecer esses vínculos, é necessário “caracterizar os grandes períodos sucessivos do desenvolvimento de um conceito, ou de uma estrutura, e das

perspectivas de conjunto sobre uma disciplina dada”, com as acelerações, regressos, ações de precursores ou ‘rupturas epistemológicas’ (PIAGET; GARCIA, 1989, p. 15). Para esses autores, o problema central não está em considerar as continuidades ou descontinuidades, mas na existência das mesmas etapas e no porquê de sua sucessão.

Se a relevância do alcance epistemológico do estudo dos períodos históricos e do poder que esses estudos apresentam quando analisam a construção do conhecimento é reconhecido por todos, então é uma incoerência negar a importância da psicogênese. Percebemos essa incoerência quando analisamos a semelhança entre os dois tipos de investigação: as etapas do saber não se sucedem simplesmente em ordem linear, ao contrário, cada etapa ou período inicia-se com uma reorganização do que recebeu dos períodos ou etapas precedentes; os estudos, tanto históricos quanto psicogenéticos, consistem em análises para encontrar, em todos os níveis, instrumentos e mecanismos similares que condicionam um nível à formação do seguinte (PIAGET; GARCIA, 1989, p. 15-16).

Esses autores expõem alguns, com a finalidade de demonstrar a proximidade entre os estudos históricos e os psicogenéticos na epistemologia: determinar o papel que a experiência e as construções operativas do sujeito desempenham na elaboração dos conhecimentos; em que consiste a natureza das relações entre o sujeito e os objetos de seu conhecimento; estabelecer em que medida um conhecimento novo estava pré-formado em um conhecimento precedente. Essas questões são discutidas na obra dos autores e demonstram as analogias entre as construções históricas e os processos psicogenéticos.

Em alguns casos, como nas noções pré-científicas, é possível estabelecer uma correspondência entre as fases do desenvolvimento histórico e as etapas da psicogênese no que se refere aos conteúdos das noções sucessivas. Mas seria problemático estabelecer uma generalização em relação aos conteúdos das teorias propriamente científicas. Entretanto, o paralelismo entre a psicogênese e a História da Ciência refere-se, não ao conteúdo das noções, mas sim aos instrumentos e mecanismos comuns em sua construção. Os autores estabelecem cinco “instrumentos e mecanismos comuns” entre esses dois campos de conhecimento. Assim, os autores estabelecem que o objetivo central dos estudos a respeito do paralelismo entre esses dois campos é “mostrar que os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte são análogos aos de passagem de

um estágio psicogenético ao seguinte” (PIAGET; GARCIA, 1989, p. 33).

Em nossa investigação, a análise histórica da seqüência do desenvolvimento de um conceito fornece elementos epistemológicos que são aproveitados na elaboração da seqüência de atividades. Nessa análise, buscamos observar os conhecimentos que foram necessários para a humanidade progredir no entendimento desse conceito ou noção. No nosso exemplar, o entendimento do Arco-Íris, a reconstrução histórica nos permitiu observar e analisar como conhecimento foi sendo elaborado, de forma que a nova descoberta estivesse integrada com conhecimentos anteriores.

A preocupação com os processos análogos entre a História da Ciência e o desenvolvimento cognitivo também é referida no artigo de Matthews:

Uma parte significativa da literatura recente sobre HFS e ensino de ciências tem se preocupado com a conjunção entre a história da ciência e a psicologia do aprendizado. Mais especificamente: de que maneiras o desenvolvimento cognitivo individual e o processo de desenvolvimento conceitual histórico esclarecem um ao outro? (MATTHEWS, 1995, p. 177)

Ele cita vários autores que desenvolveram pesquisas com esse enfoque, ressaltando a obra de Piaget e Garcia (1989) como o estudo mais abrangente.

A escolha de bons exemplares fornece uma análise das dificuldades e dos problemas enfrentados pelos pensadores no desenvolvimento do conceito. A identificação dessas dificuldades permite uma reconstrução epistemológica em que a história da Ciência funcione como um eixo heurístico do pensamento científico. Identificar e analisar como se deu a construção de um determinado conceito, as dificuldades e avanços necessários para a sua compreensão, são recursos que podem ser aproveitados na construção de uma seqüência de atividades didáticas. A antecipação dessas dificuldades pode tornar as atividades pedagógicas mais profícuas.

Nessa investigação, selecionamos alguns exemplares históricos do desenvolvimento da explicação do fenômeno Arco-Íris, que além da característica epistemológica já citada, permitissem uma adequação empírica que atendesse à fase de desenvolvimento cognitivo das crianças. Segundo Matthews (1995, p. 168),

alguns episódios da História da Ciência fornecem elementos epistemológicos bastante significativos, não sendo necessário revisitar toda a história de um determinado conceito científico.

A seqüência histórica por nós investigada nos exemplares, demonstrou alguns conhecimentos necessários ao desenvolvimento da explicação do Arco-Íris, como a necessidade de luz e água e relação entre as posições do Sol e do observador, estabelecida por Aristóteles; a quantidade de cores observadas em cada época (a sistematização da sete cores só veio com Newton); os estudos da reflexão necessários ao desenvolvimento do fenômeno; a refração como elemento também necessário para a formação do Arco-Íris, introduzida por Robert Grosseteste; o papel das gotas individuais na formação do fenômeno, iniciado por Roger Bacon e sistematizado por Teodorico de Freiberg; e a composição da luz branca pela soma das cores espectrais demonstrada por Newton.

Embora o foco central da nossa investigação seja histórico, o trabalho com exemplares históricos permitem uma compreensão de alguns métodos utilizados na construção do conhecimento e na explicação científica, como a observação, a experimentação e a formulação de hipóteses. Como diz o filósofo “a filosofia da ciência sem a história da ciência está vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência está cega” (LAKATOS, 1975, p. 456). Para ele, a Filosofia da Ciência apresenta algumas metodologias que permitem ao historiador reconstruir a História, contribuindo para uma explicação racional do desenvolvimento do conhecimento.

Consideramos que a elaboração de atividades que aproveitem as contribuições da História da Ciência pode tornar o ensino dessa disciplina significativo para as séries iniciais do Ensino Fundamental, pois possibilita um referencial explicativo para a elaboração de seqüências de atividades didáticas, em que o conhecimento é construído gradativamente pelo aluno e permite a relação entre o que está sendo aprendido, os elementos cognitivos prévios do aprendiz e fenômenos naturais de seu cotidiano. Essas questões serão discutidas mais detalhadamente no Capítulo 4.

1.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

O movimento em torno da Alfabetização Científica apresenta-se como uma alternativa para auxiliar e reverter o quadro de crise no Ensino de Ciências, em que nos deparamos com uma falta de pertinência do modelo de Educação Científica para a maioria dos alunos (FOUREZ, 1997, p. 19). Segundo este autor, em uma perspectiva social, o objetivo de uma Alfabetização Científica seria divulgar conhecimento suficiente para a população para que as decisões técnicas possam ser suficientemente compreendidas e também controladas democraticamente, ou seja, outorgar responsabilidades para o cidadão, para que ele não continue tendo um sentimento de impotência frente às Ciências e às Tecnologias. Em uma perspectiva mais humanista, levá-lo a compreender como as Ciências e as Tecnologias desenvolvem-se em uma história humana da qual fazem parte, tendo autonomia para expressar-se em relação aos benefícios e prejuízos causados pelo avanço Científico e Tecnológico da sociedade, e manifestar uma cultura Científica.

A maioria dos cidadãos reconhece facilmente que as Ciências e as Tecnologias estão presentes em sua vida cotidiana e produzem impactos em toda a sociedade. De acordo com o nível de Alfabetização Científica, seja individual ou da sociedade como um todo, as Ciências e as Tecnologias podem tornar-se tanto um fator de emancipação quanto de opressão, em que as sociedades detentoras desses conhecimentos determinam e controlam as relações nas sociedades menos desenvolvidas cientificamente. O desenvolvimento científico e tecnológico constante requer uma resposta ágil por parte da sociedade e, conseqüentemente, da educação. A Ciência e a Tecnologia têm deixado de ser um conhecimento para poucos acadêmicos para tornar-se parte da vida do cidadão comum, que necessitam cada vez mais de um mínimo conhecimento científico para compreender o seu mundo em mudança. Nesse enfoque, Delizoicov; Lorenzetti concordam que

Aumentar o nível de entendimento público da Ciência é hoje uma necessidade, não só como prazer intelectual, mas também como uma necessidade de sobrevivência do homem. É uma necessidade cultural ampliar o universo de conhecimentos científicos, tendo em vista que hoje se convive mais com a Ciência, a Tecnologia e seus artefatos (DELIZOICOV; LORENZETTI, 2001, p. 41).

No entanto, grande parte das sociedades, sejam elas desenvolvidas ou em desenvolvimento, apresentam um baixo nível de alfabetização científica, pois os currículos escolares poucas vezes abordam o desenvolvimento científico e tecnológico e as interações entre esses conhecimentos com os aspectos naturais e sociais da vida das pessoas (CAJAS, 2001, p. 243).

Assim, nas últimas décadas, as pesquisas mostraram um aumento significativo com a preocupação de desenvolver um ensino de Ciências que possibilite uma maior integração entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e que procurem implementar um discurso científico escolar mais coerente e relevante para a vida diária. De acordo com esta tendência, as reformas curriculares orientam um ensino de Ciências voltado para a Alfabetização Científica em que a inclusão de componentes social e tecnológicos neste ensino aponta esses fatores como essenciais para a formação básica dos cidadãos.

Nesse enfoque, Furió et al. consideram que um ensino de Ciências com enfoque na Alfabetização Científica proporcionará uma formação mais contextualizada com a vida hodierna:

Logicamente, o ensino de ciências deverá contribuir com a consequência desses objetivos, com a compreensão de conhecimentos, procedimentos e valores que permitam aos estudantes tomar decisões, perceber tanto as utilidades das ciências como suas aplicações na melhora da qualidade de vida dos cidadãos, e as limitações e consequências negativas de seu desenvolvimento (FURIÓ et al, 2001, p. 365).

A Alfabetização Científica é uma das linhas de investigação no ensino de Ciências, que busca uma mudança dos objetivos nesse ensino e propostas metodológicas que atendam a essa nova perspectiva. Anteriormente, o conhecimento escolar era visto como uma simplificação do conhecimento científico sem uma preocupação com os fundamentos teóricos a respeito da aprendizagem de Ciências (CAJAS, 2001, p. 245). Nos últimos anos, devido as crescentes investigações em ensino de Ciências, o foco de preocupação passou a ser a relação entre os conhecimentos científicos e tecnológicos; como esses conhecimentos interagem cotidianamente nas vidas das pessoas e como tornar a Alfabetização Científica uma realidade escolar. Para Gil Pérez (1998, p.72), é

necessário rever o papel da educação atual, abrir os currículos para as transformações científico-tecnológicas e incrementar a utilidade da Ciência e o interesse dos estudantes por ela.

Nessa perspectiva, uma didática da Ciência que tenha como objetivo “transmitir conhecimento Científico” será demasiadamente estreita, pois, um Ensino de Ciências realizado de maneira tradicional, com programas escolares sobrecarregados, com conteúdos muitas vezes incoerentes, não atende mais às necessidades atuais. Uma Alfabetização Científica e Tecnológica não é uma série de conhecimentos precisos e particulares, mas sim um conjunto global que nos permite vivenciar e compreender o nosso universo (FOUREZ, 1997, p. 29). É necessário promover uma mudança de concepção de ensino de Ciências, na qual visões de um ensino passivo, presas a tarefas de transmissão de conhecimentos, não tenham mais lugar na dinâmica do processo de ensino e de aprendizagem, e sim novas perspectivas que visam um ensino contextualizado e significativo (ANGOTTI; AUTH, 2001, p. 23).

Com uma efetiva Alfabetização Científica, alunos podem ter uma visão de que a Ciência é parte do seu mundo, e que o conhecimento científico é de fundamental importância para interagir pessoal e socialmente, para melhorar sua vida e a sua sociedade. Desse modo, compreendemos que a Alfabetização Científica é importante para o desenvolvimento do cidadão, portanto deve ser desenvolvida desde as séries iniciais do Ensino Fundamental “constituindo-se um meio para o indivíduo ampliar seu universo de conhecimento, a sua cultura, como cidadão inserido na sociedade” (DELIZOICOV; LORENZETTI, 2001, p. 43). A Alfabetização Científica nas séries iniciais do Ensino Fundamental preocupa-se em abordar conhecimentos científicos que permitam ao aluno ler e compreender o universo em que vive, associar esses conhecimentos com situações reais de sua vida e desenvolver uma atitude crítica e reflexiva frente às constantes mudanças da nossa sociedade.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (BRASIL, 1997, p. 23-24) asseguram que o ensino de Ciências no nível fundamental deve proporcionar ao aluno uma visão integrada desses conteúdos e suas relações com a Tecnologia e com a Sociedade. Apesar da criança fazer uso e conviver com produtos tecnológicos advindos do conhecimento científico, ela precisa ter conhecimento para refletir a respeito dos processos envolvidos no desenvolvimento

do conhecimento científico e, conseqüentemente, na produção e distribuição da tecnologia. O ensino de Ciências deve visar à participação social do estudante desde as séries iniciais para que o indivíduo, ainda criança, habitue-se a exercer opções autônomas e conscientes, não somente acerca do desenvolvimento tecnológico e suas conseqüências, mas em todas as instâncias do exercício da cidadania. O bloco temático sobre “recursos tecnológicos” presente nos PCNs (BRASIL, 1997, p. 54-57) assegura as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade no sentido de comprometer o aluno com uma visão não estereotipada das Ciências, em que o desenvolvimento científico e tecnológico está relacionado com vários outros aspectos de sua vida e da sociedade. Essa fundamentação da Alfabetização Científica é propícia e necessária pois, juntamente com a História e a Filosofia da Ciência, guardam o eixo interdisciplinar na própria essência uma vez que é produzida pela confluência desses saberes. Esse enfoque também é ressaltado nos PCNs:

Para o ensino de Ciências Naturais é necessária a construção de uma estrutura geral da área que favoreça a aprendizagem significativa do conhecimento historicamente acumulado e a formação de uma concepção de Ciência, suas relações com a Tecnologia e com a Sociedade. Portanto, é necessário considerar as estruturas de conhecimento envolvidas no processo de ensino e aprendizagem – do aluno, do professor, da Ciência (BRASIL, 1997, p. 31).

Dessa forma, consideramos que a relação interdisciplinar promovida pela interação entre a Abordagem Histórico-Filosófica e a Alfabetização Científica pode contribuir para a organização das estruturas cognitivas do aluno objetivando uma Aprendizagem Significativa de Ciências.

1.3 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A investigação a respeito da cognição busca esclarecer como o sujeito organiza seu pensamento, como ocorre o processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso das informações envolvidas no processo de

aprendizagem, e tem como objetivo identificar os padrões estruturados dessa transformação (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 3). O cognitivismo de Ausubel estuda questões da formação de significados no nível da consciência, em que esses significados são pontos de partida para a aquisição de outros significados.

Na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, “aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 4). Esta organização e estruturação se dão a partir da relação com outras idéias que o sujeito já possui. Ausubel considera que a Aprendizagem Significativa é o processo cognitivo natural do indivíduo, ou seja, o “mecanismo humano por excelência de aquisição e armazenamento de uma vasta quantidade de idéias e informações representadas por algum campo do conhecimento” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 33).

As novas idéias e informações são aprendidas na medida em que novos conceitos estejam realmente claros na estrutura cognitiva do sujeito, funcionando como pontos de apoio para a ancoragem de novas idéias. Porém, a experiência cognitiva não se restringe apenas à relação entre os componentes da nova aprendizagem aos conceitos já existentes, exige também modificações significativas na estrutura cognitiva por meio da interação com o novo material, de forma que os conceitos mais relevantes e inclusivos funcionem como ancoradouro para o novo material, mas também se modifiquem em função dessa ancoragem (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 4).

Segundo Ausubel, a essência da Aprendizagem Significativa está no processo em que o material novo, idéias e informações que apresentam uma certa estrutura lógica, são relacionados a algum aspecto da estrutura cognitiva do aluno, como por exemplo, imagens, símbolos, conceitos ou proposições, sendo por eles assimilados e incorporados à sua estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 34). A assimilação de novos componentes na estrutura cognitiva ocorre em função das relações hierárquicas que o indivíduo estabelece em que os conceitos mais inclusivos assimilam outros conceitos mais específicos, de modo que nesse processo, todos os conceitos vão adquirindo novo significado para o indivíduo.

Para Ausubel, significado é “um produto do processo de aprendizagem significativa” em que o significado potencial converte-se em conteúdo cognitivo gradativamente e especificamente por cada indivíduo (AUSUBEL;

NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 38). Nesse sentido, Moreira e Masini consideram que

o material simbólico é potencialmente significativo quando pode ser relacionado, de forma substantiva e não arbitrária, a uma estrutura cognitiva hipotética que possui antecedentes, isto é, conteúdo ideacional e maturidade intelectual. Desde que o significado seja fenomenológico, o material a ser aprendido deverá ser relacionado com essa estrutura cognitiva particular do ser que aprende (MOREIRA; MASINI, 1982, p.5).

Os significados iniciais são ancorados por conceitos específicos inerentes a cada indivíduo de forma que uma nova aprendizagem se dará por meio da interação entre esses significados e os conceitos anteriormente adquiridos pelo indivíduo, permitindo a obtenção de novas relações de significados. Neste processo a nova informação ancora-se em conceitos relevantes existentes que Ausubel define como conceitos subsunçores, existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 7), sendo esta última concebida como “uma estrutura organizada de conceitos que são abstrações da experiência do indivíduo” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 8).

Ausubel classifica a Aprendizagem Significativa em três tipos básicos: *aprendizagem representacional*, *aprendizagem de conceitos* e *aprendizagem proposicional*. Ele considera a *aprendizagem representacional* como o tipo mais básico de Aprendizagem Significativa e diz respeito a compreender o significado de símbolos particulares, como por exemplo, as palavras, e aprender o que elas representam. A aquisição de palavras significativas reflete um processo cognitivo estruturado entre o novo símbolo e o conteúdo a que se refere (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 46-47). Na *formação de conceitos*, Ausubel considera que os atributos essenciais do conceito são desenvolvidos por meio de experiências diretas e de estágios sucessivos de formação de hipóteses, testes ou generalizações (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 47). Segundo Moreira e Masini, a *formação de conceitos* é uma característica mais predominante em crianças em idade pré-escolar, mas esclarece que crianças mais velhas e os adultos “adquirem novos conceitos pela recepção de seus atributos criteriosais e pelo relacionamento desses atributos com idéias relevantes já estabelecidas em sua estrutura cognitiva”, que ele denomina de *assimilação de conceitos*. (MOREIRA;

MASINI, 1982, p. 10).

O objetivo da aprendizagem proposicional para Ausubel é aprender o significado de proposições verbais que expressam outras idéias diferentes daquelas, criando novos significados e interagindo com idéias relevantes na estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 48). Na aprendizagem proposicional, as relações estabelecidas na estrutura cognitiva podem ser diferenciadas em três tipos: subordinada, superordenada ou uma combinação de ambas.

Na relação de subordinação, uma informação nova adquire significado por meio de sua interação com subsunçores (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987, p. 23), em que o novo material fica subordinado a uma estrutura cognitiva já existente, por isso é chamada aprendizagem subordinada. A aprendizagem superordenada ocorre quando os conceitos já subordinados aos subsunçores conseguem associar-se entre si, ou seja, a aprendizagem superordenada se dá “quando um conceito ou proposição, mais geral e inclusivo do que idéias ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva, é adquirido a partir destes e passa a assimilá-los” (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987, p. 23).

Segundo Ausubel, na Aprendizagem Significativa há dois processos integrantes da dinâmica da estrutura cognitiva do sujeito aprendiz, que são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva “é um processo constante na aprendizagem significativa subordinada, em que o conceito subsunçor se modifica durante o processo, sendo constantemente elaborado, modificado e adquirindo novos significados”. A reconciliação integrativa ocorre quando “novas informações são adquiridas e elementos existentes na estrutura cognitiva podem reorganizar-se e adquirir novos significados” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 21-22).

De acordo com Ausubel, para que ocorra a Aprendizagem Significativa são necessários:

1. Materiais de aprendizagem significativos.²
2. Uma disposição por parte da pessoa que aprende em relacionar cada conceito do novo material com conceitos que já tem.
3. Uma estrutura cognitiva relevante ou apropriada no aluno, quer dizer, que alguns conceitos dela mesma possam ser relacionados, de maneira não arbitrária, com os novos conceitos” (apud GONZÁLES GARCIA, 1992, p.149).

Na teoria de Ausubel, esses processos dinâmicos que ocorrem durante a aquisição ou mudança de significado no sujeito obedecem a uma organização hierárquica em que as idéias mais inclusivas devem ser apresentadas primeiramente para depois serem progressivamente mais detalhadas e específicas. Assim, os conceitos devem ser apresentados hierarquicamente promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Para fins instrucionais, os conceitos podem ser organizados num diagrama bidimensional chamado ‘mapa conceitual’ que pode ser utilizado para organizar a estrutura conceitual de uma área do conhecimento.

Segundo Moreira e Buchweitz (1987, p. 9), Mapa Conceitual “é uma técnica de análise que pode ser usada para ilustrar a estrutura conceitual de uma fonte de conhecimentos”. Os Mapas Conceituais indicam os conceitos e as relações entre esses conceitos de uma disciplina ou de parte dela ou de uma outra fonte de conhecimento qualquer. Para esses autores, Mapas Conceituais são definidos assim:

mapas conceituais devem ser entendidos como diagramas bidimensionais que procuram mostrar conceitos hierarquicamente organizados e as relações entre esses conceitos de uma fonte de conhecimentos e derivam sua existência da própria estrutura da fonte (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987, p. 11).

Para facilitar uma aprendizagem escolar mais significativa em nossos alunos, é necessário investigar instrumentos que ajudem evidenciar e facilitar este tipo de aprendizagem. Os Mapas Conceituais são instrumentos válidos

² Um material pode ser considerado significativo (AUSUBEL, 1978, p. 371-373) se apresentar uma lógica interna na graduação da quantidade e da dificuldade em que se apresentam as idéias e informações novas. A estrutura lógica, a clareza e a ordenação da seqüência do material devem obedecer aos princípios da dimensão abstrata-concreta do desenvolvimento cognitivo, permitindo uma diferenciação progressiva e uma reconciliação integrativa dos conceitos.

para averiguar as concepções prévias dos alunos e sua evolução durante o processo de aprendizagem, como também relacionar essas concepções com conceitos mais inclusivos sobre o conteúdo estudado, criando uma rede progressiva de significados (GURUCEAGA; GONZÁLEZ GARCÍA, 2004, p. 117).

O uso de Mapas Conceituais como recursos didáticos apresenta muitas vantagens, como por exemplo:

- 1) enfatizar a estrutura de uma disciplina e o papel dos sistemas conceituais no seu desenvolvimento;
- 2) mostrar que os conceitos de uma certa disciplina diferem quanto ao grau de inclusividade e generalidade e apresentar esses conceitos numa certa ordem hierárquica de inclusividade que facilite a aprendizagem e retenção dos mesmos;
- 3) promover uma visão integrada do assunto e uma espécie de 'listagem' daquilo que foi abordado nos materiais instrucionais (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987, p. 43) (grifos do autor).

Os Mapas Conceituais podem também ser utilizados como instrumentos de avaliação de aprendizagem no sentido de observar o tipo de estrutura que o aluno vê a respeito de um determinado conjunto de conceitos, como ele organiza, relaciona, diferencia e integra conceitos de uma determinada unidade de estudo (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987, p. 45). O conhecimento prévio do aluno também pode ser visualizado por meio da construção de Mapas Conceituais bem como investigar as mudanças ocorridas após a instrução.

1.4 USO DE MAPAS CONCEITUAIS NAS SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL

Os Mapas Conceituais aparecem como um instrumento didático valioso para auxiliar estudantes e professores a refletirem a respeito da estrutura e do processo de construção do conhecimento. Para Novak e Gowin (1999, p. 23), a melhor teoria de aprendizagem que enfoca os conceitos e a aprendizagem proposicional é a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O conceito principal da teoria de Ausubel é de que o sujeito, para aprender significativamente, deve relacionar os novos conhecimentos com as proposições e conceitos

relevantes que já possui. As estratégias de uso dos Mapas Conceituais objetivam apoiar abordagens de instrução que implementem uma Aprendizagem Significativa.

Segundo Novak e Gowin (1999, p. 24), os Mapas Conceituais foram usados com sucesso por estudantes do primeiro nível de ensino básico, afastando assim a preocupação de que crianças não consigam construir mapas relacionados a sua aprendizagem.

Os Mapas Conceituais são recursos que possibilitam a representação de um conjunto de significados conceituais numa estrutura de proposições. A maior parte do significado dos conceitos é aprendida por meio de proposições que incluem o conceito a ser aprendido. Partindo do pressuposto de que a Aprendizagem Significativa se dê mais facilmente quando os novos conceitos ou significados conceituais são englobados por outros mais amplos e inclusivos, os Mapas Conceituais devem apresentar uma estrutura hierárquica, em que os conceitos mais gerais e inclusivos devem ficar no topo do mapa, e os conceitos mais específicos sucessivamente abaixo deles (NOVAK; GOWIN, 1999, p. 31-32). No processo de elaboração dos mapas podemos desenvolver novas relações entre os conceitos e, conseqüentemente, novos significados que não considerávamos anteriormente, portanto, a elaboração de Mapas Conceituais é uma atividade criativa.

Os Mapas Conceituais são instrumentos válidos para explicitar as concepções prévias que um sujeito tem a respeito de um determinado conceito, criando a possibilidade para o professor auxiliar seus alunos na elaboração de novos significados, a partir do que os estudantes já trazem consigo. A esse respeito, Novak e Gowin argumentam:

O que quer que seja que os estudantes tenham aprendido antes, tem de ser usado para alimentar a nova aprendizagem. Tanto os estudantes como os professores devem estar conscientes do valor que têm os conhecimentos prévios na aquisição de novos conhecimentos (NOVAK; GOWIN, 1999, p. 37-38).

Para iniciar os alunos na elaboração de Mapas Conceituais, é importante ajudá-los a observar o papel que os conceitos e as relações entre eles desempenham no mundo, em suas mentes e nas instruções escritas ou orais. Não existe um modo único e infalível para introduzir esse ensino, mas as pesquisas

realizadas por Novak e Gowin (1999, p. 40-51) apresentam uma série de abordagens já experimentadas que podem conduzir o professor nessa tarefa. Essas abordagens foram desenvolvidas com estudantes de vários níveis de ensino, desde o básico até o universitário.

Outro aspecto que vale destaque nessa apresentação é o uso de Mapas Conceituais com estratégia de avaliação. Os autores Novak e Gowin apresentam alguns critérios que devem ser observados na avaliação de um Mapa Conceitual, fundamentado na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, obedecendo três das suas idéias:

- 1) A estrutura cognitiva é *organizada hierarquicamente*, com os conceitos e as proposições menos inclusivos, mais específicos, subordinados aos conceitos e proposições mais gerais e abrangentes.
- 2) Os conceitos da estrutura cognitiva são sujeitos a uma *diferenciação progressiva*, acompanhada do reconhecimento de uma maior abrangência e especificidade nas regularidades dos objetos ou acontecimentos, e de cada vez mais ligações preposicionais com outros conceitos.
- 3) A *reconciliação integradora* ocorre quando dois ou mais conceitos são relacionados em termos de novos significados preposicionais e/ou quando se resolvem conflitos de significados entre conceitos (NOVAK; GOWIN, 1999, p. 113) (grifos dos autores).

A idéia da estrutura hierárquica incorpora o conceito de subsunção de Ausubel, em que uma nova informação freqüentemente é relacionada a conceitos mais abrangentes e gerais. A hierarquia também pode sugerir as inter-relações ou o conjunto de relações entre os conceitos. As estruturas hierárquicas permitem uma avaliação relativamente fácil pelo professor, mas ele deve estar atento a possíveis alternativas encontradas por alunos mais criativos na estruturação apresentada. Para Ausubel, a Aprendizagem Significativa é um processo contínuo, em que novos conceitos adquirem mais significados à medida que estabelecem novas relações. A diferenciação progressiva demonstra o grau de significados que uma pessoa tem a respeito de um determinado conceito. Os Mapas Conceituais são “indicadores relativamente precisos do grau de diferenciação dos conceitos de uma pessoa, porque representam ligações preposicionais específicas (incluindo relações hierárquicas) entre os conceitos” (NOVAK; GOWIN, 1999, p. 115-116). O princípio da reconciliação integrativa estabelece que a Aprendizagem Significativa apresenta um bom avanço quando o

aluno reconhece novas relações entre os conjuntos de conceitos ou proposições. Os Mapas Conceituais explicitam as estruturas proposicionais do sujeito e podem ser utilizadas para analisar ligações deficientes ou salientar a falta de conceitos relevantes. Essas informações devem ser utilizadas pelo professor para uma negociação de significados que resultarão em novas reconciliações integradoras que conduzem a uma melhor compreensão dos conceitos.

Embora a literatura argumente em favor da elaboração de Mapas Conceituais desde o Ensino Fundamental, percebemos que as investigações em ensino de Ciências ou em Alfabetização Científica não recorrem a esse valioso instrumento didático. As crianças são capazes de elaborar bons Mapas Conceituais, desde que sejam orientadas para isso. Essas orientações seguem as sugestões e estratégias de Novak e Gowin (1999). Organizar a estrutura cognitiva desde cedo pode contribuir muito para a evolução dessas crianças, que cada vez mais, avançarão nessa tarefa.

Para avaliar um Mapa Conceitual, Novak e Gowin (1999, p. 52) estabeleceram alguns critérios que devem ser observados pelo professor na avaliação e classificação desses mapas. A sugestão desses critérios obedece às idéias básicas da Aprendizagem Significativa de Ausubel, conforme já discutimos anteriormente, como a validade das relações de significados entre conceitos; o grau de hierarquização entre os conceitos mais abrangentes e os mais específicos; as ligações cruzadas entre os segmentos da hierarquia conceitual e os exemplos válidos que o mapa pode apresentar.

1.5 CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Para Piaget, “todo conhecimento, incluindo a capacidade de raciocinar logicamente, é construído pelo indivíduo na medida em que ele age sobre objetos e pessoas e tenta compreender sua experiência” (KAMII; DEVRIES, 1985, p. 32). Dessa forma, a fonte de conhecimento físico está principalmente no objeto e na forma como este objeto proporciona oportunidades de observação à criança. Na experiência física, a criança obtém informações do objeto por abstração empírica. Entretanto, a experiência física não ocorre sozinha, ocorre junto com a experiência

lógico-matemática. Na experiência lógico-matemática, o conhecimento é derivado da ação do sujeito em relação com o objeto, na forma como o sujeito organiza a realidade. O conhecimento lógico-matemático é construído pela abstração reflexiva, que é diferente da abstração empírica, pois se dá por meio da ação do indivíduo em introduzir relações entre e nos objetos. Assim, não pode haver conhecimento físico sem uma estrutura lógico-matemática. O termo *ação*, segundo a terminologia piagetiana, pode ser compreendido de duas formas: a primeira como ação manipulativa sobre objetos e a segunda, que é mais difícil de entender, é a ação mental que a criança faz sobre o objeto sem mesmo tocá-lo. A ação mental é necessária para a construção tanto do conhecimento físico como do conhecimento lógico-matemático, mas a manipulação física é indispensável para que a ação mental se torne possível (KAMII; DEVRIES, 1985, p. 32).

As atividades de conhecimento físico, baseadas no construtivismo piagetiano, estabelecem que a criança construa seu conhecimento físico e lógico-matemático por meio de suas ações sobre os objetos e, quanto mais variadas e estimulantes forem essas ações, o funcionamento da inteligência será estimulado. Nesse sentido, o papel do professor é proporcionar situações variadas que estimulem os alunos nesse processo, criando condições para seu desenvolvimento. Piaget faz uma distinção entre conhecimento em um sentido amplo e conhecimento em um sentido restrito. Conhecimento no sentido restrito são “porções específicas de conhecimento que só podem ser entendidas por assimilação dentro da totalidade de conhecimento no sentido amplo” (KAMII; DEVRIES, 1985, p. 44). A construção do conhecimento no sentido amplo depende de uma vasta rede de relações, não sendo, portanto, uma coleção de fatos específicos, mas uma rede de idéias organizadas.

As atividades de conhecimento físico auxiliam na coerência entre as porções específicas de informação, contribuindo para a aprendizagem no sentido amplo do termo, pois permitem que a criança estabeleça relações bem estruturadas em que cada idéia é apoiada por uma rede total de outras idéias, enriquecendo as porções de conhecimento anteriores. Desse modo, argumentamos que as relações entre as idéias que vão sendo aprimoradas pelas atividades de conhecimento físico podem contribuir para uma Aprendizagem Significativa de um conceito físico.

As pesquisas realizadas por Carvalho et al. (1998), extrapolam as pesquisas realizadas por Kamii e Devries (1985) em atividades de conhecimento

físico na pré-escola focalizando a construção de atividades para conhecimento de Física para as séries iniciais do Ensino Fundamental Na visão desses autores, o trabalho prático é muito importante para a Ciência e deve ter papel central em seu ensino, porém, do ponto de vista construtivista, os experimentos devem ultrapassar a simples manipulação de materiais, encaminhando os alunos para a reflexão e a busca por explicações. Nesse sentido,

Uma atividade de Ciências fundamenta-se na ação dos alunos. Essa ação, como já dissemos, não deve se limitar à simples manipulação e observação. A resolução de um problema pela experimentação deve envolver também reflexão, relatos, discussões, ponderações e explicações – características de uma investigação científica (CARVALHO et al., 1998, p. 21).

Essas ações podem ser alcançadas de acordo com quatro níveis propostos por Kamii e Devries (1985, p. 63-65) e interpretadas segundo Carvalho et al. (1998, p. 21-24):

1. Agir sobre os objetos e ver como eles reagem: ao agir sobre os objetos para ver como eles funcionam, as crianças começam a construir novas hipóteses, relacionando as suas várias ações com as reações apresentadas pelo objeto.

2. Agir sobre o objeto para obter o efeito desejado: neste nível, a criança continua a sua ação sobre o objeto, mas agora deliberadamente, buscando o efeito ou resultado que deseja obter para a solução do problema.

3. Ter consciência de como produziu o efeito desejado: a atividade não acaba com a solução do problema, a criança agora precisa compreender, ou seja, refletir como conseguiu resolver determinado problema e o porquê dele ter dado certo. Ao refletir a respeito de como conseguiu resolver tal problema, a criança toma consciência de suas próprias ações e, ao procurar o porquê, começará a dar explicações causais para a compreensão dos fenômenos físicos.

4. Explicação das causas: Ao contar como resolveram o problema, os alunos começam a perceber a coordenação dos eventos, iniciando a conceituação.

Pensando no que fez, para contar para o professor e para classe, o aluno vai fazendo ligações lógicas, estabelecendo conexões entre suas ações e reações dos objetos. As relações gradualmente vão sendo desvinculadas das ações da própria criança para as relações entre modificações dos atributos físicos dos objetos e respectivos resultados (CARVALHO, et al., 1998, p. 22).

Considerando a importância da capacidade de expressão dos alunos, não só verbalmente, mas também por meio da escrita, os pesquisadores Carvalho et al. (1998, p. 24-25) sugerem também como atividade, solicitar aos alunos que desenhem e/ou escrevam a respeito do que fizeram na sala de aula. A análise desses relatos pode ser uma fonte rica para o professor e para o investigador na busca por elementos que indiquem aprendizagem.

A análise desses referenciais, bem como a articulação necessária entre eles, constitui uma importante inovação da nossa pesquisa, pois essa integração fundamenta a elaboração da abordagem histórico-pedagógica, uma vez que pode ser utilizada para outros conceitos de Ciências, não apenas para o nosso exemplar.

*CAPÍTULO DOIS:
RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA
A RESPEITO DO
ENTENDIMENTO DO
FENÔMENO DO ARCO-ÍRIS*

2 RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA A RESPEITO DO ENTENDIMENTO DO FENÔMENO DO ARCO-ÍRIS

O estudo da óptica fez parte da vida de muitos cientistas, que, aos poucos, foram desvendando seus fenômenos físicos até chegar nas explicações que temos hoje. Esses estudos baseavam-se na necessidade de aprimorar instrumentos ópticos como lentes, lunetas e telescópios utilizados em muitos estudos astronômicos, ou na busca de uma explicação acerca do que tornava a matéria e os corpos coloridos, ou no interesse pela compreensão do funcionamento dos olhos e da visão, ou seja, na necessidade do homem em compreender os fenômenos da natureza. Embora muitos cientistas tenham estudado os fenômenos ópticos que contribuíram para a elucidação e compreensão do Arco-Íris, apresentamos uma reconstrução de alguns dos principais episódios que fizeram parte do desenvolvimento da conceituação desse fenômeno, baseando-nos em diversos autores reconhecidos nacional e internacionalmente em pesquisas de História e Filosofia da Ciência.

Nossa linha de raciocínio nessa reconstrução histórica inicia-se com a apresentação da explicação de Aristóteles para o fenômeno do Arco-Íris, seguindo uma ordem cronológica e epistemológica do desenvolvimento desse fenômeno, até a teoria moderna de Newton. Esses episódios foram selecionados pois apresentam elementos conceituais relevantes para a explicação histórica do Arco-Íris e também por seu caráter empírico, adequados à construção da abordagem histórico-pedagógica para as séries iniciais do Ensino Fundamental.

As primeiras teorias a respeito do Arco-Íris descrevem este fenômeno como sendo causado pela reflexão da luz, ou dos raios visuais, em *vapores médios* (relativo à umidade do ar). Esta concepção pode ser encontrada no trabalho de Aristóteles *Meteorológica*, que dominou o pensamento nesse assunto por aproximadamente dois milênios (BOYER, 1956, p. 383). De acordo com a visão Aristotélica, a luz do Sol é refletida pelas gotinhas que compõe uma nuvem côncava, atribuindo a formação do Arco-Íris à reflexão de gotinhas discretas na superfície de uma nuvem.

Quando está no ponto de chover e o ar nas nuvens está no processo de formar pingos de chuva mas a chuva não está efetivamente lá, se o sol é oposto, ou qualquer outro objeto luminoso o bastante para fazer da nuvem um espelho e causar a visão a ser refletida então a reflexão tem que preservar a cor do objeto sem a sua forma. Considerando que cada um dos espelhos que de tão pequenos sejam invisíveis e então o que nós vemos ali é a magnitude contínua deles, a reflexão necessariamente nos dá uma magnitude contínua feita de uma cor; cada um dos espelhos contribuem com a mesma cor ao conjunto... Está claro, então, que o arco-íris é uma reflexão da visão do sol (ARISTÓTELES apud LINDBERG, 1966, p. 238).

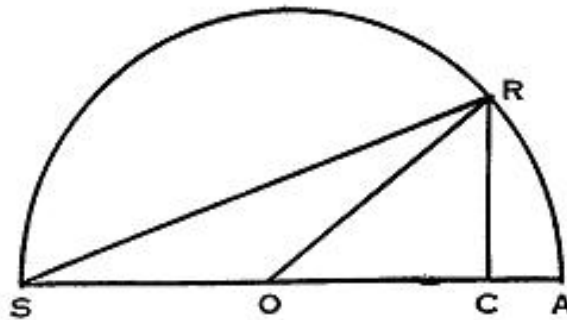
A explicação de Aristóteles do Arco-Íris pode ser pensada em quatro partes:

- os agentes físicos envolvidos;
- a forma do arco;
- o tamanho do arco;
- a origem das cores.

Para resolver a primeira delas, Aristóteles chama a atenção para o que ele considerava os três elementos fundamentais: uma fonte de luz, geralmente o Sol; uma escura nuvem de chuva; e o olho de um observador (BOYER, 1959, p.41). Assim como seus antecessores, Aristóteles acreditava que o arco é formado quando raios da luz do Sol atingem a superfície de uma nuvem e se reflete para o olho de um observador. Considerando a essência do Arco-Íris na reflexão dos raios de luz, Aristóteles não acrescentou nada de novo, apenas se apropriou do que era conhecido.

Nas respostas para a segunda e a terceira questões, Aristóteles demonstrou uma maior originalidade, rejeitando a idéia de seus antecessores de que a circularidade do arco se devia à esfericidade da nuvem refletida. Aristóteles rejeitou esta idéia, pois ela conflitava até mesmo com as observações mais causais da formação de uma nuvem. Ele percebeu que a circularidade do arco se devia a alguma relação geométrica básica entre as posições do Sol, da nuvem e do observador. Aristóteles introduz uma idéia bastante nova para a meteorologia moderna, embora análoga à visão da “esfera celestial” na astronomia. A explicação de Aristóteles assume que o Sol (ou pelo menos os pontos dos quais os raios são considerados como emanados) e uma porção R de nuvem em que causam a

reflexão são eqüidistantes do olho do observador em O (Figura 1).

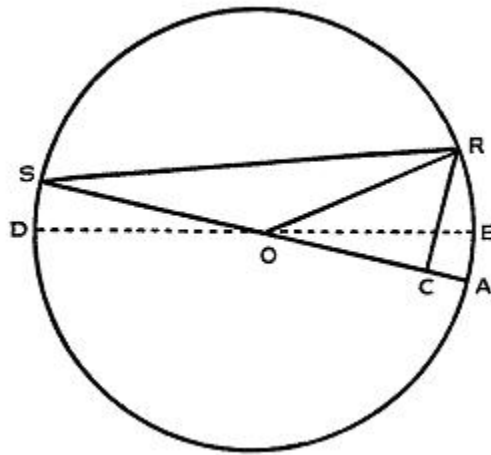


Fonte: Boyer. *The Rainbow*, p. 43

Figura 1 – Idéia de Aristóteles para a formação do Arco-Íris em que o Sol está no horizonte em S , a nuvem em R , e os olhos em O

No primeiro estágio da explanação, Aristóteles assume a posição do Sol no horizonte em S , descrevendo o semicírculo SRA (a metade superior daquele grande círculo da esfera meteorológica passa por S e é perpendicular ao plano do horizonte). Ele também traçou RC perpendicular a SA , e as linhas SR e OR . Por algum princípio ou razão suficiente, deve haver alguma relação uniforme entre as posições relativas dos pontos S , R , A , C e O (BOYER, 1959, p. 42-43).

A explicação Aristotélica para a circularidade do arco é também aplicável, com algumas suaves modificações quando o Sol estiver sobre o horizonte. Sendo O o olho do observador, S a posição do Sol, R um ponto do Arco-Íris, sendo RC perpendicular à linha $SOCA$, e sendo DE a linha em que o plano $RSOCA$ corta o horizonte (Figura 2). Então, como o plano $RSOCA$ gira sobre a linha $SOCA$, as posições relativas de S , R e O permanecem as mesmas. Conseqüentemente, todo ponto no caminho de rotação de R vai situar-se no Arco-Íris, e este caminho é um círculo na esfera meteorológica. Menos da metade deste círculo será visível para um observador em O , mais da metade deste círculo está situado abaixo da linha do horizonte. Aristóteles estava atento ao fato de que, quanto maior a elevação do Sol sobre o horizonte, menor será a altitude aparente do Arco-Íris.



Fonte: Boyer. *The Rainbow*, p. 44

Figura 2 – Idéia de Aristóteles da formação do Arco-Íris com o sol em S acima do horizonte DOE

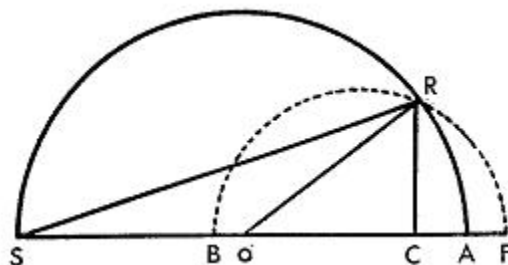
Essa constatação deveria ter sugerido a Aristóteles que o ângulo ROC é independente da elevação, ou seja, o raio angular do Arco-Íris é sempre constante. Segundo Boyer (1959, p. 44), essa ilusão conduziu Aristóteles à convicção errônea de que quanto mais alto estiver o Sol, menor é o Arco-Íris, mas maior é o raio do círculo do qual ele faz parte. Ele também chamou a atenção ao importante fato de que o Sol S, o olho do observador O, e o centro do Arco-Íris C são colineares, um elemento em sua explicação que não foi mantida pelos seus sucessores.

A terceira questão básica exposta por Aristóteles para compreensão do Arco-Íris era o tamanho do arco. Nem todos os pontos do círculo SRA são iluminados pelo brilho do Arco-Íris, mas só uma porção estreita sobre o ponto R. Qual a propriedade deste ponto? Raios de Sol não compõem somente a superfície do cone, os raios solares preenchem o volume inteiro, dentro e fora do cone. Por que esses outros raios não têm o mesmo efeito? Por que toda a superfície da esfera meteorológica não é inteira iluminada? A resposta estava à luz do conhecimento que Aristóteles tinha a respeito das leis de reflexão: somente no ponto R, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Mas a geometria elementar mostrou que este não pode ser o caso se pensarmos na esfera meteorológica como superfície refletora. O raio visual RO, considerado um raio da esfera, é perpendicular à superfície R; o raio solar SR não é um raio e,

conseqüentemente, não pode ser perpendicular à esfera (a não ser, evidentemente, que R coincida com A , e neste caso, o arco consistiria em um ponto somente).

Então, a superfície refletora não pode ser o próprio hemisfério meteorológico, senão a lei da reflexão para superfícies contínuas estaria violada. Aristóteles assumiu então, a reflexão de um segundo tipo: objetos pegados como pequenos espelhos no hemisfério que, de tão pequenos, somente a cor, e não a forma, resulta deles. E a reflexão ainda não ocorre completamente naqueles pontos da nuvem ou esfera. Deve haver alguma lei de uniformidade envolvida, uniformidade da qual dependa o argumento da circularidade. Por que só em algumas porções da nuvem funciona a reflexão do segundo tipo? Se o hemisfério meteorológico consiste de uma imensidão de minúsculas superfícies refletoras, ou “espelhos Aristotélicos”, diversamente orientados como em uma parede áspera ou a superfície da terra, então todos esses pontos do hemisfério deveriam ser efetivos na reflexão. Neste caso o Arco-Íris não deveria ser uma faixa apenas, mas uma luminosa concavidade invertida similar a abóbada celeste.

Segundo Boyer (1959, p. 45), a fim de esclarecer este ponto crítico, Aristóteles fez uma corajosa suposição. Ele sustentou que a eficácia da reflexão depende da distância do Sol até o local da reflexão. Em outras palavras, ele assumiu que, para ser efetiva, a reflexão deve ser igual ao raio solar SR que estabelece com o raio visual RO uma relação muito especial. Considerando as implicações deste postulado, ele mostrou como determinar geometricamente o ponto R (Figura 3). O ponto desejado do Arco-Íris será a interseção do ponto r deste semicírculo posterior com o semicírculo meteorológico SA .



Fonte: Boyer. The Rainbow, p. 46

Figura 3 – Determinação aristotélica do ponto R com a luz produzindo Arco-Íris e refletindo para o olho em O

Embora as explicações para essas questões do Arco-Íris sejam muito ingênuas à luz da ciência moderna, deve ser reconhecido que, para a época, esta teoria meteorológica geométrica era bastante sofisticada. Foi uma primeira tentativa geométrica de se mostrar um problema realmente difícil, e que não teve nenhum sucessor por quase dois mil anos. Entretanto, as principais características qualitativas de sua teoria, com ênfase na esfera meteorológica e no papel da nuvem como um todo, dificultaram o avanço do estudo do Arco-Íris por muitos séculos.

A quarta questão Aristotélica a respeito do Arco-Íris era relativa à maneira pela qual as cores são formadas. Aristóteles já estava convencido de que a reflexão causada no arco não era do tipo da imagem formada, mas do tipo que resulta em cor. Mas por que as cores aparecem numa variedade padrão diferente do azul do céu ou do vermelho do pôr-do-sol? Sabendo que os raios de Sol são vistos freqüentemente por meio de névoas e nuvens, ele acreditava que a coloração vermelha resultante era o resultado do enfraquecimento da luz ao atravessar um meio como fumaça ou neblina. Do mesmo modo, raios que atravessam a água são atenuados; mas, a maior obstrução que pode ocorrer é a da neblina ou névoa, em que a luz resultante ao atravessá-las, leva uma cor azul-esverdeada.

Em outras palavras, a teoria Aristotélica derivou da suposição básica de Anaxímenes que luz e escuridão, ou branco e preto, produzem, por mistura, outras cores, como o vermelho, que contém mais luz do que escuridão, o azul, em que a escuridão predomina a claridade. A multiplicidade de cores é o resultado da diferença na proporção de partes de luz e escuridão componentes (BOYER, 1959, p. 47).

Apesar dessas possíveis combinações, Aristóteles acreditava que havia três cores primárias, organizadas do mais forte ao mais fraco, isto é, contendo maior ou menor proporção de branco: o vermelho, o verde e o azul. A Teoria Tricromática de Aristóteles foi uma antecipação da teoria moderna das cores. Aristóteles sugere que as outras cores são o resultado da justaposição das cores primárias por contraste.

A aplicação da teoria da cor de Aristóteles para o Arco-Íris foi um dogma que durou muitos séculos. Apesar de ser considerada as três cores primárias, ele não negava o aparecimento de outras cores no Arco-Íris:

O aparecimento do amarelo é devido ao contraste, o vermelho é embranquecido por sua justaposição com o verde. Nós podemos ver isso pelo fato de que o arco-íris é mais puro quando a nuvem for mais escura; e então o vermelho exhibe mais o amarelo. Assim o vermelho intenso exhibe o branco por contraste com a escuridão da nuvem ao redor: isto para o branco comparado com a nuvem e o verde (ARISTÓTELES apud BOYER, 1959, p. 49).

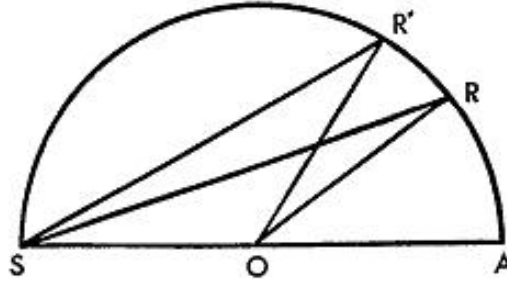
Entretanto, Aristóteles argumenta que as cores do Arco-Íris aparecem sempre num mesmo arranjo claramente discernível. Para esta uniformidade, ele apresenta algumas explicações. A cor, de acordo com Aristóteles, é causada pelo enfraquecimento da luz ou da visão, e tal enfraquecimento pode resultar: 1) de uma reflexão da luz; 2) da distância pela qual a luz ou a visão é transmitida; 3) pela fraqueza da visão. Desse modo, as cores do Arco-Íris são causadas pela reflexão da luz ou visão e pelo enfraquecimento dos raios com a distância da transmissão. Na explicação a respeito do tamanho do Arco-Íris, foi assumido que a reflexão acontece em um ponto determinado R , mas a reflexão é efetiva para um pequeno intervalo na esfera meteorológica anterior e posterior a este ponto. Sendo o raio SR ligeiramente maior que OR , Aristóteles argumentava que a refração da luz nos pontos anterior a R é mais intensa (devido à brevidade relativa do raio de Sol), do que em pontos abaixo de R , que são mais fracos (o raio de Sol é mais longo). A ordem invariável das cores do Arco-Íris é: vermelho em cima, azul embaixo, com o verde no meio.

O Arco-Íris secundário já era conhecido na antiguidade, entretanto, o primeiro registro conhecido de como ele é determinado, segundo Boyer (1959, p.50) consta no tratado *On Meteorology* de Aristóteles.

Para o Arco-Íris secundário³, a explicação Aristotélica apresentou um certo grau de inconsistência. Ele considerava que o arco secundário era causado da mesma maneira que o primário, pela reflexão dos raios em uma nuvem em um ponto acima de onde os raios refletidos produzem o arco primário (Figura 4). O princípio de regularidade geométrica no segundo tipo de reflexão estaria violado, a menos que se assuma a proporção $SR:OR=K$, encontrando acima dois pontos R

³ Segundo Boyer (1959, p. 50), nenhum dos diagramas originais de Aristóteles para o arco primário foram conservados, os que aparecem em tratados modernos são reconstruções feitas por comentaristas medievais. Para o arco secundário, não existem nem sequer diagramas

e R' no grande círculo da esfera meteorológica, em que a reflexão no primeiro ponto produziria o arco primário, e no segundo ponto, o arco secundário.



Fonte: Boyer. The Rainbow, p. 51

Figura 4 – Concepção de Aristóteles de que os Arco-Íris primário e secundário eram formados no mesmo trajeto

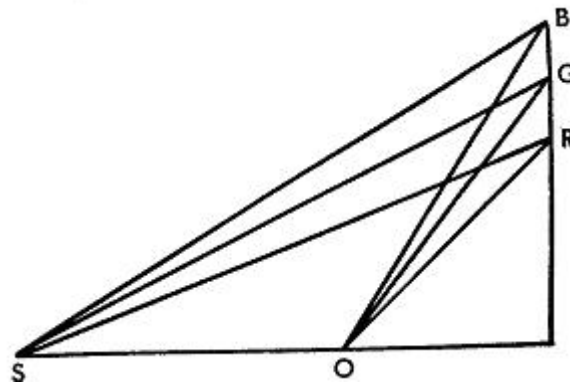
Mas as observações demonstram que o arco em R' é muito mais claro do que em R , embora a relação $SR':R'O$ que determina o enfraquecimento dos raios é menor que a relação $SR:RO$. Além disso, não podemos colocar R' mais distante de O do que R sem derrubar a fundamentação Aristotélica inteira, para a distância SO , do Sol para o observador, deve ser a mesma para ambos os arcos. E ainda Aristóteles discute que “a reflexão do arco-íris externo é mais fraca porque acontece de uma maior distância e menos atinge o sol, e assim as cores vistas são mais tênues” (ARISTÓTELES apud BOYER, 1959, p. 51).

Outra dificuldade mais séria surge com relação à ordenação das cores. Com a diminuição da relação $SR':OR'$, presume-se que os raios ficariam mais fortes, e ainda, no Arco-Íris secundário, as cores são organizadas em ordem oposta: a faixa vermelha é interna, o azul por fora, e o verde entre eles. Então Aristóteles abandona, para ambos os arcos, o argumento de cor acima. Apesar de sua afirmação de que os arcos são formados da mesma maneira, Aristóteles aduziu duas explicações completamente diferentes para os arranjos de cor.

Para o arco primário, ele estabelece o fator dominante da área total da esfera meteorológica iluminada pelos raios de visão. O raio mais externo das três faixas coloridas pode ser mais notável do que o interior, a área externa do anel

semicircular é maior do que a interna. Se a cor for em função da soma total da visão refletida, a faixa exterior deveria ser naturalmente mais luminosa que a interna; e isso explica o fato que a faixa precedente é vermelha e a posterior é azul.

Este argumento não pode ser aplicado para o arco secundário, uma vez que as cores se apresentam em uma ordem contrária a essa. Aristóteles recorre a uma linha de argumento completamente diferente, que dispensa a esfera meteorológica e a substitui por um plano vertical contendo o arco (BOYER, 1959, p.52). Sendo B , G e R os pontos mais altos, respectivamente as faixas azul, verde e vermelha do arco secundário, organizam-se em uma linha vertical, com S sendo o Sol e O o observador (Figura 5). Considerando que o raio SOB é mais longo e mais obliquamente refletido que o raio SRO , o primeiro aparece azul e o posterior vermelho, com o verde intermediário. Assim, a dificuldade apresentada para a ordem inversa das cores estava resolvida.



Fonte: Boyer. The Rainbow, p. 52

Figura 5 – Explicação aristotélica para a ordem das cores no Arco-Íris secundário

Por volta de 650 d.C., AL QARĀFI escreve um trabalho científico em óptica conhecido como *Kitāb al istibsār fimā tudrikuhu'l absār* que pode ser traduzido como “A revelação do que os olhos podem perceber”. Segundo Sayili (1940, p. 17), AL QARĀFI preparou este livro escrevendo cinquenta questões no qual o 36º problema é o que trata do Arco-Íris. As questões levantadas por ele são essas: o que causa as cores e a forma circular do Arco-Íris; por que o Arco-Íris aparece especialmente em certos tempos definidos; e por que às vezes é pequeno e às vezes é grande?

Ele primeiro estabelece as condições necessárias para o aparecimento do Arco-Íris e dá as posições relativas do Sol, do observador e do arco, afirmando que o Arco-Íris é produzido no ar pela reflexão do Sol nos vapores, mas que a imagem não tem a forma do objeto porque os espelhos que dão origem à imagem são muito pequenos. Ele também determina que são quatro as cores do Arco-Íris: vermelho, amarelo, azul-celeste e a cor pura (luz direta), esta última não seria resultado da mistura da cor dos raios solares com a dos vapores d'água. Essa explicação está baseada nos quatro princípios citados em seu livro, em que ele diz: espelhos coloridos não produzirão fielmente a cor de um objeto; a cor da imagem está entre a cor do objeto e a do espelho. Apesar de AL QARĀFI ter se dedicado à explicação do Arco-Íris, é relevante esclarecer que sua visão de reflexão baseava-se na idéia de que ambos os raios, os que procedem dos olhos e os que procedem da fonte luminosa, obedecem às leis de reflexão.

Até o início do século XIII, a explicação do Arco-Íris tinha avançado pouco em relação ao que já se conhecia na época de Aristóteles. Porém a situação ia mudar radicalmente nos próximos cem anos, e neste movimento de mudança, Robert Grosseteste (1175-1253) ocupa uma posição fundamental (BOYER, 1954, p.249). Ele foi educado em Oxford e Paris, onde mostrou um interesse muito grande pelo estudo de idiomas. Este fato foi especialmente importante para o estudo do Arco-Íris, uma vez que havia uma escassez de fontes latinas contemporâneas desse conhecimento. Além disso, Robert Grosseteste tornou-se muito interessado por ciência e pelo método científico, interessando-se particularmente pela óptica, que ele considerava ser a chave para compreensão do mundo físico (BOYER, 1959, p. 88). Ele estava consciente da aproximação relativa entre indução e dedução: por meio do conhecimento empírico a pessoa procede a prováveis princípios gerais e, dessas premissas, deriva conclusões que constituem verificações ou falsificações desses princípios. Essa abordagem da Ciência não é distante de Aristóteles, mas Grosseteste deu a isto uma clareza e perspicácia que alguns escritores o consideram um dos fundadores da moderna Ciência experimental.

Entre os seus numerosos trabalhos há um com o título *De iride seu de iride et speculo*, provavelmente escrito antes de 1225, no qual ele esboça as três visões habituais de perspectiva: a visão direta (ótica), a reflexão (catóptrica) e a refração (dióptrica). Para ele, a refração era o mais difícil dos três, porém o mais

maravilhoso, pois faz coisas distantes parecerem próximas e pequenas coisas parecerem grandes. Na sua formulação, encontramos que na reflexão, o ângulo de incidência está em igualdade ao ângulo de reflexão; mas na refração, os fenômenos dependem do ângulo ao qual o objeto é visto, da posição e da ordem dos raios e da distância (BOYER, 1954, p. 249).

Neste trabalho Grosseteste faz, possivelmente pela primeira vez, uma associação do Arco-Íris com o importante fenômeno da refração. Entretanto, alguns historiadores da física negligenciaram a sua contribuição, atribuindo ao trabalho de Witelo, escrito em 1269, dezesseis anos após a morte de Grosseteste, o primeiro uso da refração na explicação do Arco-Íris. Apresentando sua teoria moderna, esse autor primeiramente refuta a idéia tradicional de que o Arco-Íris é devido à reflexão dos raios de Sol na superfície de uma nuvem (entendida como um espelho côncavo ou convexo).

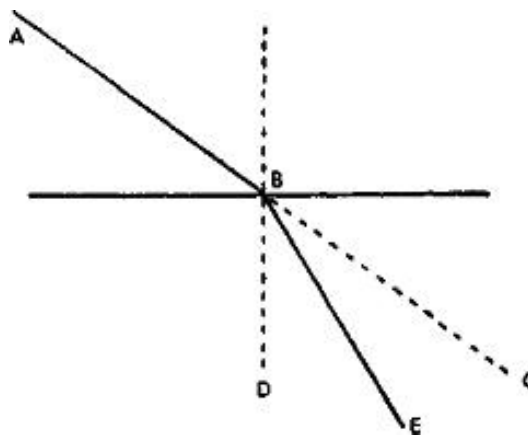
Então, ele afirma que o arco é devido à refração dos raios dentro de uma nuvem úmida convexa. O interior de uma nuvem ele afirma ser côncavo, de acordo com a natureza da luz. Como a umidade da nuvem desce da concavidade, forma uma pirâmide convexa ou cone, em que a porção mais próxima a Terra é mais condensada do que a parte mais alta. Assim, há quatro regiões transparentes pelas quais os raios de Sol passam: o ar puro que cerca a nuvem, a própria nuvem, a mais alta e, conseqüentemente mais rarefeita, e a mais baixa e mais densa em umidade no cone piramidal. Já que os raios de Sol são refratados ao passar de um meio para outro, devem ocorrer três refrações ali. Nesta explicação, a refração entra com ênfase na teoria do Arco-Íris, mas, infelizmente Grosseteste parece ter deixado de lado a reflexão.

O *De Iride* explica que as refrações no cone descendente do primeiro meio transparente causam uma conversão dos raios de Sol, e então, por uma refração adicional, espalham-se além da superfície cônica, expandindo em uma direção oposta ao Sol. Os meios superior ou inferior, do cone declinam na nuvem oposta ao Sol. Grosseteste especificamente não diz, mas podemos presumir por esta nuvem que os raios de Sol são refletidos aos olhos do observador (BOYER, 1959, p. 92). É bem possível que a suposição de Grosseteste de dois corpos distintos, um transparente (o cone descendente) e outro opaco (a nuvem) pode ter relação com a explicação já conhecida dos dois componentes de um espelho, o vidro transparente e o fundo escuro. Em outras palavras, os raios

solares, após sofrerem as múltiplas refrações postuladas, encontram uma nuvem distante ou outro fundo escuro e são assim refletidos aos olhos.

Essa tentativa de Grosseteste para explicar as propriedades de lentes e espelhos e o Arco-Íris, recorrendo a matemática, em conjunto com outros princípios metodológicos, é notadamente percebida em sua obra.

Grosseteste até mesmo estruturou uma simples (embora incorreta) lei de refração (BOYER, 1959, p. 89). Ele acreditava que partes da matemática deveriam manipular as ciências, supondo que, caso contrário, seria impossível entender o mundo físico. Ele estava à procura de regularidades numéricas e geométricas. Assim, ele buscou relacionar a igualdade dos ângulos da lei de reflexão ao princípio de que a operação na natureza é finita e regular. Uma vez que a lei da reflexão depende da igualdade dos ângulos, Grosseteste tentou levar a refração a alguma igualdade análoga. Considerando AB um raio de luz que atinge obliquamente a superfície B num segundo (porém mais denso) meio (Figura 6). Sendo AB estendido junto a AC , e BD perpendicular à superfície. Então o raio refratado se estenderá ao longo da linha BE , formando ângulos iguais com BD e BC . Esta lei, evidentemente, é equivalente para a afirmação de que o ângulo de incidência é proporcional ao ângulo de refração, a razão seria dois, um resultado que é razoavelmente correto somente para ângulos pequenos e desde que o índice de refração seja dois.



Fonte: Boyer. *The Rainbow*, p. 90

Figura 6 – Diagrama que ilustra a lei de refração de Grosseteste, ângulo $CBE =$ ângulo EBD

Ele não declara explicitamente que a refração poderia ser usada para explicar as cores. Porém, há uma sugestão de que ele pode ter associado cor e refração, pois ele diz que a variedade de cores é devido à mistura da luz com os meios diáfanos (BOYER, 1954, p. 251). É certo que a explicação para o Arco-Íris de Grosseteste é crua e fantástica, mas deve também ser lembrado que esta é a primeira tentativa de se incluir a refração.

Roger Bacon (1214-1292), conhecia e admirava o trabalho de Grosseteste e também teve acesso aos tratados Gregos e Árabes a respeito de fenômenos ópticos, aliados aos métodos matemáticos e experimentais, apresentou grandes avanços nessa área. Os resultados de suas investigações a respeito do Arco-Íris fazem parte do *Opus Majus*, composto em 1266-1267 para o Papa Clemente IV.

Contrariando os avanços introduzidos por Grosseteste, Roger Bacon rejeitou a consideração da refração na explicação do Arco-Íris, reafirmando a teoria da reflexão, segundo a teoria Aristotélica. Roger Bacon viveu uma geração após Grosseteste e teve acesso aos trabalhos dele, pois os cita literalmente. Segundo Lindberg (1966, p. 236), embora Bacon tenha negado o papel da refração, ele avançou na teoria do Arco-Íris em dois aspectos primordiais. Primeiramente, ele rejeitou a idéia da refração por perceber a falta de boas razões, atacando alguns aspectos nebulosos da teoria da refração de Grosseteste. Segundo, porque, embora Bacon não concordasse com a causa da refração, ele desenvolveu e refinou outros componentes essenciais para qualquer explicação satisfatória do Arco-Íris.

Sabemos, atualmente, que a refração é essencial para a explicação do fenômeno, mas é necessário considerar que a reflexão também está envolvida e que, tanto a refração quanto a reflexão, ocorrem em gotas individuais. Bacon fez uma significativa contribuição quando chamou a atenção à função desenvolvida pelas gotas individuais e a importância da posição do observador em relação ao Arco-Íris. Ele recorreu a seus antecessores, principalmente Aristóteles, para a geometria básica desse fenômeno.

Segundo Bacon (LINDBERG, 1966, p. 237), o Arco-Íris sempre aparece diretamente oposto ao Sol, existindo uma linha que conecta o centro do Arco-Íris ao centro do Sol e atravessa o olho do observador. Podem então ser imaginados dois cones. O cone do Arco-Íris (*pyramis iridis*) tem seu vértice no Sol e

sua base no Arco-Íris. Distinto dele está o cone visual (*pyramis visualis*), com seu vértice no olho do observador e sua base determinando o campo de visão. A melhor visão do Arco-Íris ocorre quando a base do cone visual coincide ou inclui com a base do seu cone, situação em que compartilham o mesmo eixo e base.

As demais explicações geométricas seguem logicamente o cumprimento dessas condições. Se o observador está na linha de ligação do centro do Sol e do centro do Arco-Íris, e o cone visual e o seu cone compartilham o mesmo eixo e base, a “proximidade” do Sol com o horizonte aumentará a altitude do Arco-Íris; o arco alcançará sua visibilidade máxima ao amanhecer e ao pôr-do-sol. Bacon contribuiu para a geometria desse fenômeno ao afirmar, corretamente, que a elevação média máxima do arco é de 42°. A geometria básica do Arco-Íris, como foi esboçada por ele, estava à frente da teoria de Aristóteles. O problema que demandava atenção era a causa de suas cores. Bacon declarou, apoiado em Aristóteles, que as cores eram o resultado de um defeito de visão, o enfraquecimento ou atenuação dos raios visuais ao passarem por meios densos. Em uma nuvem densa aparece o azul, como a densidade da nuvem diminui, a cor atravessa em séries de verde, vermelho, cinzento e rosa, e branco. (LINDBERG, 1966, p. 243).

Outro aspecto considerado por Bacon é que dois observadores separados por uma pequena distância não podem ver o mesmo Arco-Íris. Bacon expressou o argumento,

Desde que isto é evidente, como nós aprendemos por experiência que há tantos arco-íris quanto os observadores. Se duas pessoas estão observando o arco-íris ao norte e uma se move para o oeste, o arco-íris se moverá paralelo a ele; se o outro observador se mover para o leste, o arco-íris se moverá paralelo a ele; e se ele ficar parado, o arco-íris permanecerá estacionário. É evidente, então, que há tantos arco-íris quanto os observadores, do que se segue que dois observadores não podem ver o mesmo arco-íris, embora uma pessoa inexperiente não compreenda este fato. Para a sombra de cada observador divide o arco do arco-íris ao meio; então, desde que as sombras são sensivelmente paralelas, elas não se encontram ao meio do mesmo arco-íris, e cada observador tem que ver seu próprio arco-íris (BACON apud LINDBERG, 1966, p. 242).

Bacon ainda afirma que o Arco-Íris é produzido quando os raios de luz solar atravessam pequenas gotas em quantidade infinita que descem de uma

nuvem; em cada um destes pingos de chuva ocorre uma reflexão como em um espelho esférico, e desde que eles caem sem intervalo, parecem ser contínuos de longe. Então, a imagem do Sol parece contínua e não multiplicada de acordo com a multidão de gotas.

Quanto ao número de cores, ele afirma ser cinco: branco, azul, vermelho, verde e preto. E explica a razão de sua afirmação:

Porque o número cinco é mais vantajoso do que outros números, como Aristóteles diz no *Book of Secrets*...Porque o número cinco mais definitivamente distingue melhor as coisas e, por essa razão a natureza particularmente determina que haverá cinco cores. Então, essas cinco cores estão em um arco-íris, em lugar de outras cores, conforme o arranjo geral da natureza que leva em consideração o propósito do que é mais vantajoso” (BACON apud BOYER, 1959, p.102).

Em conformidade a esta idéia, Bacon notou que há cinco corpos no olho, três humors e duas camadas (a úvea e a córnea); e que as cinco cores aparecem de acordo com as propriedades dessas cinco partes.

Deve ser observado que Roger Bacon não clareou totalmente o problema do Arco-Íris, mas as contribuições dadas por ele, como a estimativa do raio aparente do arco e a idéia das gotas individuais para a formação do fenômeno, são suficientes para o seu reconhecimento na construção dessa teoria.

Uma primeira explicação elementar correta para o Arco-Íris foi dada por Teodorico de Freiberg aproximadamente por volta do século quatorze, em que foi demonstrado pela primeira vez que o arco primário é causado por duas refrações e uma reflexão dos raios de Sol nas gotas de chuva, e o arco secundário é causado por duas refrações e duas reflexões.

Em algum momento logo após 1304, Teodorico de Freiberg (†c. 1310), foi encorajado pelo mestre de sua ordem a pôr por escrito suas novas idéias a respeito do Arco-Íris. Ele tinha sido um professor de teologia na Alemanha, e o autor de pelo menos trinta trabalhos sobre metafísica e óptica, dos quais aproximadamente doze estão hoje perdidos. Em 1304, ele foi enviado para o quartel general de sua ordem; e neste ano, em Toulouse, ele realizou seu trabalho sobre o Arco-Íris. Em 1310 ele foi a Paris como mestre em teologia. Após 1311, não há mais informação a seu respeito, sendo que podemos concluir que esta é

aproximadamente a data de sua morte.

O livro de Teodorico a respeito do Arco-Íris, *De Iride et Radialibus Impressionibus*, é um trabalho longo. Isso pode ser considerado incomum, pois o *De Iride* de Grosseteste era equivalente a menos de uma meia dúzia de páginas. Teodorico não faz, em seu trabalho, praticamente nenhuma referência a teorias anteriores sobre o Arco-Íris, sendo quase impossível reconstruir o desenvolvimento histórico de suas idéias. Parece, todavia, que ele estava certamente familiarizado com os trabalhos em óptica da época, com algumas fontes gregas (incluindo Aristóteles) e com o trabalho de Avicena. Segundo Boyer (1959, p. 111) o *De Iride* de Teodorico é um relatório dos estudos experimentais e conclusões novas do autor.

A história do Arco-Íris mostra que a mera observação, ainda que muito acurada e constante, não poderia levar o homem muito longe na compreensão do fenômeno. O arco é muito impalpável, remoto e efêmero para permitir um estudo concentrado. O que era preciso urgentemente era alguma maneira de fazer o arco mais tangível – de trazê-lo para dentro do laboratório, onde ele poderia ser estudado de perto sempre que fosse necessário (BOYER, 1959, p.111). Enquanto os homens pensavam nas nuvens como o agente produtor do arco, nenhum estudo factível de laboratório parecia disponível.

As explicações do Arco-Íris freqüentemente referiam-se a gotas de chuva, mas em geral parecia que era a totalidade das gotas que seria importante. Quando as cores do arco tinham sido comparadas com aquelas do espectro produzido por um globo d'água, o globo foi igualado à nuvem ou a um agregado de gotas. Alhazen tinha feito muitas observações experimentais em globos d'água, mas seu estudo foi restrito por causa das preconcepções: ele pensava na esfera ou como uma lente de aumento ou como um refletor. Nem uma única vez o pensamento parece ter-lhe ocorrido que o globo d'água pode ser pensado, não como uma diminuta nuvem esférica, mas como uma gota ampliada.

Esta foi a idéia brilhantemente simples que ocorreu a Teodorico; a qual ele adicionou um postulado igualmente simples – que o Arco-Íris nada mais é do que o agregado dos efeitos produzidos por cada gota individual, sem referência às propriedades do cone ou da esfera ou de outra figura às quais que eles podem se assemelhar enquanto totalidade (BOYER, 1959, p. 112).

Além da criatividade de sua imaginação, Teodorico de Freiberg

estava rigorosamente embasado nos ensinamentos ópticos disponíveis na época. Ele era um neoplatônico que havia sido motivado em seus estudos pela metafísica da luz presente no trabalho de Grosseteste, além de ter uma boa formação em matemática. Apesar de sua explicação ser moderna para época, em muitos sentidos ele também foi um produto de seu tempo e, especialmente, dos tratados que ele tinha lido.

O *De Iride* de Teodorico é composto de quatro partes: um tratamento geral da teoria da óptica; depois a teoria do Arco-Íris primário; em seguida, a explicação do arco secundário; e, por fim, uma consideração dos outros tipos de impressões induzidas por raios. Seu comentário inicial nos lembra muito os de Grosseteste: é função da física dizer o que o arco é (por exemplo, uma concentração de raios, em ar úmido, ou uma nuvem estendida em um arco colorido acima do horizonte), e da óptica determinar o *propter quid* ["por causa de quê"], mostrando a maneira como esse tipo de concentração pode ser produzido por raios direcionados a um local específico na nuvem, e ali, por meio de refrações e reflexões determinadas, redirecionadas para o olho. E um pouco mais adiante ele menciona a divisão usual de caminhos da luz: direta, refletida e refratada. Ele acreditava que era exaustiva sua enumeração das "impressões radiais", que incluíam os Arco-Íris primário e secundário, arcos vermelho e branco, halos lunar e solar brancos e coloridos, e parélios. Para ele, todos esses fenômenos dependiam de cinco tipos básicos de fenômenos radiais: (1) uma reflexão simples, (2) uma refração simples, (3) duas refrações com uma reflexão interna intermediária, (4) duas refrações com duas reflexões internas intermediárias, e (5) uma reflexão total na fronteira de dois meios transparentes (BOYER, 1959, p. 112-113). Ele acreditava que esses cinco tipos de fenômenos de raios poderiam ocorrer em vapores e nuvens contínuos, ou então em nuvens, chuva e névoa feitas de partículas discretas.

O segundo livro traz seções sobre a natureza da luz e das cores, tópicos tratados de maneira mais completa em outros trabalhos, *De Luce* e *De Coloribus*. Ele admitiu que a autoridade de Aristóteles era digna de respeito, mas reconheceu a autoridade superior da evidência dos sentidos:

Dizemos que se deve ensinar o que o Filósofo disse, por conta da autoridade de sua doutrina filosófica e do respeito que ela merece; e cada um deve interpretar aquilo que é dito de acordo com seu conhecimento e habilidade. Mas deve ser entendido, de acordo com o mesmo Filósofo, que não se deve nunca se afastar daquilo que é evidente para os sentidos (TEODORICO DE FREIBERG apud BOYER, 1959, p. 113).

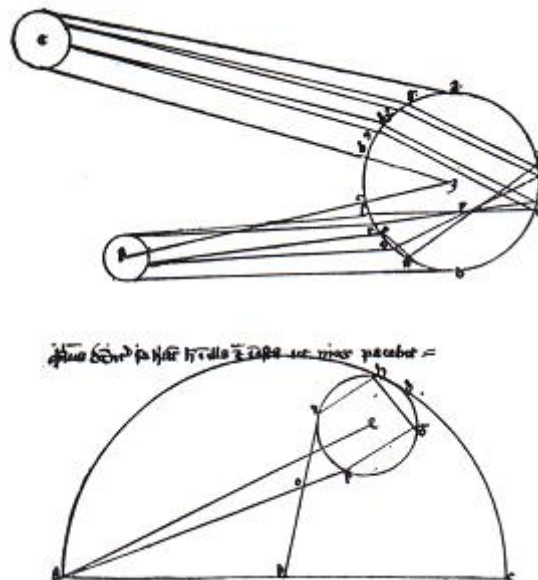
Segundo Boyer (1959, p. 113-114), Teodorico afirmou que as cores que aparecem no Arco-Íris são quatro. Essa afirmação categórica é claro, era injustificada; mas pelo menos ele justificou sua argumentação não a partir da numerologia, como fez Roger Bacon, mas de observações feitas por ele, como cores em teias de aranha, nos Arco-Íris vistos nos borrifos de água de rodas de moinhos, nas gotas de orvalho na grama (se o olho for colocado próximo a elas), em cristais hexagonais colocados na luz do Sol, em gotas d'água aspergidas na luz do Sol e observadas por alguém situado na sombra. Em cada um e em todos esses casos, as cores e seu arranjo são o mesmo: primeiro vermelho, depois amarelo, em seguida verde e finalmente roxo. Sua explicação da formação de cores era uma modificação das versões aristotélicas de seus contemporâneos, cujo fundamento era a combinação da luz e da sombra. Ele acreditava que haveria dois princípios formais (claro e escuro) e dois princípios materiais (o limitado e o não-limitado); e as quatro cores corresponderiam às várias combinações destes. O vermelho é claro e não-limitado; o amarelo é claro e limitado; o verde é escuro e não-limitado; e o azul é escuro e limitado. Na refração da luz, as cores são produzidas pelo enfraquecimento resultante da resistência devida ao meio. Ele argumentava que a luz que cai perpendicularmente à superfície retém sua força original, e assim os raios nesse caso não seriam tingidos. Quando ela incide obliquamente, aquelas cores que são menos enfraquecidas (vermelho e amarelo) aparecem do lado mais próximo à linha que o raio incidente seguiria se não fosse desviado; e as cores mais enfraquecidas estariam mais longe desta linha. E as cores sempre seguem “na mesma ordem inviolável” (TEODORICO DE FREIBERG apud BOYER, 1959, p.114).

Seus experimentos com o frasco esférico de água, sua gota d'água aumentada, o levaram a uma observação que foi crucial para sua teoria do Arco-Íris. Ele percebeu a reflexão dos raios luminosos na superfície côncava interna da

gota d'água. No caso de raios luminosos que atravessam gotas de chuva, a reflexão interna não é total; parte da luz atravessa a superfície traseira, como Teodorico bem sabia. Mas ele descobriu que a reflexão de raios luminosos na superfície interna tem intensidade suficiente para gerar uma impressão no olho do observador, e isso ele tomou como sendo a explicação para o Arco-Íris:

Deixe a irradiação entrar no corpo transparente, muitas vezes mencionado, e passar através dele para a superfície oposta, e daí ser refletida internamente de volta para a primeira superfície pela qual entrou originalmente, e depois de ele sair deixe-o ir para o olho; tal irradiação, eu digo, porquanto é produzida por um corpo esférico transparente, serve para explicar produção do arco-íris (TEODORICO DE FREIBERG apud BOYER, 1959, p. 114).

Teodorico passou a explicar que os raios do sol atingem a parte superior do globo d'água, são refratados para dentro da esfera, são refletidos de volta na superfície côncava interna na traseira do globo ou gota, e então são refratados mais uma vez ao saírem pela parte frontal inferior da superfície esférica, atingindo o olho do observador (Figura 7).

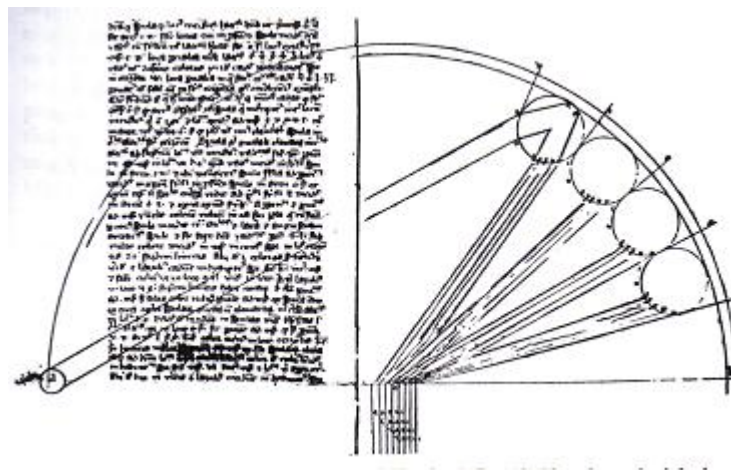


Fonte: Reproduzido de Crombie apud Boyer. The Rainbow, p.115

Figura 7 – Diagramas acompanhando a explicação de Teodorico do Arco-Íris

Obviamente, nem todos os raios que entram e saem das gotas após uma reflexão interna retornam no caminho apropriado para atingir o olho. Ao fazer experimentos com seu globo de água, Teodorico descobriu que há apenas algumas posições determinadas da gota, em relação ao Sol e ao olho, nas quais aos raios ficam visíveis. Ele compreendeu que era por isso que o Arco-Íris tinha forma circular. O ângulo entre a trajetória dos raios do Sol para a gota e a trajetória dos raios da gota para o olho deve sempre ser o mesmo, pois isso é determinado pelas leis da reflexão e refração. Este é o ângulo que determina o raio do Arco-Íris, ou seja, sua altitude máxima.

De acordo com Boyer (1959, p. 116), essa parte de seu trabalho não era inédita, pois uma explicação correta da circularidade era conhecida de Aristóteles e de muitos de seus sucessores. E nem havia nada de novo na repetição de Teodorico do fato de que quando um observador muda sua posição, ele vê um novo Arco-Íris, no sentido de que um conjunto inteiramente diferente de gotas é necessário para sua formação. Uma descoberta que em um certo sentido era nova e surpreendente foi a observação de Teodorico de que para qualquer posição do globo, raios de apenas uma cor podiam ser vistos. Isso significava que apesar de parecer haver continuidade nas cores do Arco-Íris, cada gota é responsável por apenas uma cor do arco.



Fonte: Reproduzido de Crombie apud Boyer. The Rainbow, p.116

Figura 8 – Diagrama de uma cópia manuscrita do *De Iride* de Teodorico. Cada uma das quatro gotas envia para o olho uma cor diferente

As cores não vêm todas simultaneamente para o olho, quando o olho está na mesma posição em relação à gota, mas cores diferentes atingem o olho, de acordo com as diferentes posições em que ele está em relação a uma gota em particular. Conseqüentemente, se todas as cores são vistas ao mesmo tempo, como ocorre no Arco-Íris, e isso deve necessariamente resultar de diferentes gotas que têm diferentes posições em relação ao olho e do olho em relação a elas.

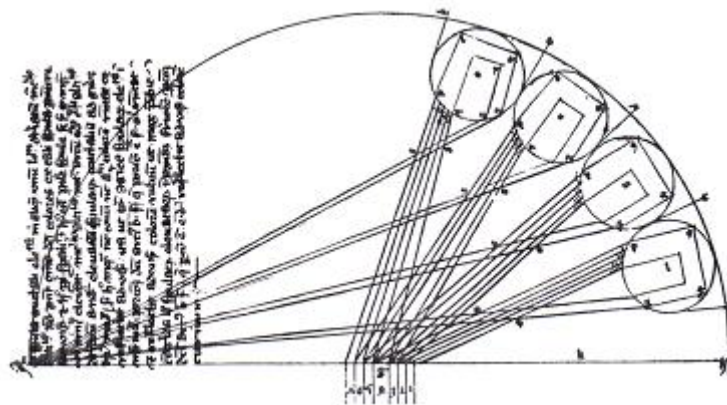
A explicação de Teodorico é uma descrição claríssima e essencialmente correta do mecanismo que produz o Arco-Íris. Se ele tivesse parado aí, seu trabalho já seria amplamente superior ao de qualquer um dos estudiosos anteriores a ele que haviam buscado sem sucesso explicar o Arco-Íris. Mas Teodorico não havia terminado. No Livro III ele prosseguiu para a formação do arco secundário. Da mesma maneira que ele tinha descoberto, por meio de observações cuidadosas com sua enorme gota d'água, que o arco primário pertencia à sua terceira categoria de "impressões radiais" (envolvendo duas refrações e uma reflexão intermediária), assim também ele descobriu que o arco secundário pertence ao tipo quatro (causado por duas refrações separadas por duas reflexões internas). Neste último caso, raios provindos do Sol incidem na parte *inferior* da gota, são refratados para dentro dela, são refletidos duas vezes na superfície interna, e finalmente saem, com outra refração, da parte *superior* da gota até alcançar o olho do observador (Figura 9). Neste caso, também, as posições das gotas para qualquer cor isolada e qualquer observador único são caracteristicamente determinadas de forma que o ângulo entre os raios vindos do Sol e aqueles que retornam para o olho é constante. Portanto, o arco externo também é uma parte de um círculo, e os dois Arco-Íris são concêntricos. E, como no caso do arco interno, qualquer gota única que participa da formação do arco externo manda para o olho raios de uma única cor; e as gotas que produzem o arco externo para um observador são diferentes das que produzem para outro.

A história do Arco-Íris até a época de Teodorico de Freiberg estava centrada em larga medida no arco primário. Isso dificilmente poderia ser de outra maneira; enquanto não tivessem compreendido corretamente o primário, não havia muito sentido em tentar explicar o secundário. Segundo Boyer (1959, p. 117), os cientistas em geral tinham se refugiado em uma ou outra de duas interpretações – ou eles defendiam vagamente que ele era gerado de maneira análoga ao primário (e neste caso a reversão das cores era uma dificuldade), ou eles se refugiavam em

uma crença plausível de que o secundário era uma imagem especular do primário (e neste caso a concentricidade dos arcos era um empecilho).

Parece não ter havido nenhuma teoria sistemática para o secundário, comparável à explicação de Aristóteles para o primário. Teodorico, no entanto, mostrou claramente que a explicação de um era quase nada mais complicada que a explicação do outro. Uma reflexão interna adicional dentro de cada gota era tudo que era necessário. E esta explicação simples deveria ser suficiente para explicar a relativa palidez do arco exterior, e também do fato de que freqüentemente ele não aparece quando o arco interno está claramente visível. A reflexão interna dupla enfraquece a luz, parte da qual é perdida em cada reflexão.

Entretanto, Teodorico acreditava que havia diversos outros fatores contribuindo para a palidez do arco secundário, como a suposta distância maior do arco exterior em relação ao observador, revelando que ele reconhecia a importância de algumas das idéias aristotélicas. Além disso, os raios que causavam o arco mais elevado retornariam de maneira mais oblíqua das gotas, e isso tenderia a uma maior debilidade, também outro argumento aristotélico.



Fonte: Reproduzido de Crombie apud Boyer. *The Rainbow*, p. 118

Figura 9 – Diagrama de Teodorico, ilustrando a formação das diferentes cores do Arco-Íris secundário

Teodorico esforçou-se muito para explicar a inversão nas ordens das cores nos dois arcos. Ele havia percebido, em seus experimentos de refração, que o vermelho invariavelmente aparecia no lado do raio emergente mais próximo do caminho do raio incidente (estendido para dentro do meio), o azul no lado mais distante do caminho prolongado do raio incidente. Assim, seria de se esperar que

uma inversão no sentido de rotação causasse uma inversão na ordem das cores. Teodorico pode ter tido isso em mente quando ele se referiu à luz solar como tendo sido virada “por suas incidências e reflexões em torno da superfície côncava oposta da gota” (TEODORICO DE FREIBERG apud BOYER, 1959, p. 118); mas seu raciocínio é baseado na suposição de que, enquanto os raios atravessam a gota, aqueles mais próximos da porção mais externa da pequena gota são vermelhos. Ele defendia que, para o arco primário, a porção mais externa surgiria acima do azul, e para o arco secundário surgiria abaixo do azul. “Portanto, está claro que as cores desse arco-íris superior estão em ordem inversa daquelas vistas no arco-íris inferior” (TEODORICO DE FREIBERG apud BOYER, 1959, p. 118-119). Entretanto, essa explicação não é tão clara quanto as outras partes de seu raciocínio a respeito do Arco-Íris.

O trabalho de Teodorico sobre o Arco-Íris é tão obviamente superior a qualquer outro estudo anterior sobre o assunto que pode-se ter a impressão de que ele teria encontrado a explicação do Arco-Íris. Porém ele não conseguiu esclarecer nem o tamanho nem a forma do arco (BOYER, 1959, p. 119). Para ele, raios que seguissem as trajetórias por ele indicadas deveriam mandar luz para o olho de muitas direções, e o problema de por que só dois arcos estreitos ficam iluminados, ao invés de toda a cúpula celeste, permanecia não resolvido. Teodorico percebeu que nem todos os raios chegam ao olho com força suficiente para fazer uma impressão visual, e ele foi um dos primeiros a perceber o quão incrivelmente pequena é a fração dos raios solares que contribuem para a formação do Arco-Íris.

Para explicar porque os raios geram efeito apenas em um ângulo em particular, Teodorico afirmava apenas que era assim que ordenava a natureza. Um tanto insatisfeito com isso, ele procurou conciliar sua correta explicação qualitativa do Arco-Íris com a incorreta teoria quantitativa aristotélica. Recorreu à familiar esfera meteorológica, com o olho do observador no (ou próximo ao) centro, com o Sol em uma ponta do diâmetro e com as gotas de chuva alinhadas ao longo da parte interna da esfera (Figuras 8 e 9). Segundo Boyer (1959, p. 119), Teodorico parece não ter percebido de maneira mais aguda que seus antecessores que era incongruente colocar o Sol e as gotas a uma igual distância do observador.

Por mais moderno que fosse seu pensamento, Teodorico não conseguiu se livrar da noção aristotélica de que o fenômeno do Arco-Íris deveria ser explicado em termos das posições das gotas d’água no enganoso hemisfério

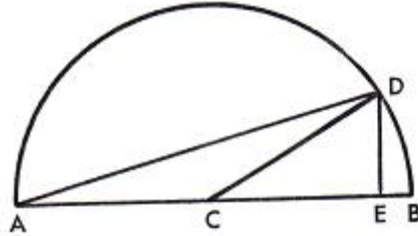
meteorológico. Em mais ou menos uma dúzia de diagramas que ele usou para ilustrar a formação dos dois arcos, as gotas são sempre desenhadas ao longo do grande semicírculo vertical (deste hemisfério), estando o Sol em uma de suas pontas. A proeminência dada por Teodorico a esse ilusório “círculo de altitude” (Figuras 8 e 9) indica o quão próximo sua teoria quantitativa estava da de Aristóteles. Segundo Boyer (1959, p. 119) Teodorico aceitou sem questionar a mal construída teoria da razão efetiva – a idéia peripatética de que a eficácia da reflexão depende da razão entre a distância do Sol até as gotas e a distância das gotas até o observador – e dedicou várias páginas de cálculos sobre problemas relativos a esta razão.

Se a razão fosse conhecida, o raio angular do Arco-Íris poderia ser determinado; mas Teodorico, assim como Aristóteles, não estava pronto para justificar, de maneira *a priori*, qualquer valor em particular para esta razão. Pelo contrário, ele resolveu o problema inverso; realizou cálculos, a partir do conhecido raio do arco, a razão efetiva, e disso ele encontrou (em relação ao raio da esfera meteorológica) a altura do arco e a distância do olho até o centro do arco.

O fato é que todos os seus cálculos são praticamente invalidados por um erro enorme no raio do Arco-Íris. Ao passo que Bacon e Witelo tinham posto o ângulo aparente do arco em 42° , Teodorico colocou o raio em 22° , pouco mais do que metade do valor correto. Teodorico escreveu que o raio do arco é duas vezes maior do que o do halo de 11° (a *razão* está essencialmente correta, mas o raio do halo deveria ser duas vezes maior, como Bacon sabia), e que o raio do Arco-Íris secundário é 33° , ou seja, 11° maior do que o primário (aqui a diferença está aproximadamente correta, mas o secundário deveria ser em torno de 20° maior). Boyer (1959, p. 120) levanta a questão de que a seleção dos valores 11° , 22° e 33° , poderiam estar numa progressão aritmética.

Há, no entanto, uma explicação alternativa que pareceria plausível, mesmo que apenas especulativa. Teodorico encontrou a razão aristotélica nas tabelas de Ptolomeu, lendo a corda do suplemento do ângulo *DCB* (Figura 10). (O diagrama de Teodorico foi levemente modificado para os propósitos da exposição.) Que o ângulo *DCB* está em torno de 42° era bem conhecido a partir do século XVIII, e o suplemento disto seria 138° . Teodorico escreveu 158° ao invés de 138° . Isso pode ter sido um lapso de escrita, ou pode ter sido o resultado de uma observação muito grosseira. (Ele repetiu que um raio de 22° seria encontrado por alguém que

medisse o ângulo do Arco-Íris com um astrolábio!). Em qualquer caso, todo o seu trabalho quantitativo depende da única cifra errônea de 158° .



Fonte: Boyer. *The Rainbow*, p. 120

Figura 10 – Diagrama ilustrando o método que Teodorico utilizou para encontrar as distâncias relativas associadas ao Arco-Íris

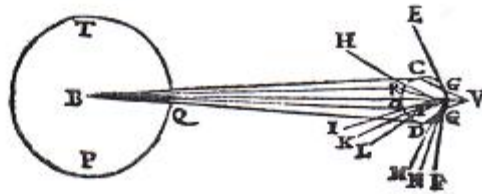
No ano de 1611, Marco Antonio de Dominis (1564-1624), arcebispo de Spalato, publicou um importante tratado científico, *De Radiis Visus et Lucis in Vitris Perspectivis et Iride Tractatus*, um pequeno volume de oitenta e sete páginas, que tinha como objetivo examinar sua teoria da formação do Arco-Íris e considerar controvérsias que pudessem aparecer acerca dela. De Dominis era um ambicioso jesuíta que tornou-se arcebispo de Spalato, porém, renunciou a sua fé, convertendo-se ao protestantismo. Preso pela Inquisição, morreu num calabouço e seu cadáver foi queimado junto com seus escritos (Boyer, 1959, p. 188).

A licença para o *De Radiis Visus et Lucis* é datada de 27 de janeiro de 1610, mas o prefácio declara que o trabalho foi baseado em notas preparadas para as conferências do autor uns vinte anos antes. Na parte dedicada à explicação do Arco-Íris, há constantes alusões a precursores modernos e medievais. Segundo Boyer (1959, p. 189), Dominis derrubou outras teorias anteriores tentando demonstrar a impossibilidade da reflexão como causa exclusiva. Ele assume que um raio de luz do Sol atinge verticalmente a chuva, de acordo com a lei de reflexão, o raio deveria ser refletido para cima, especialmente inclinado em direção aos olhos do observador. O arco, por essa razão, deve ser causado em parte por refração.

De Dominis quase aproximou-se da moderna teoria que Teodorico havia feito. Raios vindos do Sol, dizia ele, atingem a face externa convexa da esférica gota de chuva e são refratados dentro das gotas. Alguns desses raios passam sem serem refratados pela parede posterior da gota, mas na superfície

côncava posterior da gota, alguma luz é refletida em direção aos olhos do observador, em que a conjunção de muitos raios vinda de inúmeras diferentes gotas, produz o Arco-Íris. Segundo Boyer (1959, p. 189), De Dominis não menciona a segunda refração que ocorre quando os raios saem da gota. Ele distintamente afirma que o arco é causado por uma reflexão depois de uma refração.

De Dominis representou corretamente o arco primário como causado pela incidência dos raios na porção superior da gota, mas, novamente se enganou em relação aos raios que incidem na porção mais baixa. Ele representou-os como saindo da gota, sem refração, em uma direção superior que, conseqüentemente, não atingiria os olhos do observador (Figura 11).



Fonte: Boyer. The Rainbow, p.190

Figura 11 – Diagrama usado por Dominis para explicação da formação do Arco-Íris

Essas dúvidas tornaram-se mais evidentes com a explicação do arco secundário. Segundo Ockenden (1936, p. 45), Dominis estava enganado a respeito de sua explicação para o arco secundário, ele certamente não tinha a idéia de que era causado por duas reflexões e duas refrações dos raios solares. Para ele, o arco primário difere do secundário só pelo fato dos raios que causam o secundário atingirem a gota de forma mais oblíqua. Os raios inclinados na direção *F* formariam, segundo De Dominis, o arco primário, os menos inclinados e emergindo na direção *I*, formariam o secundário (Figura 11). Assim, para ele, o arco secundário era causado por raios que atingem a porção superior da gota refletidos e refratados uma única vez. Ele deixou sem esclarecer o motivo pelo qual o arco secundário nunca aparece sem o arco primário, mas, em relação ao arco secundário ser mais alto do que o primário, ele atribuiu a uma maior distância do olho e pelo fato de que a reflexão não decorre da porção anterior do vapor, mas da porção interior, e também da tenuidade do meio numa altitude mais elevada (Boyer, 1959, p. 190).

Para o problema dos Arco-Íris múltiplos ele salienta “Há dois tipos diferentes de reflexão [um que produz o arco-íris primário, o outro o secundário] de gotas de vapor, e nenhum mais; e conseqüentemente dois arcos distintos, e não mais, podem aparecer” (DOMINIS apud BOYER, 1959, p. 191).

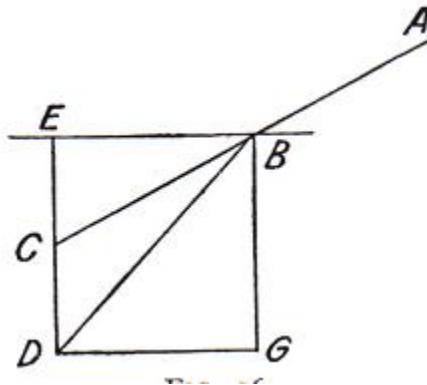
De Dominis não pôde, devido a esses erros, explicar a ordem das cores adequadamente. Em um prisma, ele assumia que o raio vermelho havia passado menos por um meio denso e o violeta mais do que ele. Para o arco primário ele então pensou que a ordem das cores era determinada pela magnitude da distância atravessada pela luz na esfera d'água, percorrendo o vermelho o caminho mais curto. Para o Arco-Íris secundário, as cores eram determinadas pelo grau de obliquidade dos raios.

É difícil avaliar o papel de Dominis na história do Arco-Íris, já que é creditada a ele, na maioria dos trabalhos de referência, a explicação correta do Arco-Íris primário e do secundário. O que pode ser reivindicado de maneira justa para Dominis é que ele deu uma explicação bastante melhorada do Arco-Íris primário em relação a qualquer outro que publicou anteriormente. O trabalho de Teodorico de Freiberg tinha um grau de precisão e acerto para o que ocorria no interior dos pingos de chuva, mas Antonio de Dominis corretamente abandonou o fantasma da esfera meteorológica.

Segundo Assis (NEWTON, 2002, p.19), Kepler, em seu trabalho de 1604, *Ad Vitellonum Paraliponema*, apresenta uma lei de refração em que o ângulo de referência é igual ao ângulo de refração. Essa lei de refração apresentada por Kepler já era aproximada da lei apresentada posteriormente por Snell e Descartes. Desse modo, é provável que este trabalho de Kepler tenha colaborado para a apresentação correta da lei feita por Snell e Descartes. Ainda neste trabalho, Kepler descreve a descoberta que fez sobre a reflexão total. Em outro trabalho, o *Dioptrice*, de 1611, também voltado para a óptica, Kepler estabeleceu alguns princípios fundamentais da dióptrica, em que explica razoavelmente o funcionamento das lentes e dos telescópios refratores, embora nessa época ainda não se conhecia exatamente a lei de refração. Os estudos de Kepler a respeito da óptica foram impulsionados pela necessidade que ele tinha de aprimorar os instrumentos ópticos, como lentes e telescópios, que eram necessários aos seus estudos astronômicos. Embora Kepler tenha estudado muito sobre óptica, seus trabalhos contribuíram pouco para compreensão do fenômeno físico do Arco-Íris.

No trabalho *Ad Vitellonum Paralipomena*, Kepler faz um intensivo estudo a respeito da refração. A divergência entre o raio de luz e sua tendência para dispersão diminuía ao passar um meio denso, mas com uma resistência média, conseqüentemente os raios aproximando-se da normal. A luz luminosa e a luz tênue são igualmente refratadas. Kepler imaginava que $\alpha - \beta$ (ele chamava $\alpha - \beta$ de ângulo de refração) era composto por duas partes, uma proporcional a α e a outra proporcional ao $\sec \beta$.

A lei correta da refração foi enunciada em um manuscrito por Swillebrord Snellius (1591-1626). Com base em experimentos, Snell demonstra a lei da seguinte forma: BE (Figura 12) representa a superfície da água e D um objeto no fundo. Um olho em A percebe D na direção ABC até o ponto C da linha vertical DE . Então o raio $BD:BC$ é constante, e o valor dessa razão do ar para a água é 4:3. Segundo Mach (1926, p. 32), é bastante provável que Snell conduziu suas observações da aparente elevação do fundo do recipiente, e usou uma graduação vertical na parede do recipiente em lugar da base. Ele investigou o razão $ED:EC$, em seguida, a razão $BD:BC$, e assim alcançou sua descoberta. Contudo, em 1637 e 1638, Descartes publica o *Discours de la Méthode* e nele aparece essa lei publicada pela primeira vez em um dos apêndices, o *La Dioptrique*. Neste estudo, Descartes apresenta a lei correta de refração, mas não faz nenhuma referência ao trabalho de Snell.

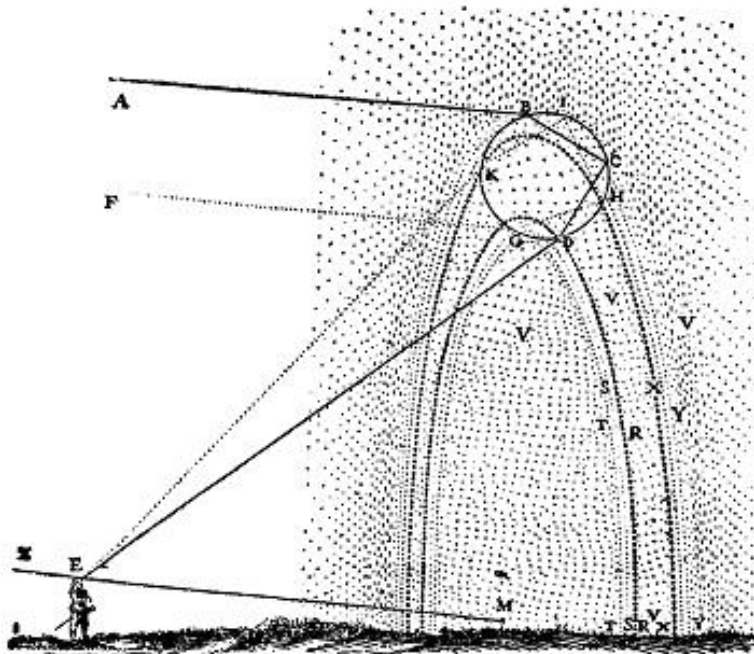


Fonte: Mach. The Principles of Physical Optics, p. 33

Figura 12 – Esquema utilizado por Snell para explicação da lei da refração

No Discurso VIII, do livro *Meteoros* (DESCARTES, 1996, p. 325), Descartes se dedica a determinar as causas do Arco-Íris, segundo ele uma

maravilha da natureza que merece ser compreendida pelos homens. Descartes utiliza conhecimentos já existentes, como a lei de refração, a explicação mecânica das cores e experiências já utilizadas, para explicar o fenômeno do Arco-Íris de acordo com leis físicas conhecidas (BATTISTI, 2002, p. 315). Primeiramente, Descartes determina que ele aparece quando os raios de luz incidem sobre gotículas de água presentes no ar e pode ocorrer naturalmente ou ser produzido de maneira artificial. Dessa forma, Descartes conclui que são nas gotas de água que se encontra a problemática “onde o fenômeno deve ter sua origem” (BATTISTI, 2002, p. 316-317). Assim, Descartes se propõe a construir um recipiente de vidro esférico e transparente, simulando uma “grande gota d’água”, para reproduzir e examinar o que ocorre no interior da gota durante o fenômeno do Arco-Íris, e também explicar as razões da aparição de duas regiões coloridas e de intensidades diferentes (DESCARTES, 1996, p. 325-326). A partir das observações realizadas com a grande gota d’água, Descartes começa a demonstrar geometricamente as refrações e reflexões que ocorrem dentro da gota durante a formação do Arco-Íris (Figura 13).

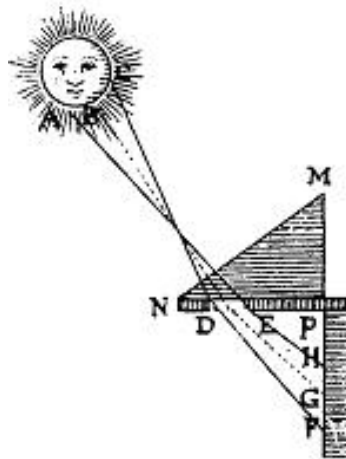


Fonte: Descartes. Les Meteores – Discours VIII, p. 326

Figura 13 – Explicação de Descartes para a formação do Arco-Íris primário e do secundário

Analisando os ângulos de incidência dos raios solares e a posição do observador, Descartes encontra as cores do primeiro Arco-Íris (BATTISTI, 2002, p. 319). Ele observa que, para a aparição do primeiro arco, o ângulo formado entre o raio de visão do observador e um raio solar, deveria ser de aproximadamente de 42° . Com essa medida, aparecia predominantemente a cor vermelha, sendo que as demais aparecem com ângulos levemente menores (pontos *R* para a cor vermelha e pontos *S* e *T* para as outras). Com ângulos maiores ou bem menores, o Arco-Íris desaparece. No entanto, o vermelho do segundo arco aparece quando esse mesmo ângulo tivesse aproximadamente 52° , as demais, embora as cores nesse segundo arco fossem mais fracas, aparecem com ângulos levemente superiores (pontos *X* para o vermelho e *Y* para as outras cores). Com ângulos menores ou bem maiores, não é possível vê-lo. Descartes observa que na região intermediária entre os dois arcos, aproximadamente 10° , não aparece nenhuma cor, e que as cores entre os dois arcos se mostram invertidas, ou seja, as cores vermelhas delimitam os dois arcos (DESCARTES, 1996, p. 326-327). Com o exame de uma única gota, Descartes generaliza suas conclusões, pois é somente na presença de infinitas gotas que podemos perceber o Arco-Íris.

Descartes (DESCARTES, 1996, p. 329) percebe uma outra característica que interfere na formação dos dois arcos: ele observa que o primeiro conjunto de cores, ou o primeiro arco, aparece quando os raios solares que incidem sobre a gota sofrem duas refrações e uma reflexão, enquanto o segundo arco surge após duas refrações e duas reflexões dos raios solares. Porém ele considera uma dificuldade esclarecer porque, dos muitos raios que incidem no globo d'água que sofrem as refrações e reflexões necessárias, apenas aqueles que atingem os olhos do observador nos ângulos descritos é que produzem as cores. Descartes recorre a um prisma de cristal, pois nele aparecem as mesmas cores do Arco-Íris (BATTISTI, 2002, p. 323). No prisma, observa que, se os raios incidirem com ângulos retos em uma face do prisma, se em outra face coberta por um corpo opaco houver um orifício que permita a passagem desses raios, as cores aparecerão em um anteparo branco, na mesma ordem (Figura 14).



Fonte: Descartes. Les Meteores – Discours VIII, p.330

Figura 14 – Prisma utilizado por Descartes para explicar porque cada cor aparece sempre na mesma ordem e no mesmo lugar, o vermelho em *F* e o azul em *H*

Esse experimento permite a Descartes concluir que o problema das cores independe de algumas variáveis, como por exemplo: o formato das gotas d'água, pois as faces do prisma são planas; o valor dos ângulos de entrada e de saída dos raios do prisma podem variar; a existência de reflexão ou mais de uma refração, pois os raios sofrem apenas uma refração e nenhuma reflexão ao atravessar o orifício do prisma; nenhum desses fatores interferiu na formação das cores, nem em sua ordem. O que é necessário, portanto, é pelo menos uma refração e a existência da delimitação da luz pelo corpo escuro, se o orifício for aumentado, a zona colorida não aumenta, o que aparece é uma mancha branca no centro do anteparo (BATTISTI, 2002, p. 323-324).

Há ainda uma dificuldade para Descartes que é determinar porque cada cor aparece sempre no mesmo local. Essa questão está relacionada à concepção da natureza da luz. Descartes concebe a natureza da luz como descreveu no *Dióptrica*, ou seja, para ele a luz é “a ação ou movimento de uma matéria muito sutil, cujas partes é preciso imaginar como pequenas bolas que rolam dentro dos poros dos corpos dos corpos terrestres” (DESCARTES, 1996, p. 331). Sendo assim, Descartes afirma que essas partículas esféricas podem deslocar-se de muitos modos, seguindo um movimento de translação (retilíneo) e um

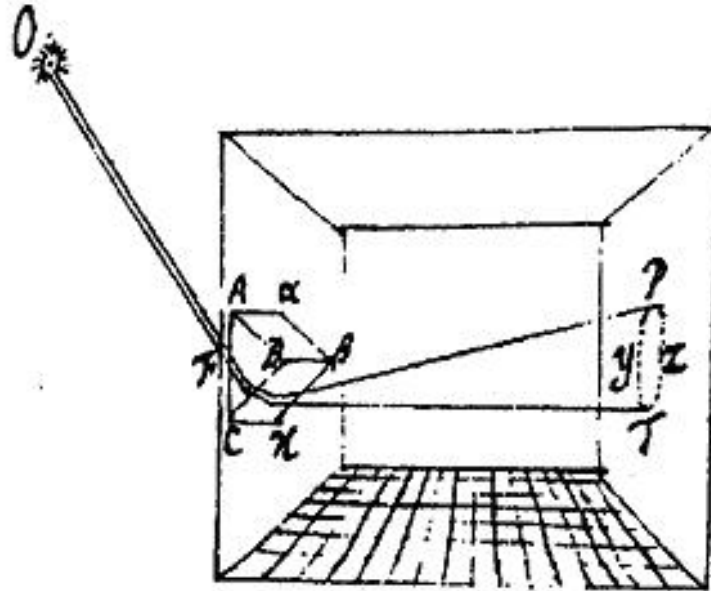
movimento de rotação (circular). A combinação desses dois tipos de movimentos é que determinariam as diversas cores. Descartes considera possível, desse modo, explicar o surgimento das cores e também a sua ordem no espectro (BATTISTI, 2002, p. 325).

Nos anos de 1664 e 1665 Isaac Newton conheceu e estudou os trabalhos de Descartes, de Boyle e Hooke. Grande parte das idéias de Newton em matemática, mecânica e óptica foi inspirada pelo trabalho de Descartes, pois, a partir de 1664, dedicou-se aos estudos de obras de Descartes traduzidas para o latim que haviam aparecido vinte anos antes, embora posteriormente ele discorde de muitas das idéias de Descartes. Sob a influência de Descartes, inicia-se no estudo da óptica, informa-se sobre a lei correta da refração e realiza suas primeiras experiências. Ainda em 1664, Newton passa a acompanhar toda literatura que ia sendo publicada e, conseqüentemente, sendo influenciado por ela. Em 1666, descobre a decomposição das cores embora somente publique os resultados em 1672. Em 1668, inventa o telescópio refletor que evita o problema da aberração cromática, que ficaria conhecido como telescópio de Newton.

Em 1671 Newton envia para Royal Society um exemplar do telescópio refletor inventado por ele alguns anos antes e, em 1672, publica um artigo descrevendo o funcionamento de sua invenção. Neste ano Newton fica conhecido na comunidade científica graças a publicação do artigo sobre o telescópio refletor e da publicação da “Nova Teoria da Luz e das Cores”, na qual demonstra que as diferentes refrações da luz produzem cores diferentes.

Este artigo de Newton foi escrito como uma carta enviada para o editor de Cambridge para que fosse comunicada à Royal Society a sua teoria da Luz e das Cores. Ele esclarece que conseguiu um prisma de vidro triangular para realizar o fenômeno das cores em que a luz do Sol atravessa o prisma de vidro e produz as cores do espectro. Assis argumenta que esse experimento já era conhecido e já havia sido realizado por outros cientistas, como por exemplo, Descartes e Boyle (NEWTON, 2002, nota 13, p. 50-51). Newton (1996, p. 315) prossegue comentando que era um prazer observar as cores produzidas a partir da refração da luz na parede de seu quarto escurecido. Mas depois observa que, de acordo com as leis da refração, esperava que o espectro formado tivesse o formato circular e não alongado como o que estava observando (Figura 15). Nesse ponto, Silva e Martins (1996, notas 9 e 10, p. 315) comentam que não fica claro neste

artigo o motivo pelo qual Newton esperava tal formato da mancha luminosa, mas o motivo dessa dúvida fica esclarecido em outros estudos.



Fonte: Newton. Óptica, p.54

Figura 15 – Esquema de Newton (não publicado em 1672) para o experimento descrito no artigo de 1672, em que a luz solar forma uma mancha colorida e alongada na parede de um quarto escuro, após passar por um prisma

Newton comparou o comprimento do espectro com a sua largura e verificou que era aproximadamente cinco vezes maior. Para ele essa desproporção merecia ser examinada. Assim, ele experimenta várias espessuras do vidro do prisma e diversos tamanhos nos buracos da janela por onde a luz do sol passava para verificar se esses fatores interferiam no resultado do experimento. Conclui que esses aspectos não interferiam significativamente no resultado dos experimentos: “Mas não encontrei nenhuma dessas circunstancias significativas. A aparência das cores era em todos esses casos a mesma” (NEWTON, 1996, p. 315). Ele passa então a considerar que a formação do espectro oblongo deve-se a alguma irregularidade ou alguma imperfeição do prisma. Então Newton (NEWTON, 1996, p.316) realiza o experimento utilizando dois prismas de modo que a luz ao passar por ambos tivesse aumentado as irregularidades pela multiplicidade de refrações. Mas o que Newton verificou foi que “a luz (que) era difundida pelo primeiro Prisma

em uma forma oblonga, foi reduzida pelo segundo a uma arredondada com tanta regularidade como quando não passava por eles” (NEWTON, 1996, p. 316).

Dessa forma, Newton prossegue tentando compreender qual é o motivo da diferença na incidência dos raios vindos do Sol que formavam a figura alongada do espectro colorido. Por meio de várias medições realizadas com o prisma na posição do desvio mínimo, ele chega ao valor de $44^{\circ} 56'$ para o desvio sofrido pelos raios incidentes. Como a posição do Sol varia sempre ao longo do ano, Silva e Martins (apud NEWTON, 1996, nota 18, p. 316) esclarecem que esses fatores naturais interferem na realização do experimento descrito por Newton e que essas dificuldades não foram discutidas por ele. Usando a razão dos senos, calcula o índice de refração do vidro e utiliza vários outros cálculos para estabelecer

as direções dos raios refratados pela primeira superfície do prisma, depois os ângulos de incidência (internos) na segunda face do prisma, e por fim os ângulos dos raios refratados (externos) que saem do prisma. A diferença obtida entre esses dois últimos ângulos foi de $31'$. Ou seja: a abertura do feixe incidente é igual à abertura do feixe que sai do prisma, nessas condições (NEWTON, 1996, nota 20, p.317).

Os cálculos realizados por Newton estavam fundamentados na proporcionalidade entre os senos dos ângulos incidentes e os de refração, tanto que os resultados obtidos causaram-lhe perplexidade: “Por minha própria experiência, eu não poderia imaginar que ela fosse tão errônea que fizesse aquele Ângulo de apenas $31'$, quando na realidade era $2^{\circ} 49'$ ” (NEWTON, 1996, p.317).

Prosseguindo com seus experimentos, Newton observou que quando girava o prisma em torno de seu eixo em aproximadamente 4 ou 5 graus, “as Cores não eram sensivelmente transladadas de seus lugares na parede e conseqüentemente, pela variação da Incidência, a quantidade de Refração não era sensivelmente variada” (NEWTON, 1996, p. 317). Ou seja, o desvio sofrido pelos raios do Sol, ao passar pelo prisma na posição do desvio mínimo, é quase constante quando o ângulo de incidência dos raios no prisma varia apenas um pouco. A respeito dessa questão, Silva e Martins (NEWTON, 1996, nota 23-24, p.317) esclarecem que com a variação da posição do prisma em 4 ou 5 graus, os raios provenientes que atingem o prisma e formam entre si ângulos de no máximo

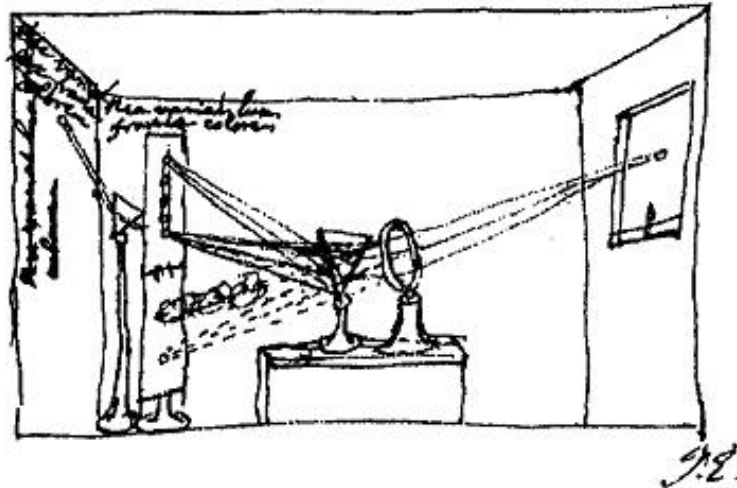
31', deveriam também sofrer desvios conservando o ângulo que formavam entre si. Essa constatação constitui-se em um argumento para indicar que a mancha produzida na parede deveria ser circular. Quando o prisma não está posicionado na condição de desvio mínimo, a imagem formada é alongada devido à diferença entre os ângulos de incidência dos raios vindos das partes opostas do disco solar é significativa a ponto de formar uma imagem alongada.

Então Newton começou a suspeitar que os raios, após atravessarem o prisma, pudessem mover-se em linhas curvas, de modo que dependendo da maior ou menor curvatura, apresentassem o formato alongado ao incidirem na parede. Mas Newton (1996, p. 318) observa uma proporcionalidade entre o tamanho da mancha e sua distância ao orifício através do qual a luz era transmitida. A análise de todas essas situações leva Newton a realizar um outro experimento (Figura 16) que ele próprio denominou de "Experimentum Crucis" e assim foi descrito por ele em seu artigo de 1672:

tomei duas pranchas e coloquei uma delas perto da janela e atrás do prisma de tal forma que a luz pudesse passar através de um pequeno buraco feito nela para esse propósito, e incidir na outra prancha, a qual coloquei a uma distância de cerca de 12 pés, tendo primeiro feito um pequeno buraco nela também, para um pouco da luz Incidente passar através dele. Então eu coloquei outro Prisma atrás dessa segunda prancha, de tal modo que a luz que atravessou ambos os anteparos pudesse passar através dele também e ser novamente refratada antes de atingir a parede. Isto feito, tomei o primeiro Prisma na minha mão e o girei de um lado para o outro lentamente em torno de seu Eixo de modo a fazer as diversas partes da Imagem, lançadas sobre o segundo anteparo, passarem sucessivamente através de seu buraco, para que pudesse observar para quais lugares na parede o segundo Prisma as refrataria. E vi pela variação daqueles lugares que a luz, tendendo para aquela extremidade da Imagem em direção à qual a refração do primeiro Prisma foi feita, sofreu no segundo Prisma uma Refração consideravelmente maior que a luz tendendo para a outra extremidade. E assim a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a Luz consiste em Raios diferentemente refrangíveis que, sem qualquer diferença em suas incidências, foram, de acordo com seus graus de refrangibilidade, transmitidos em direção a diversas partes da parede (NEWTON, 1996, p. 318).

Até este ponto da descrição do experimento, Newton não associou a cor com a refrangibilidade. De acordo com Silva e Martins (1996, nota 31, p. 318),

as intenções de Newton com o “Experimentum Crucis” variam durante as discussões com seus críticos. Algumas vezes ele relacionava seu experimento com as cores, outras vezes não fazia qualquer relação com outras propriedades. Depois dessa descoberta, Newton (1996, p. 319) passa a analisar lentes, telescópios e espelhos, seguindo sua descoberta a respeito das diferentes refrangibilidades da luz.



Fonte: Newton. Óptica, p. 66

Figura 16 – Uma das variações do *experimentum crucis* (não publicado em 1672). A luz do Sol é decomposta por um primeiro prisma. A lente colocada antes do prisma permite produzir um espectro fino e com cores bem definidas. Um orifício no anteparo permite que uma pequena faixa do espectro passe por um segundo prisma, que não decompõe a luz em novas cores, apenas reproduz a cor selecionada pelo orifício

Depois Newton (1996, p. 320) prossegue informando a causa da origem das cores e, para isso, escreve treze proposições expondo todos os aspectos considerados por ele na formação das cores. Ele considera que as cores não são qualificações da luz oriundas da refração ou da reflexão, mas propriedades originais dos raios de luz. Para o mesmo grau de refrangibilidade haverá sempre a mesma cor. Os raios menos refrangíveis apresentam uma cor vermelha, os raios mais refrangíveis exibem uma cor violeta e assim acontece com as cores intermediárias. Newton (1996, p. 321) argumenta que a cor e seu grau de refrangibilidade não são mutáveis por meio da refração ou da reflexão, embora

tenha feito várias tentativas para verificar se ocorria alguma mudança. No entanto, podem ser feitas misturas de diversos tipos de raios, constituindo uma cor intermediária resultante da combinação de uma cor com outra. Mas, quando esses raios forem novamente separados, voltarão a exibir as mesmas cores de antes. Assim, Newton conclui que existem dois tipos de cores:

um original e simples, o outro composto dessas. As cores Originais ou primárias são Vermelho, Amarelo, Verde, Azul e um Púrpura-violeta, junto com Laranja, Índigo e uma variedade indefinida de gradações Intermediárias (NEWTON, 1996, p. 322).

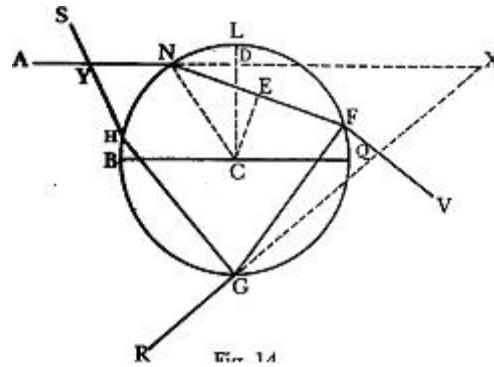
Ele acrescenta que as cores definidas por ele como primárias também podem ser obtidas por composição com outras. As cores que estão situadas muito distantes uma da outra na formação do espectro não formam outra cor primária, como no caso do laranja e do índigo que não produzem o verde intermediário. Mas o que causou uma perplexidade em Newton foi a composição da luz branca. Ele percebe que a luz branca é uma composição das outras cores primárias:

Mas a composição mais surpreendente e maravilhosa foi aquela da Brancura. Não há nenhum tipo de Raio que sozinho possa exibi-la. Ela é sempre composta, e para sua composição são necessárias todas as Cores primárias citadas anteriormente misturadas numa proporção devida (NEWTON, 1996, p. 322).

Tendo considerado todas essas coisas, Newton conclui que o branco é a cor usual da luz, pois a luz é uma mistura confusa dos raios de todos os tipos de cores e dessa mistura é gerado o branco. A esse respeito, Silva & Martins (NEWTON, 1996, nota 53, p. 322) esclarecem que não são necessárias todas as cores do espectro para formar o branco. Huygens defendia a idéia da existência do branco pela mistura de amarelo e azul espectrais.

Quanto à formação do Arco-Íris, Newton (2002, p. 139-145) explica que o efeito é o resultado da refração da luz do Sol nas gotas de chuva e que isso já havia sido compreendido e demonstrado por pensadores anteriores a ele, como Antonius de Dominis e Descartes.

Entretanto, Newton esclarece que esses pensadores “não entenderam a verdadeira origem das cores” (Newton, 2002, p. 140), sendo necessário maiores esclarecimentos. Ele faz uma rigorosa demonstração de sua teoria recorrendo a geometria em uma circunferência simulando a gota de chuva (Figura 17), em que cada grau de refringência exibirá uma cor própria.



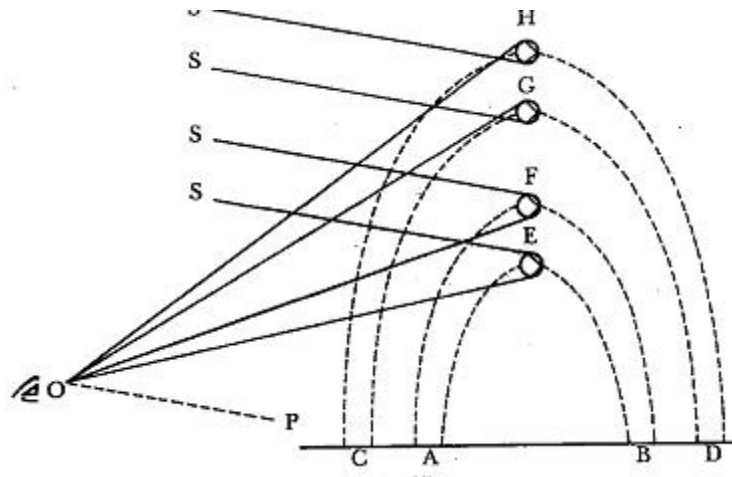
Fonte: Newton. Óptica, p.140

Figura 17 – Representação de Newton da gota de chuva pela esfera *BNFG*

Newton explica também como se dá a formação dos dois arcos (Figura 18), em que um observador estando em *O* e a linha *OP* traçada paralelamente aos raios de Sol, todos os ângulos que giram em torno de seu lado comum *OP*, descreverão, junto com outros lados *OE*, *OF*, *OG*, *OH* as bordas de dois Arco-Íris. Sendo *E*, *F*, *G* e *H* gotas colocadas em qualquer parte dessas superfícies e iluminadas pelos respectivos raios de Sol, todas as gotas na linha *OE* “enviarão mais abundantemente para o olho os raios mais refratáveis e desse modo impressionarão os sentidos com a cor violeta” (NEWTON, 2002, p. 142). E assim, o ângulo *SOF*, sendo igual ao ângulo *POF* atingirá o olho a partir das gotas na linha *OF* exibindo a cor vermelha. E argumenta, no mesmo raciocínio para a formação das demais cores:

E, pelo mesmo raciocínio, os raios que tem graus intermediários de refringência chegarão mais abundantemente das gotas entre *E* e *F* e impressionarão os sentidos com as cores intermediárias na ordem requerida por seus graus de refringência; isto é, na direção de *E* para *F*, ou de dentro do arco-íris para fora, nesta ordem: violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Mas o violeta, devido à mistura da luz branca das nuvens, aparecerá fraco e tendendo ao púrpura (NEWTON, 2002, p. 142).

Para o Arco-Íris exterior, formado por duas reflexões, as cores serão mais fracas, pois a cada reflexão a luz se torna mais fraca; e apresentará as cores de dentro do Arco-Íris para fora, numa ordem inversa: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.



Fonte: Newton. Óptica, p. 142

Figura 18 – Esquema utilizado por Newton para descrever as cores dos Arco-Íris primário e secundário de acordo com seus graus de refringência

Newton considera essas observações suficientes para a explicação do Arco-Íris e, ainda no artigo de 1672, analisa a origem das “Cores dos Corpos naturais” (NEWTON, 1996, p. 323) e considera que a cor que os corpos exibem são em consequência da capacidade de um corpo refletir um tipo de luz em maior quantidade que outros. Relata experimentos realizados em um quarto escuro que certificam seus resultados.

Newton termina seu artigo deixando uma abertura aos membros da *Royal Society* que quisessem testar seus experimentos:

Isto, concebo, é suficiente para uma Introdução aos Experimentos desse tipo: os quais, se alguém da *R. Society* for tão curioso ao ponto de realizá-los, ficaria muito satisfeito de ser informado sobre o seu eventual sucesso. Para que, se alguma coisa parece ser defeituosa ou contrariar esse relato possa ter uma oportunidade de dar instruções adicionais sobre ele, ou reconhecer meus erros, se cometi algum (NEWTON, 1996, p. 325).

Silva e Martins (NEWTON, 1996, nota 67, p. 325), esclarecem que, após a publicação do artigo, muitos pesquisadores como Christiaan Huygens, Robert Hooke e o padre Pardies recorreram a *Royal Society* alegando que os experimentos de Newton não correspondiam aos resultados apontados por ele. Assim, para esclarecer as dúvidas relacionadas aos experimentos, Hooke ficou encarregado de repetir os experimentos de Newton perante a *Royal Society*, o que ocorreu sem maiores problemas, mas, mesmo diante do sucesso das experiências repetidas por ele, Hooke continuou a se opor aos princípios da teoria de Newton, pois havia uma indisposição entre eles causada pelas duras críticas que Hooke fez a respeito da teoria de Newton.

Em 1690, é publicado o trabalho de Christiaan Huygens, *Traité de la Lumière* (Tratado sobre a Luz), em que Huygens descreve sua Teoria Ondulatória da Luz e apresenta experiências novas e importantes sobre a dupla refração. Porém, como esclarece Martins (HUYGENS, 1986, nota 3, p. 7), esperava-se que Huygens publicasse em seu tratado uma teoria das cores, visto que ele participou ativamente das críticas ao trabalho de Newton na ocasião da publicação de sua teoria das cores. Ainda nesta nota, o tradutor mostra um trecho da correspondência entre Leibniz e Huygens em que Huygens responde ao amigo sobre a falta de uma teoria das cores em seu tratado:

Nada falei sobre as cores em meu Tratado sobre a Luz, achando esse assunto muito difícil, sobretudo por causa de tantas maneiras diferentes pelas quais as cores são produzidas. O Sr. Newton, que vi no verão passado na Inglaterra, prometeu algo sobre isso, e me comunicou algumas experiências muito belas das que havia feito (HUYGENS, 1986, nota 3, p. 7).

Apesar de Huygens não ter publicado em seu tratado nada a respeito da formação das cores, sua contribuição para o avanço dos estudos a respeito de outros assuntos da óptica foram importantes.

Essa reconstrução histórica por nós investigada, permitiu-nos analisar e identificar algumas dificuldades encontradas por esses pensadores ao longo da história, como a relevância da posição do observador; a problemática da introdução da refração para a compreensão do fenômeno; a percepção da importância das gotas individuais para a formação do Arco-Íris; o estudo

sistematizado da “gota d’água” e do prisma e o problema das cores; para a explicação desse fenômeno. Esses avanços foram necessários para a evolução da explicação do Arco-Íris que temos hoje.

O estudo histórico do Arco-Íris mostra que o desenvolvimento de uma teoria e sua aceitação passa por muitas análises, hipóteses e experimentos que na maioria das vezes não são discutidos pelos livros de Ciências, passando a noção errônea de que uma descoberta científica é um acontecimento isolado que não possibilita outras interpretações. A formação do Arco-Íris é uma questão que pode ser abordada por diferentes perspectivas que permitirão ao aluno ter um conhecimento bem fundamentado nas questões epistemológicas e coerente entre o conceito científico e a vida cotidiana do aluno.

*CAPÍTULO TRÊS:
METODOLOGIA DA
PESQUISA*

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A investigação desenvolvida por nós, de caráter qualitativo, atende aos pressupostos apresentados na literatura que insere a pesquisa em Educação num patamar de complexidade que requer métodos de investigação que atendam a essa dimensão mais dinâmica:

Um dos desafios atualmente lançados à pesquisa educacional é exatamente o de tentar captar essa realidade dinâmica e complexa do seu objeto de estudo, em sua realização histórica (LUDKE; ANDRÉ, 1986, p.5).

Segundo Martins (2004, p. 292), os métodos qualitativos de investigação “tratam as unidades sociais investigadas como totalidades que desafiam o pesquisador”, ou seja, a flexibilidade é uma característica importante na pesquisa qualitativa, uma vez que o pesquisador pode recorrer à uma boa quantidade de métodos e técnicas, associados a sua fundamentação teórica, que forem mais adequados à observação que está sendo realizada.

Assim, fundamentados teórica e metodologicamente, desenvolvemos nossa investigação de acordo com as etapas que descreveremos a seguir:

Primeiramente delimitamos nosso campo de atuação e definimos o tema central da investigação: como elaborar uma abordagem histórica que fosse eficiente para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental. Para isso, recorreremos a uma pesquisa documental nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1997) em busca de um fenômeno que fosse adequado à essa investigação, ou seja, que fenômeno físico poderia contribuir para a elaboração dessa abordagem. Definido o tema (decomposição da luz branca recorrendo ao Arco-íris como exemplar de interesse), continuamos a nossa investigação documental, em fontes primárias e secundárias, para fundamentar uma reconstrução histórica do desenvolvimento da explicação da teoria do Arco-Íris. Nessa etapa, delineamos cronológica e epistemologicamente os principais episódios históricos do desenvolvimento desse conceito, de forma que atendessem

à uma adequação necessária à faixa etária dos sujeitos que participariam da pesquisa (crianças com idade aproximadamente entre 9 e 12 anos, estudantes de quarta série do Ensino Fundamental). Nossa visão de investigação documental fundamenta-se na busca de novas interpretações que um material pode fornecer, sempre analisado numa perspectiva integrada com a investigação que estamos desenvolvendo (GODOY, 1995, p. 21). Em tal etapa, também buscamos, concomitantemente, a fundamentação teórica que sustenta essa investigação, como as pesquisas em História da Ciência para o Ensino de Ciências, Aprendizagem Significativa, Alfabetização Científica, Desenvolvimento Cognitivo da criança. Essa fundamentação teórica nos deu alicerces sólidos para a escolha dos exemplares mais adequados para o desenvolvimento da abordagem.

A integração desses referenciais constituem um aporte teórico-metodológico inovador, uma vez que cada um sustenta e contribui para a construção da abordagem histórico-pedagógica para o Ensino de Ciências nas séries iniciais do Ensino Fundamental.

Após o levantamento do suporte teórico necessário, da articulação entre eles e os episódios históricos adequados, elaboramos uma seqüência de atividades relacionadas ao Arco-Íris.

A coleta de dados foi realizada em duas ocasiões distintas, que denominamos de primeira e segunda aplicação, e compreendeu quatro turmas regulares de quarta série do Ensino Fundamental da Rede Municipal do Município de Londrina. Na primeira aplicação, ocorrida nos meses de junho e julho, participaram duas turmas num total de sessenta e três alunos. Da segunda aplicação, que ocorreu nos meses de outubro e novembro, participaram mais duas turmas, num total de sessenta e um alunos. A proposta foi aplicada pela pesquisadora, sendo utilizados aproximadamente sete encontros para a elaboração de Mapas Conceituais e cinco para as atividades experimentais. Cada uma dessas aplicações compreendeu as etapas descritas a seguir.

Realizamos um levantamento das concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno do Arco-Íris por meio da elaboração de Mapas Conceituais. Ressaltamos que os alunos nunca haviam tido contato com a elaboração de Mapas Conceituais. Assim, nessa etapa, realizamos uma série de atividades prévias para iniciar os alunos na elaboração de mapas, como já referenciado na nossa fundamentação teórica. Os alunos elaboraram diversos Mapas Conceituais

envolvendo diversos assuntos, tanto relacionados ao seu cotidiano, como ‘televisão’, ‘trânsito’ e ‘brincadeiras’, quanto relacionados a conceitos escolares, como ‘cadeia alimentar’, ‘reciclagem de lixo’, ‘sistema digestivo’ e ‘nutrição’, entre outros. Ao percebermos que os alunos já demonstravam uma boa autonomia para elaborarem os mapas, solicitamos, em uma aula separada, que elaborassem um Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris (Conjunto I)⁴. As concepções encontradas na análise desses mapas subsidiaram a elaboração da seqüência das atividades. Toda essa preparação para a elaboração dos mapas até a construção do mapa a respeito do Arco-Íris levou aproximadamente quarenta e cinco dias, com atividades realizadas uma ou duas vezes na semana.

As atividades foram desenvolvidas de acordo com a seqüência do desenvolvimento histórico do fenômeno do Arco-Íris, resultado da nossa investigação histórica; respeitando a fase de desenvolvimento da criança, bem como as orientações existentes na literatura para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental, e aproveitando um importante *subsunçor* (necessidade de luz e água para a formação do espectro colorido) encontrado nas concepções prévias apresentadas pelos sujeitos da pesquisa na ocasião da elaboração do primeiro Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris. As questões envolvidas nos relatórios das atividades foram validadas por alguns de nossos pares.

Os alunos então participaram da seqüência com as seguintes atividades:

- Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira.
- Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz.
- Experimento histórico da “grande gota d’água”.
- Experimento histórico da decomposição da luz ao passar por um prisma – Experimento de Newton.
- Soma das luzes coloridas.

⁴ Os Mapas Conceituais a respeito do Arco-Íris elaborados pelos alunos antes da seqüência de atividades denominaremos de Conjunto IA e os elaborados após a seqüência de atividades, de Conjunto IIA, na primeira aplicação; e de Conjunto IB e IIB, para a segunda aplicação.

As atividades foram realizadas com a turma toda, no período normal de aula, na própria escola, tornando assim a pesquisa mais próxima possível da realidade escolar. As atividades foram realizadas normalmente uma vez por semana (eventualmente duas), com duração de aproximadamente uma hora e trinta minutos, compreendendo, nesse período, todas as explicações necessárias, a organização da sala e a distribuição dos materiais, a realização da atividade propriamente dita, o recolhimento dos materiais e o preenchimento de um relatório no final de cada atividade. Ao término de cada atividade, realizávamos uma análise dos fatos observados pela pesquisadora durante o desenvolvimento da atividade e dos relatórios apresentados pelos alunos. Salientamos que apenas a segunda atividade foi filmada, as demais não foram pelo fato de serem realizadas no escuro e a luz da filmadora interferir no resultado dos experimentos.

Após a seqüência de atividades, solicitamos que os alunos que, em uma aula separada, elaborassem um novo Mapa Conceitual a respeito do fenômeno em questão (Conjunto II) para que pudéssemos realizar uma análise dos avanços apresentados.

A análise desses mapas está fundamentada nos princípios básicos da Aprendizagem Significativa, conforme consta na nossa fundamentação teórica. Os seguintes aspectos foram observados no decorrer da análise: os conceitos novos que os alunos apresentaram após terem contato com a seqüência de atividades; como esses conceitos e as relações entre eles foram abordadas nos mapas; e o avanço apresentado pelos estudantes na comparação entre os mapas do Conjunto I e Conjunto II.

Optamos por realizar duas aplicações por termos percebido a necessidade de investigar duas possibilidades de seqüência das atividades. Na primeira aplicação, a seqüência desenvolvida foi a apresentada anteriormente nessa seção. Na segunda aplicação, resolvemos inverter a ordem de duas atividades, ficando a atividade da decomposição da luz ao passar por um prisma antes da atividade da “grande gota d’água”, as demais atividades não foram alteradas. Assim, a descrição e a análise das atividades abordadas por nós no próximo capítulo contempla as duas aplicações, bem como as dificuldades e os avanços encontrados em cada uma. Também realizamos a análise dos Mapas Conceituais elaborados pelos alunos em cada aplicação, na busca por indícios de uma aprendizagem mais significativa em cada um dos casos.

*CAPÍTULO QUATRO:
APRESENTAÇÃO E
APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
HISTÓRICO-PEDAGÓGICA*

4 APRESENTAÇÃO E APLICAÇÃO DA ABORDAGEM HISTÓRICO-PEDAGÓGICA

Após realizarmos a investigação na literatura dos referenciais que sustentam a construção da abordagem histórico-pedagógica para as séries iniciais do Ensino Fundamental, consideramos que a articulação e sistematização desses referenciais é possível, pois os aspectos focalizados em cada um não provocam conflitos teórico-metodológicos e é uma perspectiva que indica uma inovação, uma vez que não encontramos esse mesmo enfoque na literatura.

Nesse sentido, apresentamos alguns pressupostos investigados e articulados por nós, que devem ser respeitados para a elaboração dessa abordagem. Salientamos que esses pressupostos fundamentam e orientam a construção da abordagem histórico-pedagógica que apresentamos e pode ser adaptada, mediante as adequações pertinentes, para outros conceitos científicos desenvolvidos nas séries iniciais do Ensino Fundamental:

- Reconstruir os episódios históricos que colaboraram epistemologicamente para a explicação de conceitos, identificando os principais problemas envolvidos em seu desenvolvimento.
- Identificar, nesses episódios, os que possibilitam uma adequação experimental que atenda à fase de desenvolvimento cognitivo do aluno.
- Propor uma seqüência epistemológica, por meio de atividades predominantemente empíricas, para proporcionar situações de aprendizagem de conteúdos de Ciências.
- Fazer um levantamento das concepções prévias dos alunos em busca de *subsunçores* que colaborem para a estruturação das atividades.
- Estruturar atividades empíricas que apresentem uma graduação de dificuldades, que permitam que a nova informação seja ancorada pela informação que o aluno possui, possibilitando a diferenciação progressiva dos conceitos. Atividades que relacionem o que está sendo aprendido com o cotidiano do aluno também são necessárias, pois auxiliam na reconciliação integrativa entre os conceitos, influenciando a visão do mundo em que vive (Alfabetização Científica).

Assim, como etapa importante de nosso programa de pesquisa, investigamos a construção de algumas atividades para serem desenvolvidas com alunos de duas turmas de quarta série do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Londrina, que contemplassem os resultados teóricos já apresentados anteriormente. Ressaltamos alguns pontos:

- a) As atividades propostas que desenvolvemos atendem tanto as condições necessárias para uma Aprendizagem Significativa quanto à necessidade da ação sobre o objeto defendida por Piaget.
- b) As atividades foram desenvolvidas em experimentos que obedecem a uma graduação de dificuldade que permitam que os novos conceitos possam ser ancorados por outros pré-estabelecidos.
- c) A estrutura cognitiva do aluno é respeitada, uma vez que as atividades sugeridas experimentais, contam com materiais de manuseio acessível pelo aluno.
- d) O aluno participa de todo o processo de aprendizagem, construindo seu próprio conhecimento.
- e) A seqüência das atividades apresentadas está relacionada à seqüência do desenvolvimento histórico dos conceitos, considerando o paralelismo entre a História da Ciência e a psicogênese, em que os processos envolvidos na construção do conhecimento individual e histórico são análogos.

As elaborações de Mapas Conceituais pelos alunos serão a primeira e a última atividades realizadas, uma vez que utilizaremos as análises desses mapas para a avaliação do processo de aprendizagem. Assim, buscaremos as concepções prévias dos alunos nos primeiros mapas (Conjunto I) e a análise do avanço apresentado por eles no segundo mapa (Conjunto II).

A segunda atividade é a formação do Arco-Íris utilizando um esguicho de água. A pertinência dessa atividade se dá pelo fato de que os pensadores antigos observavam a formação desse fenômeno em suas condições naturais. Como não podíamos prever a formação de um Arco-Íris naturalmente,

recorremos a essa atividade, em que as condições naturais de formação do fenômeno são reproduzidas. Nessa atividade, os alunos podem observar as cores e estabelecer a relação entre as posições do Sol e do observador.

Na terceira atividade, abordamos as propriedades da luz de atravessar ou não alguns materiais, principalmente o vidro e a água, uma vez que muitos pensadores já observavam e se preocupavam com essas propriedades da luz em lentes, vidros, e superfícies refletoras (BASSALO, 1986, p. 143). É então necessário, para que o aluno compreenda as atividades seguintes, a observação do comportamento da luz ao passar ou não por um objeto, principalmente na água e no vidro.

A reprodução do experimento histórico da simulação da “grande gota d’água”, realizado na quarta atividade, tem o objetivo de tornar a observação do fenômeno do Arco-Íris controlada pelos sujeitos. Esse experimento foi usado por pensadores como Teodorico de Freiberg e Descartes. Nessa atividade, a criança pode observar a decomposição da luz branca ao passar pela água, associar a reflexão da luz com a posição do observador estudada anteriormente e perceber o papel das gotas individuais para a formação do fenômeno.

Outro experimento histórico da nossa seqüência de atividades é o da decomposição da luz branca ao passar por um prisma de vidro (quinta atividade). Essa atividade, além do seu caráter histórico indiscutível, levanta algumas questões importantes como, por exemplo, a necessidade da passagem da luz de um meio para outro (vidro e água), a seqüência em que as cores aparecem e o formato do espectro (circular na gota d’água e alongado no prisma).

A sexta atividade é uma alusão ao experimento de Newton da composição da luz branca pela adição das demais cores. Entretanto, como o experimento realizado por Newton é muito complexo e não se enquadrava nas condições estabelecidas, optamos por uma construção simples e já bastante difundida: a soma das cores primárias da luz (verde, azul e vermelha) para a formação das cores secundárias e da luz branca. Outro aspecto relevante foi a observação das cores de alguns objetos quando expostos a uma cor de luz.

Ressaltamos que, com exceção dos Mapas Conceituais, as demais atividades foram desenvolvidas seguindo os níveis de ação e reflexão (CARVALHO et al., 1998) já discutidas em nossa fundamentação.

Realizamos duas aplicações distintas, com duas seqüências

diferentes. Percebemos a necessidade de investigar uma outra seqüência de atividades pelo fato de termos observado, durante a primeira aplicação, que os alunos encontraram dificuldades em relacionar a refração e a decomposição da luz na “gota d’água”. Esses conhecimentos são necessários para que o aluno compreenda o fenômeno estudado. A atividade da decomposição da luz ao passar por um prisma contempla esses elementos. Assim, levantamos uma hipótese a respeito da realização de experimentos com prismas para o estudo da refração da luz e da formação das cores anteriores a Newton que fundamentassem uma nova seqüência nas atividades.

Na primeira aplicação as atividades apresentavam a seguinte seqüência:

1ª Elaboração de Mapas Conceituais (Conjunto I).

2ª Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira.

3ª Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz.

4ª Experimento histórico da “grande gota d’água”.

5ª Experimento histórico da decomposição da luz ao passar por um prisma (Experimento de Newton).

6ª Soma das luzes coloridas.

7ª Elaboração de Mapas Conceituais (Conjunto II).

Na segunda aplicação há uma inversão na ordem da quarta e quinta atividades: o experimento histórico da decomposição da luz ao passar por um prisma vem antes do experimento histórico da “grande gota d’água”. Esclarecemos que os experimentos utilizando prismas já eram conhecidos por muitos outros pensadores anteriores a Newton, como Robert Grosseteste, entre outros. Nesses estudos, os pensadores observavam a decomposição da luz ao passar de um meio para outro. A sistematização dos graus de refringência de cada cor foi feita por Newton. Entretanto, não é pertinente utilizar esse conhecimento com nossos alunos, sendo suficiente a observação da decomposição da luz em luzes coloridas quando passa de um meio para outro. Assim, substituímos o experimento de Newton pelos experimentos realizados pelos seus predecessores.

As demais atividades permanecem na mesma seqüência. Primeiramente, apresentaremos as atividades e as análises da primeira aplicação no item 4.1. No item 4.2, a análise da segunda aplicação que apresenta uma seqüência um pouco diferente da primeira aplicação. Nas atividades experimentais, as

atividades serão descritas em dois momentos: uma descrição do planejamento das atividades e um relato de como se deu a aplicação com os alunos, juntamente com alguns exemplares das atividades realizadas por eles.

4.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA PRIMEIRA APLICAÇÃO

Como já esclarecemos anteriormente, essa seqüência foi aplicada com duas turmas regulares de quarta-série do Ensino Fundamental da Rede Municipal de Educação de Londrina, nos meses de maio e junho de 2006, compreendendo um total de 63 alunos.

4.1.1 Atividade 1: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IA)

Nosso primeiro passo foi realizar atividades de ensino com esses alunos nas quais apresentamos a definição de Mapas Conceituais, trabalhando com os alunos a construção de mapas a respeito de assuntos diversos, como: Reciclagem de Lixo, Índios, Brinquedos, Cadeia Alimentar, Páscoa, Porcentagem, entre outros, e finalmente, em uma aula separada, solicitamos que tais alunos elaborassem um Mapa Conceitual a respeito do fenômeno Arco-Íris. Com esses mapas em mãos (Conjunto IA), observamos as concepções prévias dos alunos e passamos a planejar as atividades, respeitando a seqüência histórica do conhecimento físico.

A análise desses mapas foi realizada considerando dois aspectos importantes: as concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno do Arco-Íris e a organização dessas informações no Mapa Conceitual, como as ligações válidas, os níveis de hierarquia e as ligações transversais, que indicam a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos significados conceituais apresentados (NOVAK; GOWIN, 1999, p. 123).

Os mapas conceituais construídos pelos alunos apresentaram poucas informações científicas para o fenômeno do Arco-Íris. Todos os alunos

citaram as cores do Arco-Íris, no entanto, eles não colocavam todas as cores corretamente, ou colocavam somente algumas, apesar de citarem que são sete as cores que o compõe. Outro aspecto que foi citado é a necessidade do Sol após a chuva para a aparição do Arco-Íris. O formato de arco foi lembrado em pouquíssimos mapas. As demais informações constituíam-se de sentimentos de admiração em relação à beleza do Arco-Íris, a lendas como a do pote de ouro no final do Arco-Íris, e à crença religiosa, da aliança feita entre Deus e os homens após o dilúvio bíblico.

O gráfico abaixo representa aproximadamente a quantidade de relações feitas pelos alunos no Mapa Conceitual do Arco-Íris. Salientamos que não é nossa pretensão dar a esses dados algum tratamento quantitativo, apenas consideramos que este modo de apresentação possibilita uma maior visualização com a finalidade de facilitar a apreciação do leitor⁵:

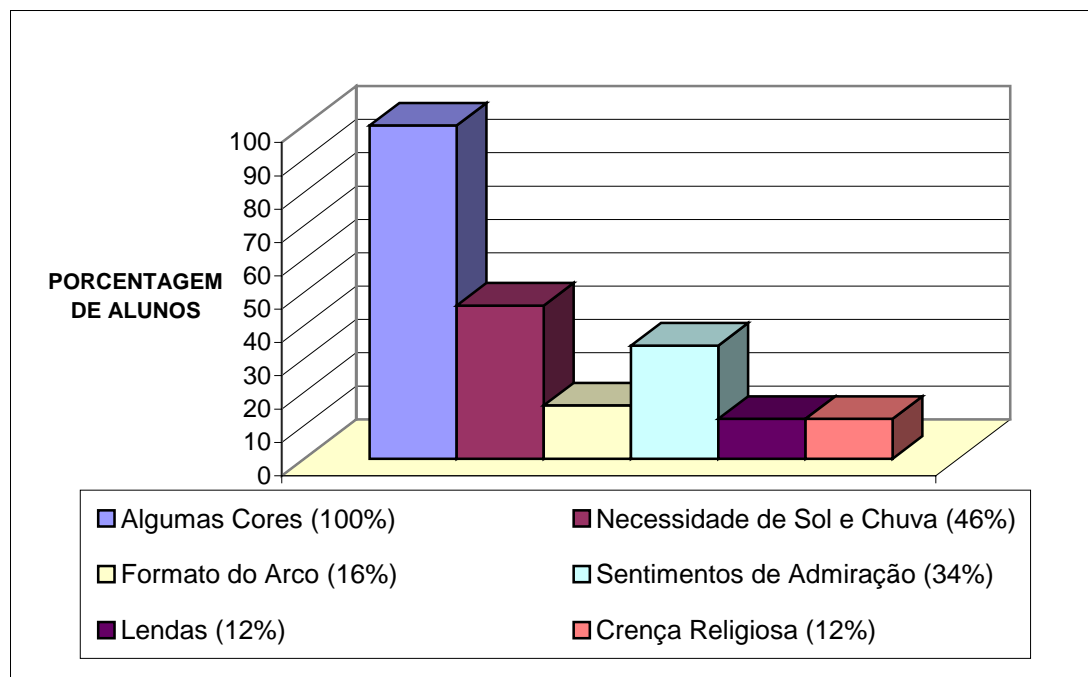


Gráfico 1 – Concepções prévias de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno do Arco-Íris (Conjunto IA) - Primeira Aplicação

Em relação à estrutura dos mapas, em síntese, nossa análise constatou que a maioria dos alunos apresentou algum tipo de relação válida e ao menos um nível de hierarquização. Entretanto, ressaltamos que essas condições

⁵ Freqüência relativa percentual.

foram observadas normalmente em relação às cores do Arco-Íris e, algumas vezes, em relação a outros conceitos.

A seguir mostraremos alguns exemplares selecionados da nossa amostra que demonstram a nossa classificação.

No mapa abaixo (Figura 19), percebemos a presença das cores do Arco-Íris e da necessidade do Sol e da chuva para ocorrer um Arco-Íris. Notamos também que a aluna utilizou níveis e relações válidos na apresentação de ambos os conceitos. Na nossa análise, encontramos 31% da totalidade dos alunos que elaboraram um mapa semelhante a este, ou seja, bem estruturado, contendo algumas cores (embora nem sempre citadas corretamente), e noções científicas como a presença do Sol e da Chuva e o formato do arco em dois eixos de diferenciação.

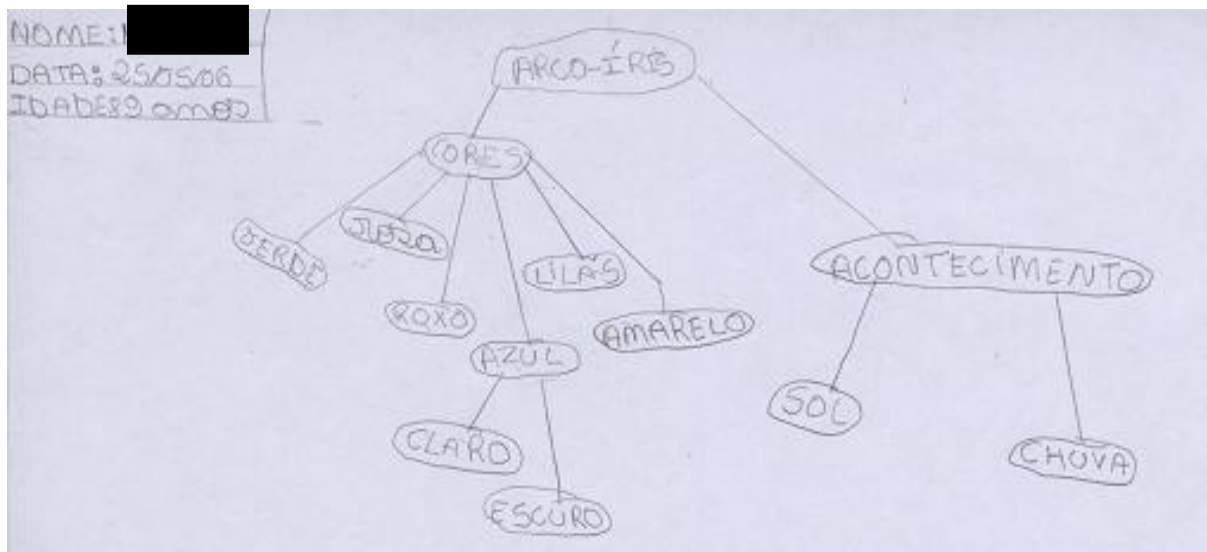


Figura 19 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno A da 4ª série do Ensino Fundamental

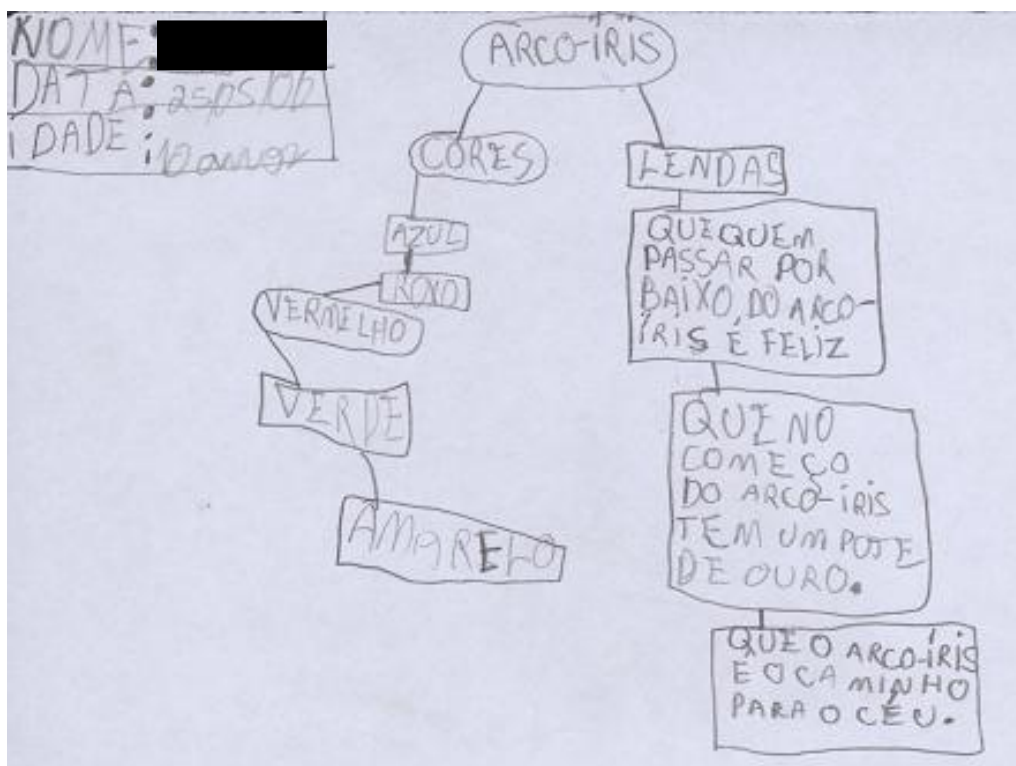


Figura 20 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno B da 4ª série do Ensino Fundamental

O mapa acima (Figura 20), demonstra somente a relação entre o Arco-Íris e as cores que o compõe, embora o aluno não tenha citado todas as cores, e algumas lendas que fazem parte da crença popular. Note que, apesar de ser um mapa simples, o aluno apresentou bem os conceitos abordados (cores e lendas), realizou algumas relações válidas e citou exemplos das lendas conhecidas. Encontramos 25% de mapas construídos com essas características: as noções organizadas, a presença do conceito de cor; entretanto, em outros mapas as noções foram relativas a lendas, crenças religiosas e sentimentos de admiração, como “lindo”, “maravilhoso”, “colorido”, entre outros.

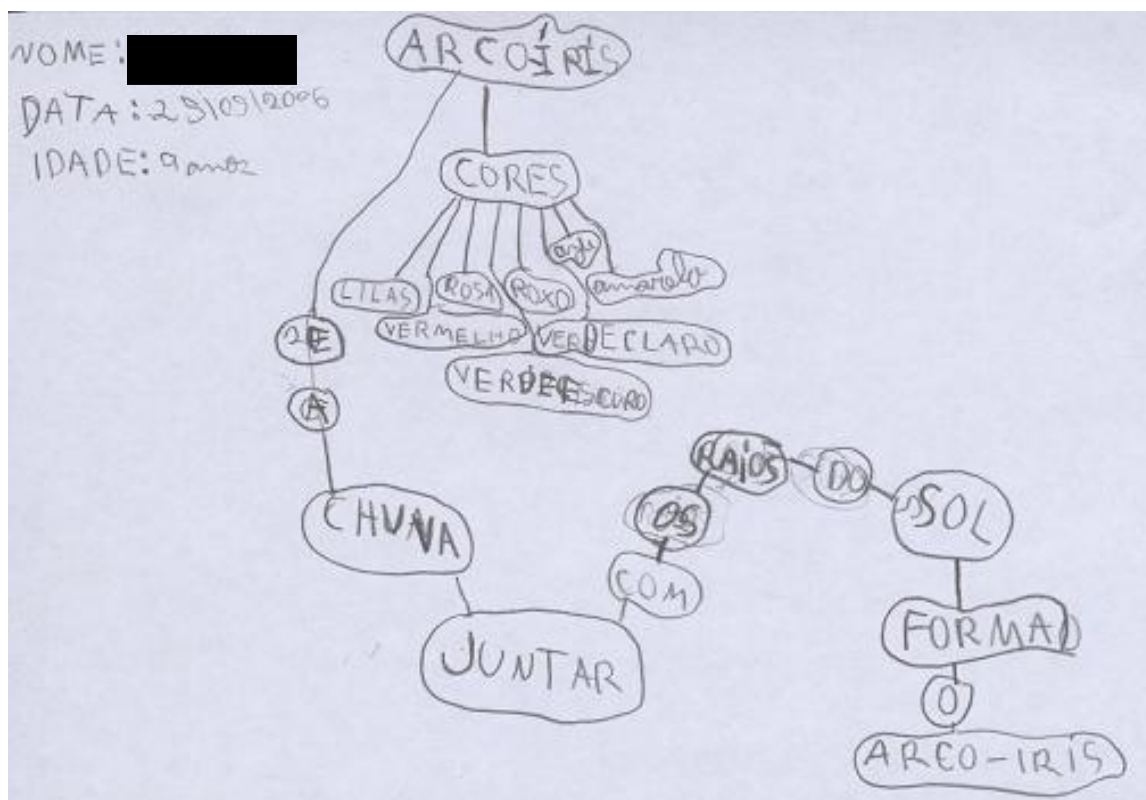


Figura 21 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno C da 4ª série do Ensino Fundamental

O aluno da Figura 21 abordou dois conceitos para o Arco-Íris, um a respeito das cores e o outro dos raios de Sol incidindo na chuva para a formação desse arco. Apesar da informação ser clara, o aluno não conseguiu estruturá-la do mesmo modo que o fez com as cores. Vinte por cento dos alunos elaboraram mapas aproximados a este, com o conceito de cor bem estruturado, mas com as demais noções apresentadas em forma de frase como do exemplo, ou apenas uma listagem de palavras sem ligações válidas entre os conceitos.

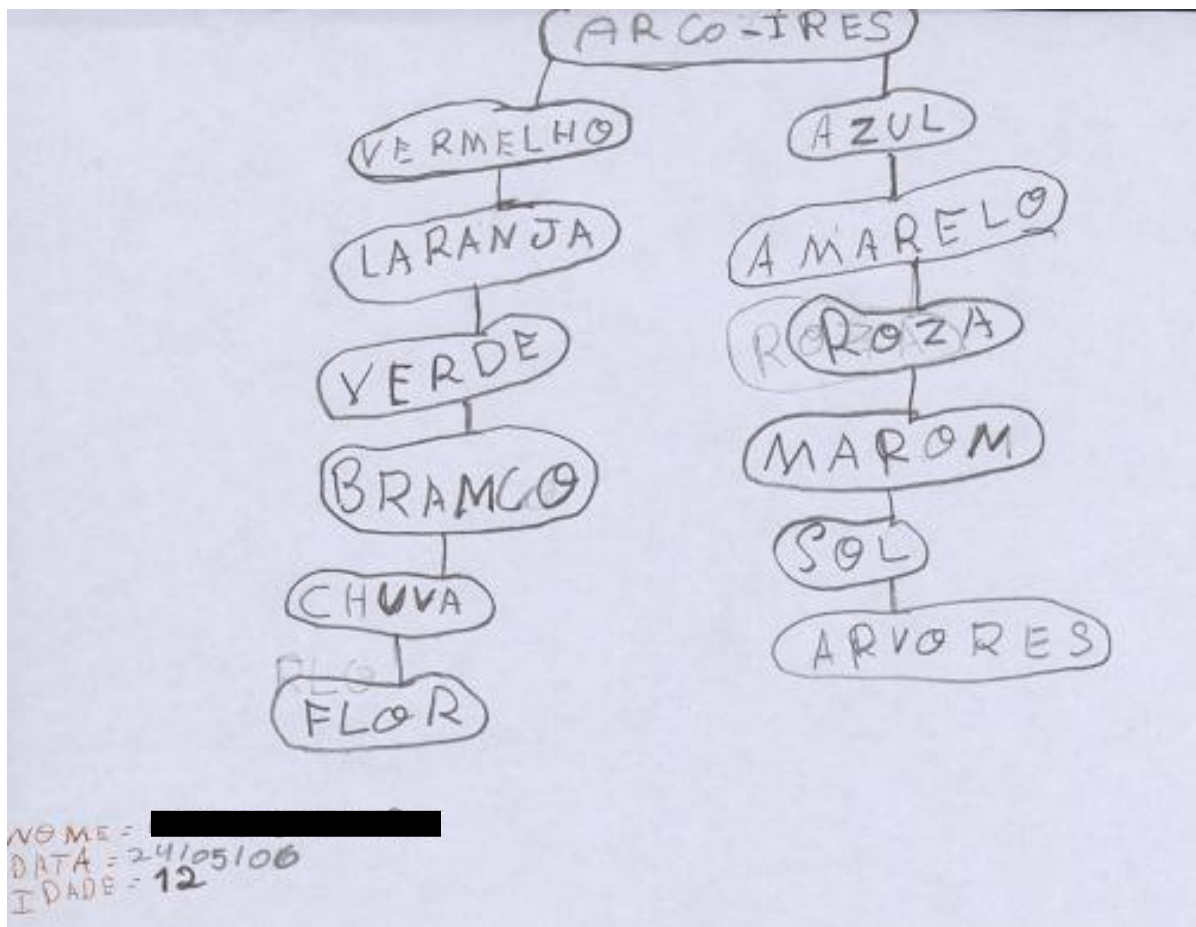


Figura 22 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno *D* da 4ª série do Ensino Fundamental

O mapa construído pelo aluno da Figura 22, embora contenha algumas informações como as cores, o Sol e a chuva, constitui uma cadeia (ou listagem) de palavras a respeito do Arco-Íris. O mapa não apresenta uma estruturação entre conceitos nem ligações válidas. Encontramos 24% dos mapas elaborados como listagem de palavras, o que nos leva a pensar que esses alunos ainda precisam avançar um pouco mais na elaboração de Mapas Conceituais.

Muitos outros mapas poderiam ser utilizados como exemplos de nossa análise. Em todos eles, esses aspectos foram considerados para a identificação das concepções prévias dos alunos a respeito desse fenômeno. Observamos que os alunos parecem ter a informação que são sete as cores do Arco-Íris, embora pelos mapas pudemos perceber que eles não sabem dizer com certeza quais são elas. Acreditamos que isso se deve ao fato de, na observação de um Arco-Íris, algumas cores são mais evidentes do que outras, como é o caso do

vermelho, azul, amarelo e alaranjado. Esse fato foi confirmado pelos mapas dos alunos, na maioria deles, são essas cores que eles citam. Mas a informação que consideramos mais relevante é a presença do Sol e da chuva para o surgimento do Arco-Íris. Essa informação, que praticamente metade dos alunos demonstraram no mapa, constitui um *subsunçor* importante para iniciarmos as atividades por dois motivos: primeiro, aproveitamos as observações já realizadas pelos alunos a respeito desse fenômeno, deixando assim o conceito mais próximo do cotidiano do aluno, e segundo, porque o fenômeno da formação das cores e também do Arco-Íris dependem da passagem da luz (o Sol, na interpretação dos alunos) de um meio para outro (do ar para a água).

4.1.2 Atividade 2: Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira

Esta é uma atividade experimental simples e do conhecimento cotidiano dos alunos. O problema proposto para os alunos consiste em produzir um Arco-Íris em um local aberto que receba a luz do Sol utilizando um esguicho de mangueira. Vimos que os primeiros pensadores, após muitas observações, concluíram que há uma relação entre as posições do Sol e do observador para observação do Arco-Íris (Aristóteles), ou seja, o Sol deve estar oposto ao Arco-Íris com o observador entre eles. Essa questão é relevante porque esclarece uma das condições necessárias para a sua observação.

Nos Mapas Conceituais (Conjunto I), aproximadamente metade dos alunos revelaram a idéia de que o Arco-Íris se forma sempre quando aparece o Sol depois da chuva. Por meio do experimento da formação de um Arco-Íris é possível para o aluno perceber que não é em qualquer posição que ele se forma. Observar, então, qual é a posição em que o Sol deve estar e em que posição devemos observar o esguicho da água da mangueira é o objetivo principal dessa atividade. Esperamos que consigam identificar que o Sol deve estar atrás do observador. Um outro objetivo é a observação das cores que compõe o espectro.

Antigamente, os pensadores acreditavam, por meio da observação, que eram 4 ou 5 as cores do Arco-Íris (Aristóteles e Al Qarāfi). Hoje, nossos alunos

foram ensinados desde cedo que são sete as cores do Arco-Íris. Embora os Mapas Conceituais demonstrem que eles acreditam que sejam sete as cores do Arco-Íris, normalmente eles não citam essas cores, e, quando o fazem, não citam corretamente as cores. Será que realmente eles identificam essas sete cores observando um Arco-Íris produzido experimentalmente? Entretanto, não se espera que o aluno obtenha essa constatação na primeira atividade. Ele poderá atingir essa conclusão no decorrer de outras atividades.

Nos Mapas Conceituais (Conjunto I) a relação existente entre a presença da luz e da água para a formação do Arco-Íris (*subsunçor*) foi percebida, mas é necessário, nessa atividade, que as crianças percebam também a relação existente entre a posição do Sol e do observador. O relato das cores e a ordem em que elas aparecem devem resultar da observação sistemática do Arco-Íris e o resultado dessa observação poderá ou não estar de acordo com a idéia das sete cores.

• Descrição e planejamento da atividade de produção de um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira segundo os quatro níveis de ação e reflexão de Carvalho *et al* (1998):

1º) O professor propõe o problema:

Os alunos devem estar separados em grupos de 4 ou 5. É necessário que essa atividade seja conduzida fora da sala de aula, em um pátio aberto, já que necessita de água esguichada por uma mangueira e da luz do Sol incidindo sobre o local. Por falta de torneiras e mangueiras suficientes, a atividade pode ser realizada com um ou dois grupos de cada vez. Evidentemente, os resultados de um grupo podem favorecer o entendimento de outro, mas acreditamos que o fato dos grupos realizarem a atividade em separado não prejudica o resultado final, já que esta atividade era conhecida por algumas crianças em suas brincadeiras domésticas. Se o dia não estiver ensolarado, o professor deve adiar a atividade. Com a organização dos grupos pronta, o professor propõe o problema:

Formar um Arco-Íris utilizando o material disponível, ou seja, a mangueira com água.

O professor deve estar atento para que todos os alunos compreendam realmente o que é para ser feito, porém deve ser cauteloso para não dar muitas dicas para a solução do problema, pois é importante que os alunos cheguem a ela.

2º) Agindo sobre os objetos para ver como eles reagem:

Os alunos começam a manipular o material, esguichando água com a mangueira na tentativa de “encontrar” o Arco-Íris. O professor deve percorrer os grupos para verificar se todos os alunos estão tendo a oportunidade de interagir com o objeto experimental.

3º) Agindo sobre os objetos para obter o efeito desejado:

Depois de saciada a curiosidade inicial em relação ao objeto, os alunos passam para a ação em busca do resultado que corresponde à resolução do problema: controlar o esguicho da mangueira de forma que as gotas d'água saiam menores possíveis, descobrir o ângulo ideal de incidência dos raios solares e perceber a posição do observador em relação ao Sol. O professor deve passar pelos grupos solicitando que os alunos mostrem e contem como estão fazendo. Assim, o professor pode certificar-se que os alunos estão resolvendo o problema e a verbalização colabora para organização de suas ações e seu pensamento.

4º) Tomando consciência de como foi produzido o efeito desejado:

Depois dos grupos terem formado um Arco-Íris, o professor organiza uma discussão com os alunos. O professor inicia a discussão pedindo aos alunos que contem como fizeram para resolver o problema. Todos os alunos devem ter a oportunidade de expor seus argumentos, mesmo que um outro aluno já tenha falado algo semelhante, é até normal que isso ocorra e deve ser encarado com naturalidade pelo professor. “Ouvir com entusiasmo todos os relatos não é apenas um compromisso com aspectos socioafetivos relacionados com a aprendizagem, mas uma necessidade para que as crianças dêem, na etapa seguinte, as explicações causais” (CARVALHO et al., 1998, p. 42).

5º) Dando as explicações causais:

Quando o professor faz uma pergunta, normalmente os alunos fazem uma descrição das ações realizadas, portanto cabe ao professor, depois de ouvi-los atenciosamente, refazer alguns pontos da pergunta, pedindo que expliquem por quê a atividade deu certo, para que os alunos possam avançar em seu conhecimento. É nessa hora que o professor necessita compreender bem o conceito em questão para que possa auxiliar o aluno no progresso do conhecimento. Consideramos também importante que o professor incentive o aluno a utilizar um vocabulário mais apropriado aos conceitos físicos. Isso pode ser feito sutilmente: o professor não deve introduzir um vocabulário cortando a fala da criança, pois isso pode inibi-la a prosseguir, mas, sempre que possível, pode retomar a explicação já dada pelo aluno com o vocabulário apropriado. Com o passar do tempo, os alunos vão compreendendo essa prática e começam a utilizar uma linguagem mais rica.

6º) Escrevendo e desenhando:

O professor solicita que os alunos escrevam e/ou desenhem a respeito da experiência realizada, sugerindo que contem o que fizeram e que expliquem por quê. A escrita deve ser livre, o aluno precisa sentir-se à vontade com aquilo que vai escrever. Este ato não deve ser relacionado com nenhum tipo de avaliação, senão o aluno pode sentir-se pressionado e escrever aquilo que ele acha que vai agradar ao professor e não aquilo que realmente teve significado para ele. Geralmente o material escrito pelos alunos constitui uma fonte rica de análise para a Língua Portuguesa. Os desenhos e relatos devem ser feitos em sala de aula, normalmente após a realização do experimento e da discussão, pois os alunos estão muito motivados com a atividade.

• Relato de como foi o trabalho com os alunos:

Por falta de mangueiras suficientes, a atividade foi realizada com um grupo de cada vez, com os demais alunos aguardando na sala de aula. Foi importante escolher um horário em que a posição do Sol favorecesse a realização da atividade, pois quando o Sol está muito alto, o Arco-Íris fica menor e próximo ao solo. Então, a atividade foi realizada a partir das 8:30 h com a turma da manhã e, a

partir das 14:30 h, com a turma da tarde. A atividade demorou aproximadamente dez minutos com cada grupo, mas na turma da tarde, a atividade ficou suspensa por algum tempo devido ao horário de lanche da escola. Isso tornou a atividade da turma da tarde mais demorada do que a da outra.

Os alunos não tiveram dificuldades para localizar o Arco-Íris, ficaram muito admirados com essa observação. Alguns grupos tiveram mais dificuldade em relacionar as posições do Sol e do observador, atribuindo à posição do esguicho da água o fato da observação ou não do fenômeno. Esse problema foi resolvido da seguinte maneira: um aluno (ou a professora) segurava a mangueira em um ponto fixo, enquanto os outros mudavam suas posições à procura do Arco-Íris. Concluíram que a relação se estabelecia com a mudança da sua posição, e não do esguicho da mangueira. Essa nova informação foi agregada, constituindo uma diferenciação progressiva da idéia inicial do aluno.

Outro aspecto interessante foi a observação das cores. Na fala dos alunos durante a realização da atividade, ficou evidente que eles realmente não conseguem observar as sete cores, observam em torno de quatro a cinco cores.

Como trabalhamos com alunos de quarta série, com idades variando entre 09 e 12 anos, resolvemos experimentar as possibilidades de uma maior formalização do conhecimento, sugerindo o relatório da atividade (Anexo A), observando se apresentavam uma indicação de aprendizagem. No preenchimento do relatório, observamos que a maioria dos alunos não cita as sete cores, concordando assim com a observação feita durante a realização do experimento e com o paralelo existente entre o conhecimento desenvolvido pela humanidade e o conhecimento construído pelo sujeito.

Observe o relato escrito da experiência feito por alguns alunos, demonstrando a compreensão da posição do observador e do Sol para a observação do Arco-Íris e as cores observadas por eles:

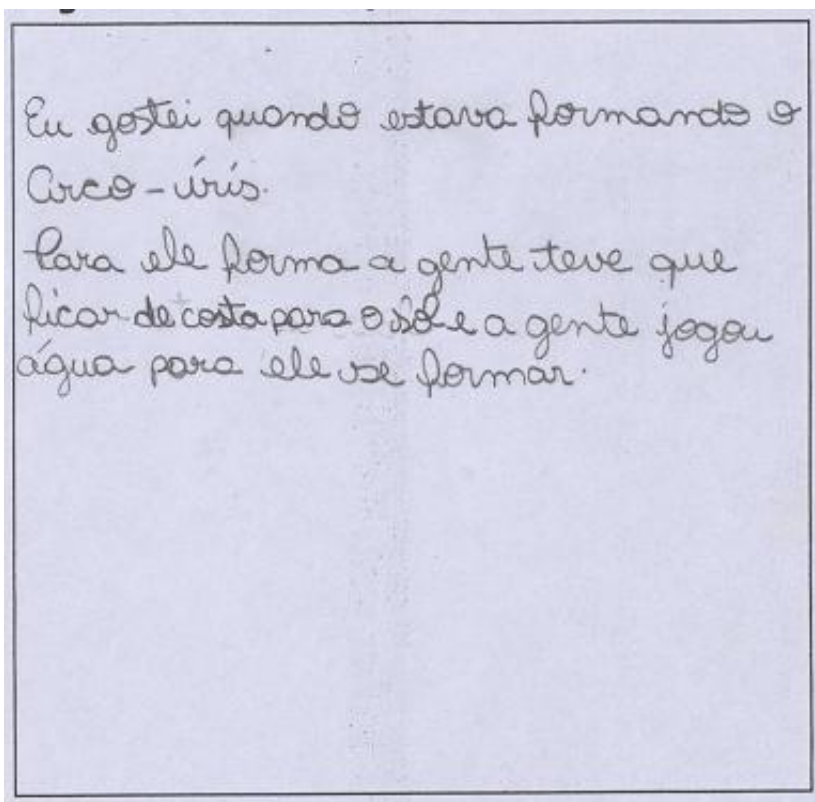


Figura 23 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris (Anexo B)

No desenho da atividade feitos por esses alunos (Figuras 23 e 24), observamos a preocupação com o posicionamento do Sol atrás das crianças e com o Arco-Íris podendo ser observado na frente delas. Outro ponto interessante é a pintura do Arco-Íris utilizando somente quatro cores: o vermelho, o amarelo, o azul e o verde. O desenho está de acordo com a fala dos alunos durante a realização da atividade.



Figura 24 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris (Anexo C)



Eu gostei quando estava formando o
Arco-íris.
Para ele forma a gente teve que
ficar de costas para o sol e a gente jogou
água para ele se formar.

Figura 25 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação do Arco-Iris (Anexo C)

Nos relatos escritos (Figuras 25 e 26) percebemos, mais uma vez, a preocupação com o posicionamento correto do Sol e do Observador para a apreciação do fenômeno, e também a satisfação que eles sentiram ao realizar a atividade.

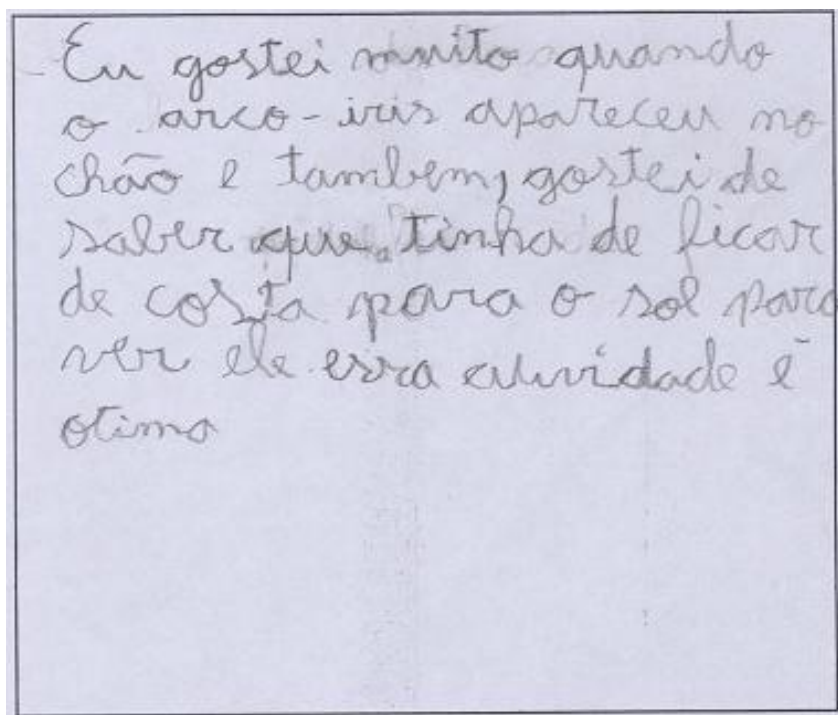


Figura 26 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação do Arco-Íris (Anexo D)

4.1.3 Atividade 3: Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz

De posse de uma variedade de materiais como espelhos, lentes e vidros, e uma fonte de luz, o objetivo é observar e classificar quais materiais permitem que a luz passe e quais “devolvem” a luz. Essa atividade é muito importante, pois neste momento estarão em contato com as idéias iniciais de refração e reflexão da luz, necessários à compreensão do Arco-Íris e da formação das cores. A idéia de refração como elemento necessário à formação do Arco-Íris foi introduzida por Robert Grosseteste. Neste ponto, é necessário reafirmar a idéia de reflexão da luz nos alunos (este conceito pode ser mais fácil para eles, pois é um fenômeno mais evidente em suas vidas cotidianas) e introduzir o conceito de refração da luz que, provavelmente, eles não conheçam ainda. Foi observado, durante a realização da atividade 2, que os alunos associavam a observação do fenômeno do Arco-Íris ao reflexo da luz do Sol na água (*subsunçor*). Entretanto, a idéia de que a luz atravessa a água não estava presente, precisando ser observada

pelos alunos.

• **Descrição e planejamento da atividade de classificar materiais que permitem ou não a passagem da luz segundo os níveis de ação e reflexão de Carvalho et al. :**

1º) O professor propõe o problema:

Os alunos devem estar separados em grupos, na própria sala de aula. O ambiente precisa estar numa penumbra; no entanto, para essa atividade não é necessário o escurecimento do ambiente, basta fechar as cortinas e apagar as luzes (este procedimento só deve ser realizado após a distribuição dos materiais às equipes e à exposição do problema).

Com as equipes formadas, o professor expõe o problema:

O professor explica para os alunos que as equipes receberão alguns materiais (espelho, metal, acrílico, vidro, cd, água) e uma lanterna, e deverão observar como a luz se comporta ao incidir nesses objetos, tentando estabelecer alguma classificação (os alunos podem não compreender o argumento da classificação, então o professor pode pedir para os alunos agruparem os materiais de acordo com o que for observado).

O professor deve estar atento, percorrendo os grupos, para observar se os alunos realmente compreenderam o que é para ser feito.

2º) Agindo sobre os objetos para ver como eles reagem:

Nessa etapa, os alunos começam a manipular os objetos em uma de saciar a curiosidade que eles têm a respeito dos mesmos. O professor deve estar atento para que todos os alunos tenham a oportunidade de manipular todos os objetos. Algumas situações são muito freqüentes em ambientes de ensino dessa faixa etária, como a disputa pela liderança do grupo, a apropriação do material como sendo exclusivamente seu. Muitos alunos reclamam a atenção do professor para solucionar essas divergências, porém, alguns alunos não conseguem impor a sua presença ao grupo, sendo deixado de lado pelos outros colegas. Alguns se contentam apenas em observar o que os colegas fazem, dessa forma, é necessário que o professor circule entre os grupos atento a todas essas situações, pois a ação sobre o objeto é necessária para se atingir a reflexão. O professor que conhece bem os seus alunos tem muita facilidade para contornar essas situações.

3º) Agindo sobre o objeto para obter o efeito desejado:

Essa etapa se sobrepõe à anterior, sendo que uma ocorre simultaneamente à outra. A própria manipulação para a satisfação da curiosidade já dá início a uma série de observações e relações que o aluno vai construindo a partir de sua ação. O aluno deve começar a observar que alguns objetos não permitem a passagem da luz, como o espelho, o metal e o CD, e outros permitem. O professor deve circular pelas equipes, questionando as conclusões que os alunos estão tirando a respeito da atividade, procurando estabelecer algum tipo de classificação para os materiais. Em alguns materiais, como a água, o vidro e o acrílico, os dois fenômenos ocorrem ao mesmo tempo, ou seja, são materiais que permitem que a luz passe por eles e também refletem alguma quantidade da luz. Como a reflexão nesses materiais não é tão intensa quanto no espelho, por exemplo, o professor precisa se certificar que os alunos estão conseguindo perceber os dois fenômenos.

Obs: Aproveitando o material que já está distribuído pelas equipes (copo com água), solicitar aos alunos que coloquem um lápis dentro do copo com água e observar o que acontece (deformação da imagem do lápis dentro da água). Esta análise é importante, pois relaciona o “aumento” do lápis ao passar de um meio para outro (imagem formada pela refração) ao “aumento” da luz ao passar de um meio para outro, formando as cores. Como essa atividade não faz parte do problema proposto, deve ser trabalhada após a classificação dos materiais, mas pode ser analisada junto com a de classificação de materiais.

4º) Tomando consciência de como foi produzido o efeito desejado:

Depois de realizada a atividade, o professor inicia uma discussão com os alunos, solicitando que eles contem como fizeram para resolver o problema proposto. Todos os alunos devem ter o direito de falar, mesmo se os argumentos forem repetidos, o professor deve ter paciência e ouvir todas as falas dos alunos. Como já foi citado anteriormente, as falas espontâneas são necessárias para a fase posterior, das explicações causais.

5º) Dando explicações causais:

Na fala espontânea dos alunos, é comum que eles façam um relato de como se desenvolveu a atividade. Assim, é importante que o professor conduza

a discussão fazendo perguntas para que os alunos expliquem o porque do que foi observado. O termo reflexão deve ser reforçado e o termo refração pode ser introduzido, dependendo da evolução observada pelo professor. Perguntas como o que aconteceu com cada material pode favorecer a relação entre a passagem ou reflexão da luz nos materiais. As cores formadas pela reflexão da luz no CD também podem ser tratadas nesse momento. A diferença da imagem do lápis no ar e na água também deve ser relacionada com o fenômeno da refração.

6º) Escrevendo e desenhando:

O professor solicita aos alunos que façam um desenho e escrevam contando como foi a experiência. Como já foi dito, o aluno deve ter a liberdade de escrever aquilo que foi importante para ele, não deve ser relacionado qualquer tipo de avaliação.

• **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

Essa atividade foi realizada em grupos de 5 a 6 alunos, que receberam os materiais já descritos e iniciaram a atividade. No início os alunos demonstraram pouco entusiasmo em realizar a atividade, argumentando que não “acontecia nada”. Então compreendemos que eles esperavam uma experiência com o efeito visual atraente, como foi a do esguicho d’água. Alguns alunos diziam que só “acontecia alguma coisa no CD”, que refletia as luzes coloridas. Ao percebermos isso, retomamos a explicação da experiência, salientando que essa atividade não teria um efeito impressionante, mas que era uma atividade importante e deveria ser encarada também com entusiasmo.

Circulando pelas equipes, percebemos que muitos alunos deixavam o material a ser analisado na posição horizontal sobre a carteira, fato que não possibilitava a observação dos efeitos desejados. Precisamos improvisar na hora, sugerindo aos alunos que tentassem observar se a luz alcançava ou não algum objeto colocado atrás do material analisado. Essa interferência surtiu um bom efeito, e os alunos começaram a compreender a passagem ou não da luz pelo material. Com o CD aconteceu um fato inusitado, muitos alunos associaram a este material os dois fenômenos, alegando que a luz passava pelo buraco que tinha no meio do CD. Consideramos que esse material não deve ser analisado dessa forma na atividade, pois, mesmo o professor alegando que se não houvesse o buraco, a

luz seria somente refletida, alguns continuavam classificando-o como material que permite a passagem da luz e que reflete a luz. Será necessário utilizar apenas pedaços do CD que não contenham o buraco.

Ao analisarem o vidro, a maioria percebeu que ele permitia a passagem da luz e também refletia um pouco dela, mas com o acrílico foi mais difícil, uma vez que a reflexão era muito sutil nesse material. Também tiveram dificuldades com a pronúncia e com a escrita da palavra “acrílico”. Quanto à água, perceberam com muita facilidade a passagem da luz, mas também tiveram dificuldades com a reflexão. Acreditamos que o fato da água estar dentro de um copo, que permitia uma superfície muito pequena para ser analisada, contribuiu para essa dificuldade. Tivemos então que relacionar a reflexão da água com a observação cotidiana das imagens das árvores (ou prédios, como eles disseram) formadas na superfície de um lago.

Para resolver isso, nas próximas atividades, sugerimos que fosse utilizado uma travessa de vidro para colocar a água, de forma que a superfície fique maior para a análise. Os alunos divertiram-se muito observando a imagem de um outro colega aumentada pela água ou de alguma letra escrita do caderno. Numa das turmas, um aluno lembrou de uma cena de um filme infantil (Vida de Inseto) em que um personagem utiliza uma gota d’água como lente de aumento, simulando uma luneta. Essa interferência pôde ser observada no relatório dessa turma, em que alguns alunos descreveram que a água funciona como uma lupa ou lente, aumentando o tamanho do lápis. Com a análise do espelho e do metal não houve nenhum elemento que interferisse na conclusão dos alunos, eles facilmente identificaram esses materiais com a reflexão da luz. Mas o que chamou realmente a atenção dos alunos foi a imagem do lápis dentro d’água. Esse efeito causou uma sensação prazerosa para eles, que comentavam que “agora sim aconteceu alguma coisa”.

Também aproveitamos para sugerir o preenchimento do relatório da atividade (Anexo E), que visa a indicação de elementos de aprendizagem. O preenchimento do relatório também apresentou alguns problemas. Os alunos tiveram dificuldades em distribuir os materiais nas colunas para materiais que “permitem a passagem da luz” e “acontece as duas coisas”. Muitos repetiram os nomes dos materiais em ambas, outros se atrapalharam, acreditando que se já haviam colocado o nome em uma coluna, não poderia ser repetido na outra, assim

distribuíam os materiais de maneira muito insegura. Outro aspecto observado foi que os alunos demonstraram-se muito à vontade em utilizar o termo “refletem” durante a realização da atividade, mas o preenchimento do relatório trazia a expressão “devolvem a luz” numas das colunas que colocamos na tabela. Também tivemos que fazer uma interferência nesse sentido, esclarecendo que os materiais que eles consideravam que “refletiam” a luz poderia ser colocado na coluna de “devolvem a luz”. Acreditamos que o relatório também precisa ser revisto para as próximas aplicações. Seleccionamos alguns relatos dos alunos a respeito da atividade:

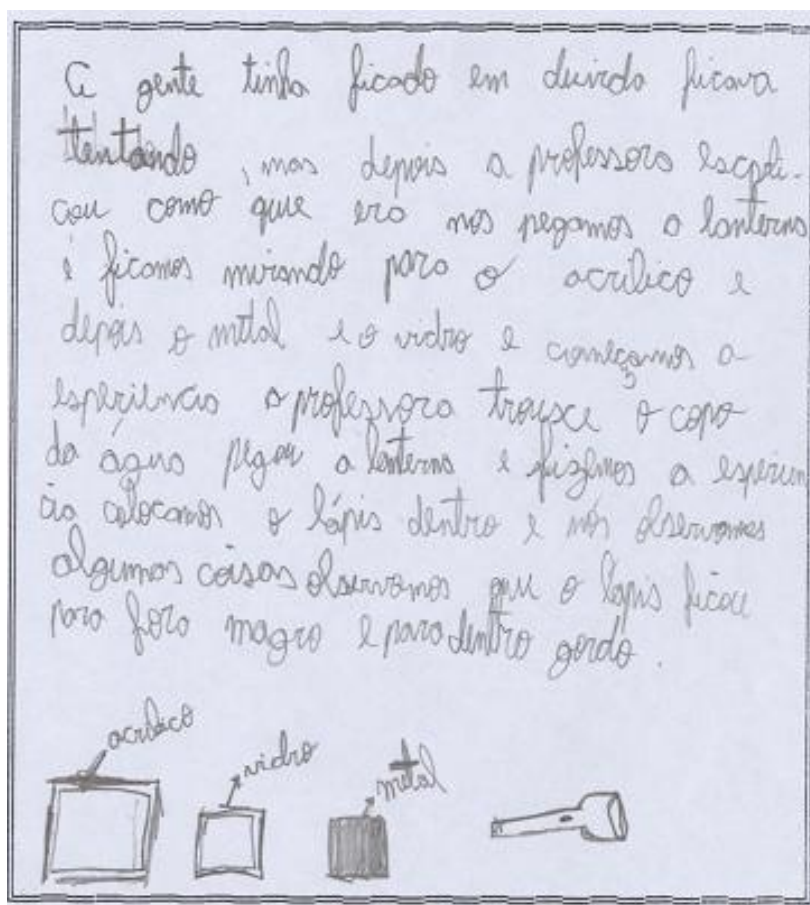


Figura 27 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da classificação dos materiais (Anexo F)

Neste relato escrito (Figura 27), percebemos a dificuldade que a equipe encontrou para a compreensão da atividade e a necessidade de uma interferência do professor, explicando melhor o problema. Notamos também que a

atividade da observação de um lápis dentro e fora d'água foi significativa para esse aluno.

O relato abaixo (Figura 28) evidencia a classificação que a criança fez dos materiais que permitem a passagem da luz e dos que a refletem. Entretanto, a confusão feita por esta criança na utilização da expressão “desenvolvem na luz”, quando deveria ser “devolvem a luz” pode indicar uma estranheza com o vocabulário.

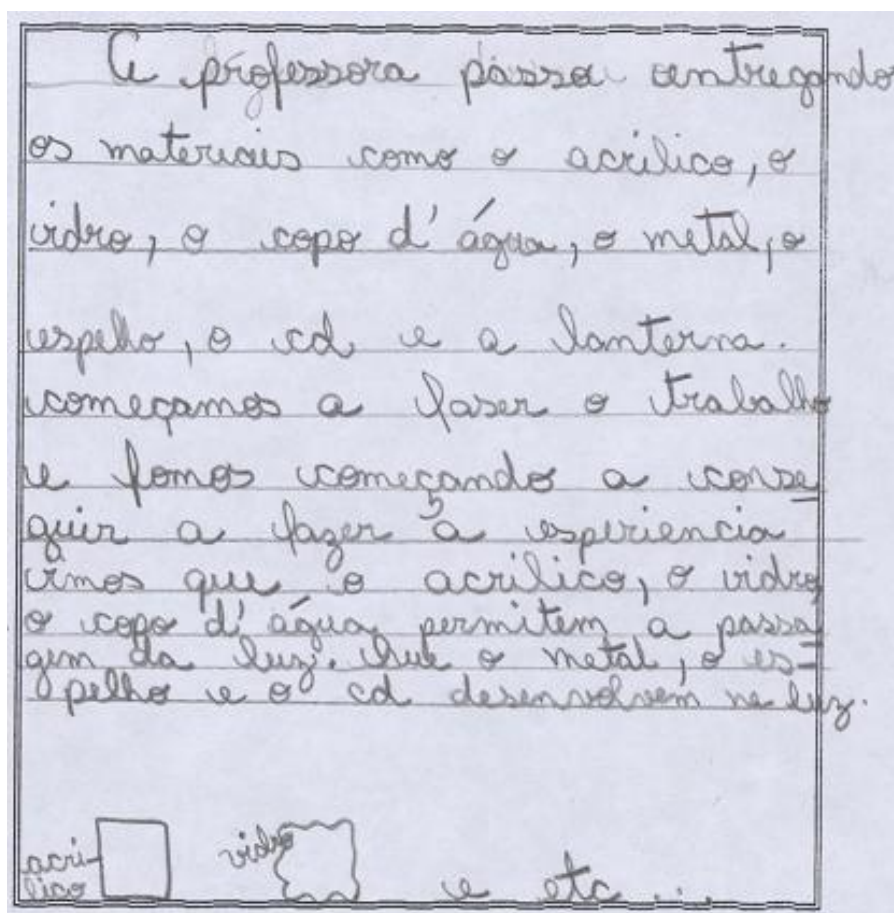


Figura 28 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais (Anexo G)

Nos próximos relatos (Figuras 29 e 30) observamos que estes alunos apresentaram uma classificação correta dos materiais, referindo-se aos que “permitem a passagem da luz”, aos que “devolvem a luz” e aos materiais que apresentam as duas características, como o vidro e a água. Note a riqueza de detalhes na ilustração da atividade (Figura 30).

Nós formamos um grupo.
Primeiro nós recebemos a
lanterna depois os materiais,
nós observamos com a lan-
terna qual ^{material} que permitem
a passagem da luz, aconte-
ce as duas coisas e devol-
vem a luz, os materiais
chamam: CO, espelho, vidro,
metal e acrílico.

Figura 29 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais (Anexo H)



Figura 30 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação dos materiais (Anexo I)

4.1.4 Atividade 4: A grande “gota d’água”

Essa atividade é a reprodução de um experimento histórico, utilizado notadamente por Teodorico de Freiberg e René Descartes, entre outros pensadores, para o estudo do Arco-Íris. Ele consiste na observação de uma “grande gota d’água” exposta a uma fonte de luz, em que é possível observar a formação de um Arco-Íris completo.

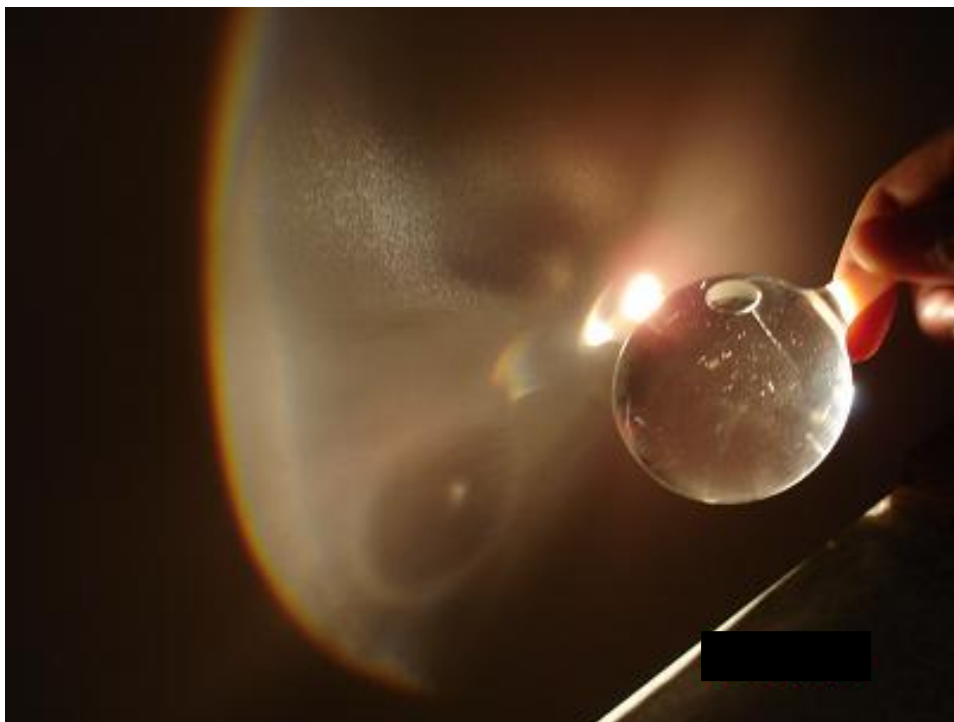


Figura 31 – Fotografia representando o experimento histórico da “grande gota d’água”

A atividade deve ser realizada numa sala escurecida, em que os alunos, em grupo, recebam o material: uma fonte de luz artificial, um anteparo branco e uma esfera de vidro cheia de água (simulando uma grande gota de chuva). Com este material, os alunos devem obter e observar o Arco-Íris. Com o conhecimento da atividade anterior, que a água (e, no caso, o vidro também) é um material que permite a passagem da luz e também reflete a luz, os alunos podem observar a entrada da luz na gota e a formação do espectro colorido na direção oposta à entrada da luz, ou seja, deveria ocorrer uma reflexão ali.

Mas há outro fator a ser considerado na observação do experimento: a luz entra branca na gota, mas o que acontece lá dentro que a torna “colorida”? Esta questão pode ser analisada relacionando esta atividade com a do lápis deformado no copo com água, ou seja, a água tem a propriedade de modificar a luz branca tornando-a “colorida”. Quando a luz branca entra na gota d’água, ela sofre um desvio, assim como o lápis, e nesse desvio, a luz branca é decomposta, exibindo as cores do Arco-Íris. É importante esclarecer para os alunos que estas cores já estão presentes na luz branca, ou seja, a luz branca é formada por todas essas cores juntas. O que ocorre durante a passagem da luz de um meio para o

outro (no caso, do ar para a água) é a separação das cores já existentes na luz branca. Se este fato não for bem esclarecido, o aluno pode considerar que a água (ou outro material) é que torna a luz colorida.

Essa atividade permite que as novas informações decorrentes da observação e análise da atividade sejam relacionadas com as anteriores, desenvolvidas durante a atividade de classificação de materiais, promovendo uma diferenciação progressiva dos conceitos.

• **Descrição e planejamento da atividade da “grande gota d’água” segundo os níveis de ação e reflexão de Carvalho *et al* (1998):**

1º) O professor expõe o problema:

Com o material disponível, formar um Arco-Íris.

Os alunos podem ficar inseguros, uma vez que só observaram um Arco-Íris em condições naturais ou simulando essas condições (como na atividade 2). Assim, o professor deve estar disponível para explicar o problema novamente, orientando os alunos a associarem esta atividade reproduzida em um ambiente artificial com aquela realizada no pátio da escola. Deve também orientar seus alunos para evitar acidentes com a fonte artificial de luz, que sendo quente, pode causar queimaduras, e com a “gota d’água”, para não quebrá-la.

2º) Agindo sobre os objetos para ver como eles reagem:

É natural, devido à curiosidade das crianças, que elas manipulem os materiais antes de começar a resolver o problema, principalmente esses materiais que são uma novidade muito atraente para elas. Esse momento deve ser respeitado, mas o professor deve estar atento e ter sensibilidade para interferir quando este período se estender muito. Nesse momento os alunos deverão posicionar os materiais para realizar a atividade. O professor deve ser cauteloso para não dar muitas sugestões para os alunos.

3º) Agindo sobre o objeto para obter o efeito desejado:

O posicionamento dos materiais é muito importante para a realização dessa atividade e, para isso, o aluno deve estabelecer algumas relações com a atividade 2. Essas relações estabelecem a entrada da luz na gota e o local em que se formará o Arco-Íris. Os alunos devem lembrar que o Arco-Íris se forma na direção oposta à entrada da luz, e, assim, posicionar o anteparo no local

adequado. O professor deve incentivar as várias tentativas dos grupos, mas estar atento para que todos os grupos consigam atingir o resultado. Assim que o Arco-Íris estiver formado, o professor deve percorrer os grupos questionando a respeito da observação das sete cores, do formato circular do Arco-Íris, e reforçar o caminho percorrido pela luz. Esse fato é importante para o aluno perceber que no interior da gota ocorre, além da formação das cores, uma reflexão da luz, caso contrário, o Arco-Íris se formaria no mesmo sentido da entrada da luz. Mas é importante ressaltar que as conclusões devem partir dos alunos; o papel do professor é de questionar seus alunos para que eles alcancem as conclusões.

4º) Tomando consciência de como foi produzido o efeito desejado:

Encerrado o experimento, o professor recolhe os materiais, reorganiza os alunos na sala e começa a discussão. O professor pode perguntar para seus alunos como fizeram para obter o Arco-Íris e deve ouvir pacientemente todos os relatos. Como muitos aspectos já foram analisados e discutidos durante a realização do experimento, é provável que a fala dos alunos já demonstrem boas explicações como a direção da entrada e da saída da luz, o posicionamento da gota e do anteparo, a observação das cores e o formato do Arco-Íris.

5º) Dando explicações causais:

Esta fase pode ocorrer simultaneamente com a fase anterior. O professor deve, neste momento, aproveitar a fala dos alunos para esclarecer bem os aspectos analisados durante a realização do experimento. Perguntas como: por que o Arco-Íris apresenta o formato circular; quais são as cores do Arco-Íris; o que será que ocorre no interior da gota que faz com que a luz fique “colorida”; por que o anteparo deve ficar posicionado no mesmo lado da fonte de luz; permitirão aos alunos uma reelaboração de todos os aspectos observados no experimento. O professor deve também, neste momento, relacionar as observações do experimento com as atividades realizadas anteriormente. É importante que o aluno organize bem as relações entre as atividades.

6º) Escrevendo e desenhando:

O professor solicita aos alunos que escrevam como foi o experimento e também façam um desenho. A escrita deve ser espontânea, o aluno deve ter a liberdade de escrever aquilo que for relevante para ele, sem nenhum tipo

de imposição por parte do professor.

• **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

Essa atividade foi realizada primeiramente com a turma A, com os alunos organizados em grupos de cinco na biblioteca da escola, que dispõe de blackout para o escurecimento da sala. Os alunos receberam os materiais, foram orientados quanto aos cuidados para evitar acidentes e tomaram conhecimento do que era para ser feito: obter e observar um Arco-Íris utilizando os materiais. Eles não tiveram dificuldades em perceber que a gota d'água simulava uma gota de chuva e que a luz artificial deveria incidir sobre ela. A dificuldade encontrada foi em posicionar o anteparo para poder localizar e observar o Arco-Íris, uma vez que naturalmente, não precisamos de anteparo para observá-lo.

Os alunos foram questionados a refletir onde se formou o Arco-Íris na atividade do esguicho da mangueira. Eles perceberam em que posição deveria ficar o anteparo. Outro fator que colaborou para esta constatação foi o fato de que o anteparo possuía um pequeno orifício que permitia a passagem da luz, de modo que a colocação dele no mesmo lado da fonte de luz não prejudicasse a passagem da mesma. Assim que um grupo conseguiu a montagem, os demais também posicionaram corretamente o anteparo, e todos conseguiram formar o Arco-Íris. A fascinação deles era evidente, cada vez que eles conseguiam um resultado melhor manipulando a gota, as exclamações de admiração pela sala aumentavam.

Eles puderam perceber o formato circular do Arco-Íris, que eles já tinham percebido na atividade do esguicho com a mangueira, mas puderam então relacionar este formato com o formato da gota, o que não foi possível na outra atividade. As cores também puderam ser observadas, e eles ficavam repetindo a ordem em que elas apareciam. Ao percorrer os grupos, voltamos à questão do posicionamento do anteparo. Por que a luz não ultrapassava toda a gotinha? Essa questão demorou a ser esclarecida. Eles colocavam a mão na parte de trás da gota para verificar se nada estava acontecendo ali. Então concluíram que a luz “voltava” só que indicavam que essa reflexão ocorria na face de entrada da luz na gota, e não no interior dela. Neste momento percebemos que os alunos não tinham a percepção de que a luz precisa ultrapassar a gota para haver a decomposição da luz (mudança de meio).

Então voltamos ao experimento do lápis dentro do copo,

relacionando o aspecto modificado do lápis quando estava dentro e fora d'água. Também tivemos que relacionar este experimento com a atividade de classificação dos materiais: a água é um material que permite a passagem da luz ou que reflete a luz? Essas relações foram muito importantes, sem elas os alunos não teriam percebido que a luz precisa entrar na gotinha para haver a sua decomposição. Embora toda essa discussão tenha sido retomada nos níveis 4 e 5, era também necessário que ela ocorresse no momento da experiência, uma vez que, de posse dos materiais, os alunos pudessem tirar qualquer outra dúvida (como colocar a mãozinha atrás da gota para verificar o que ocorria ali).

Depois de guardarmos todos os materiais, retornamos à sala e iniciamos a discussão. Todas as questões foram retomadas e os alunos apresentaram um bom nível de resposta, mas percebemos que faltava a compreensão e visualização do que ocorria no interior da gota. O preenchimento do relatório colaborou para a visualização esquemática desse fato, e os alunos tiveram muita satisfação em preenchê-lo, pois puderam pintar de acordo com as cores do Arco-Íris (atividade de pintura é muito atrativa para eles). Também escreveram e desenharam contando como foi a atividade. Pudemos perceber que eles não utilizam a palavra refração; muitas vezes utilizam a palavra reflexão quando querem falar da refração, ou seja, utilizam a reflexão para descrever ambos os fenômenos. A introdução do conceito de refração na história da explicação do Arco-Íris não foi feita sem dificuldade, ao contrário, isso levou quase dois mil anos após a idéia da reflexão. Assim, encaramos com naturalidade essa dificuldade apresentada pelos alunos.

Na turma B, a atividade foi desenvolvida na própria sala de aula da turma. Foi necessário cobrir as janelas com uma lona preta para que o ambiente ficasse suficientemente escuro para a realização do experimento. Com os grupos formados (essa turma é mais numerosa, então os grupos têm mais elementos) e os materiais distribuídos, os alunos foram orientados quanto aos cuidados com a segurança e quanto ao que deveriam fazer. Essa turma também mostrou muito entusiasmo em receber os materiais, principalmente a gota d'água.

Depois de satisfeita a curiosidade inicial, eles começaram o experimento. Os mesmos problemas quanto ao posicionamento dos materiais foram percebidos com essa turma, e as mesmas estratégias já citadas foram utilizadas: relacionar essa atividade com as realizadas anteriormente. Não percebemos

nenhuma diferença significativa para o desenvolvimento da atividade entre as duas turmas, ao contrário, as dificuldades e as soluções encontradas foram muito semelhantes entre elas. Também no momento da discussão, as respostas dadas pelos alunos e as explicações feitas por eles apresentam semelhança entre as turmas. O preenchimento do relatório ocorreu sem problemas.

Durante a realização da atividade, observando os problemas encontrados pelos alunos, concluímos que essa atividade deveria ter sido realizada após a experiência do prisma, e não antes, como fizemos. Isso se justifica pelo fato de que a experiência do prisma acrescenta o elemento da refração e da decomposição da luz ao passar por ele. Esses conhecimentos são necessários para a boa compreensão do que ocorre no interior da gota d'água. O experimento da gota envolve um maior número de componentes: além da decomposição da luz, há a reflexão e o posicionamento do anteparo decorrente dela. Então este experimento, por envolver mais componentes, deve ocorrer após o experimento do prisma.

Quanto à justificativa histórica, a nossa opção por esta seqüência se dava pela utilização do famoso experimento do prisma de Newton e as conclusões alcançadas por ele: a luz branca é composta pelas cores do Arco-Íris e a soma de todas essas cores resultaria na luz branca. Entretanto, experimentos com prismas já eram muito utilizados por outros pensadores, como Avicenna (980-1037), Alhazen (965-1039) e Witelo (1230), entre outros (Boyer, 1959). Embora esses pensadores não tenham se aproximado de uma teoria correta a respeito da refração, evidenciamos que as observações do espectro colorido formado a partir da passagem da luz de um meio para outro, já eram objeto de estudo de muitos pensadores. Portanto, observar o que ocorre com a luz ao passar de um meio para o outro é muito importante para a compreensão do que ocorre com a gota d'água. Nesse sentido, argumentamos que a seqüência histórica é suficientemente explicativa. Na segunda aplicação, a ordem desses dois experimentos foi invertida para a nossa investigação.

Solicitamos também o preenchimento de um relatório dessa atividade (Anexo J). Um dos objetivos do relatório dessa atividade é ilustrar para o aluno, em forma de um esquema, o que ocorre com a luz no interior da gota d'água, uma vez que isto não é possível de observar pelo experimento. Assim, o objetivo do relatório é instrutivo e não uma avaliação. A seguir, mostraremos alguns

exemplares dos relatos escritos dos alunos a respeito dessa atividade:

No primeiro relato (Figura 32), percebemos a dificuldade encontrada pela equipe em posicionar o anteparo, a gota e a fonte de luz para a formação do Arco-Íris. Observamos também que este aluno não relatou, devido a uma possível falha na observação, todas as cores do espectro.

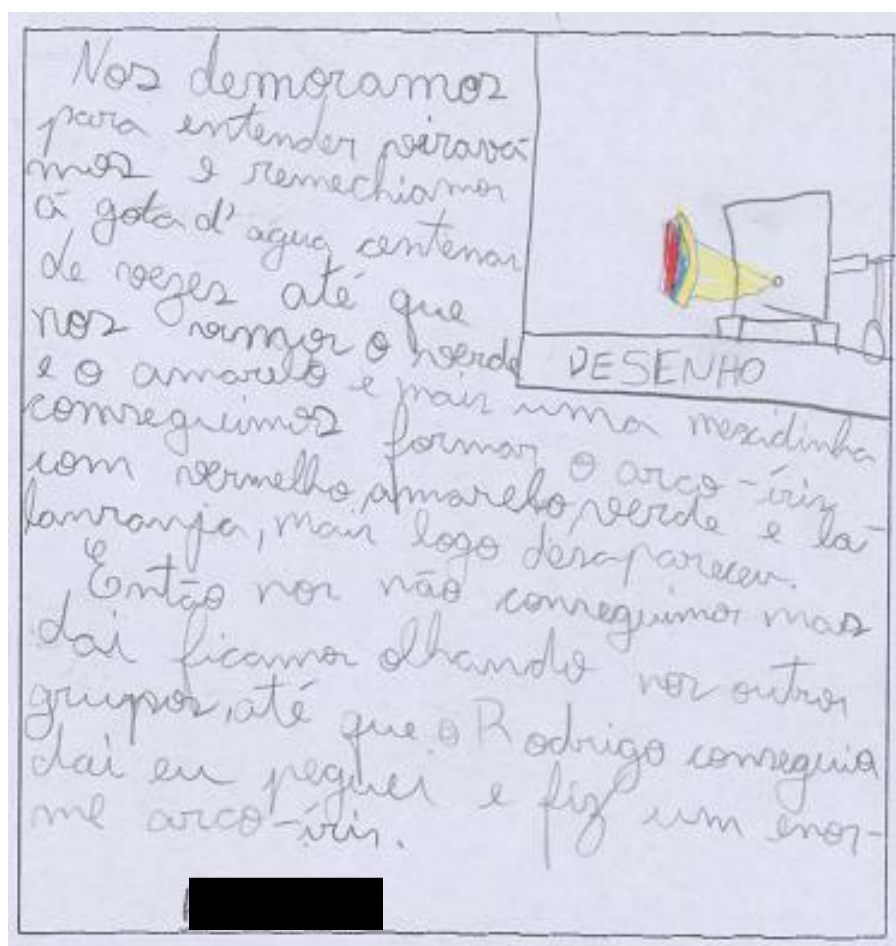


Figura 32 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo L)

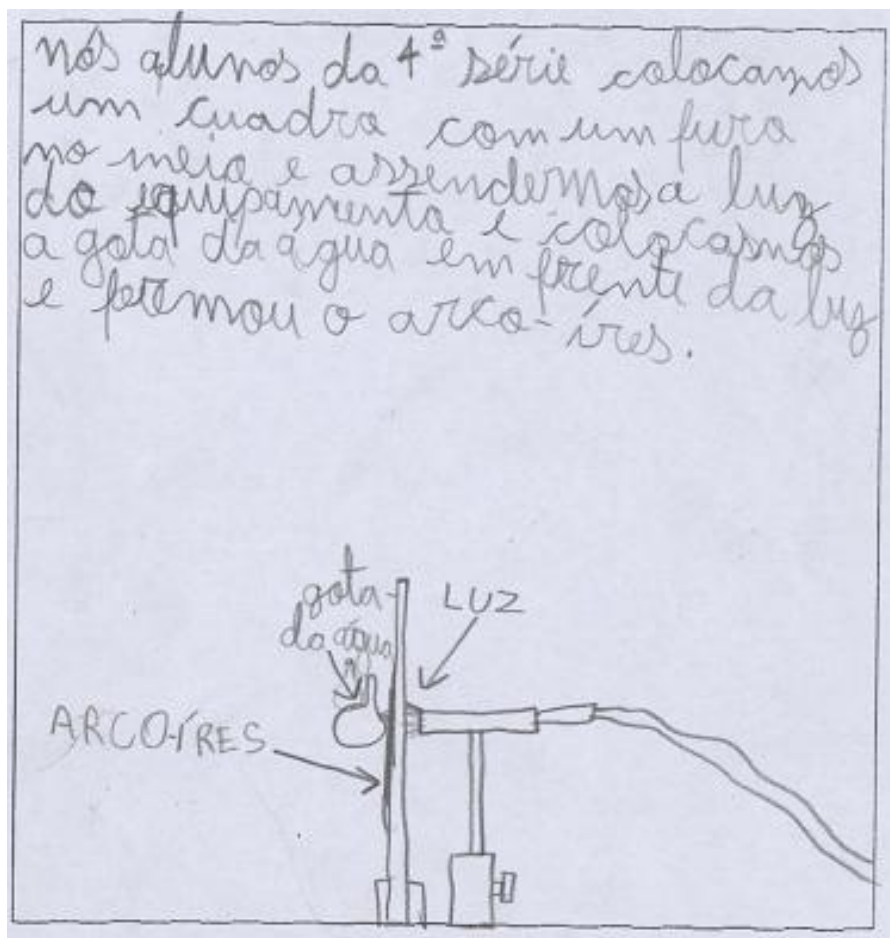


Figura 33 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo M)

O relato acima (Figura 33) é muito sucinto ao descrever a atividade. Porém o desenho feito pelo aluno para ilustrar a atividade apresenta muitos detalhes, como o posicionamento correto da fonte de luz, da gota d'água e do local em que surgiu o Arco-Íris.

No outro relato (Figura 34), percebemos uma descrição detalhada de como foi a realização da atividade, assim como a satisfação demonstrada pelo aluno ao realizá-la.

Hoje a experiência foi uma
 das mais legais. Nós pegamos
 uma placa de madeira, uma fonte
 de luz e uma grande gota
 de água. Nós pegamos a placa
 de madeira e fixamos ela em
 um pesinho para parar em pé.
 Pegamos a fonte de luz e colocamos
 atrás da madeira e a luz
 passou por um buracozinho
 que tinha. Pegamos a gota d'água
 e colocamos na frente do bu-
 roquinho e formou um ar-
 co-íris bem bonito.

Figura 34 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo N)

Este último relato dessa atividade (Figura 35), demonstra, mais uma vez, a dificuldade encontrada pela equipe em posicionar corretamente os materiais da experiência. Essa criança faz referência ao formato circular do Arco-Íris, possível de perceber na atividade, e pinta um Arco-Íris com as sete cores, embora não estejam na ordem correta.

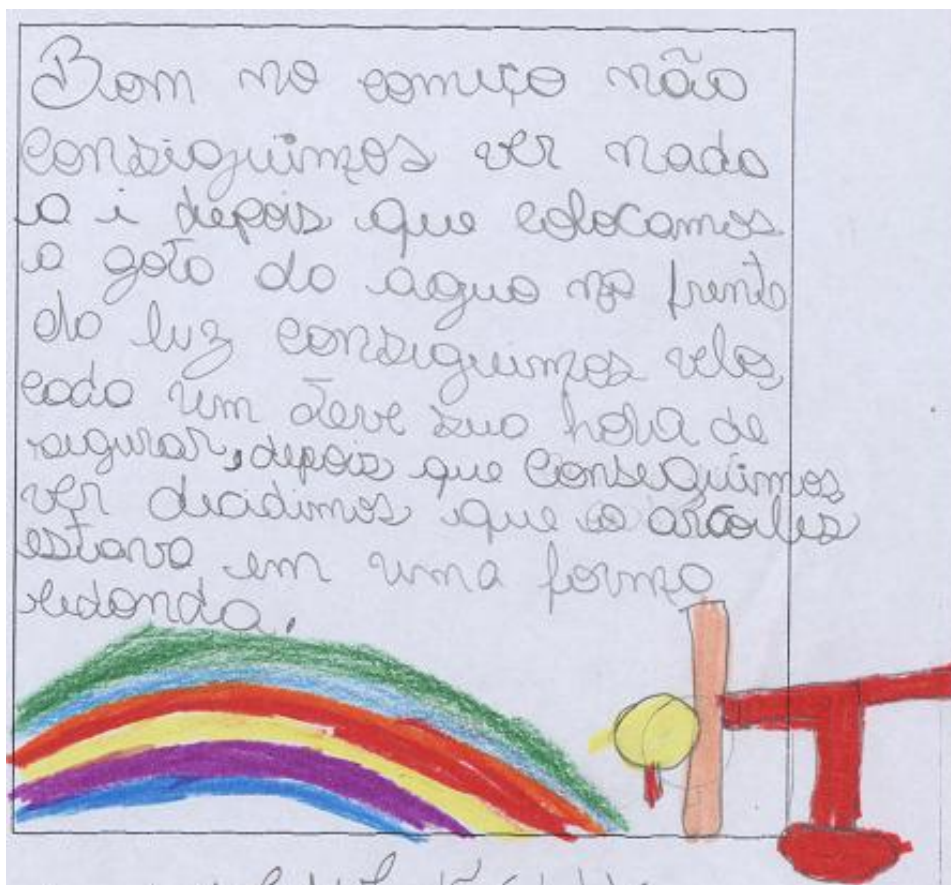


Figura 35 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo O)

4.1.5 Atividade 5: Decomposição da luz ao passar por um prisma

Essa atividade também é a reprodução de um experimento histórico muito utilizado para a observação das cores. Como já esclarecemos anteriormente, Newton recorreu a este conhecido experimento para estudar a decomposição das cores da luz e a composição da luz branca (Figura 36).

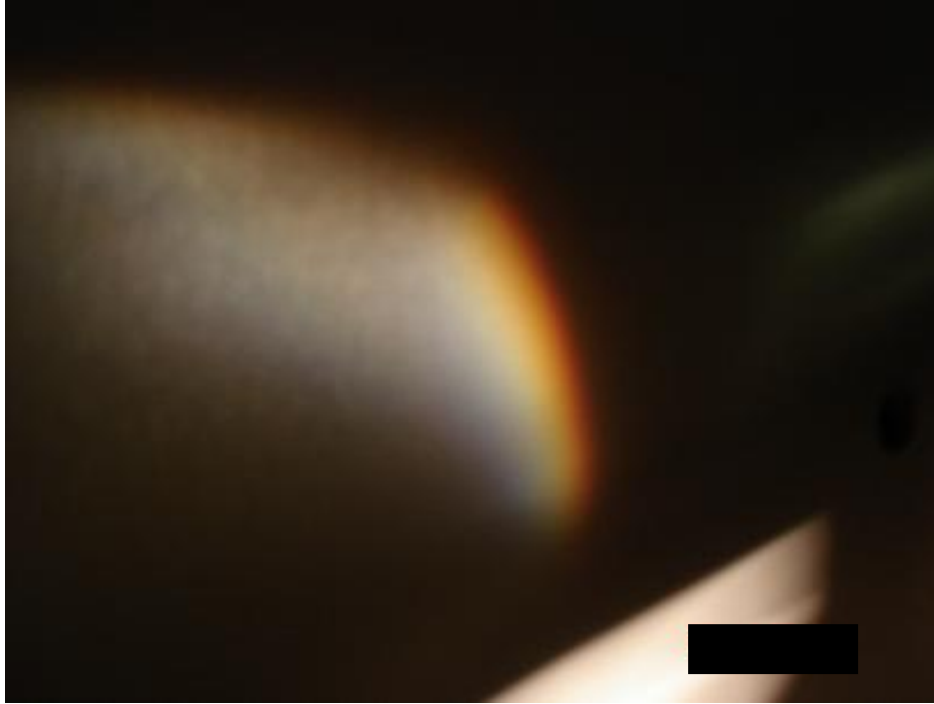


Figura 36 – Fotografia representando o experimento da decomposição da luz ao passar por um prisma

Ele deve ser realizado num ambiente escuro, em que uma fonte de luz (no nosso caso, artificial) atinge uma das faces do prisma formando o espectro colorido. Os alunos devem ser organizados em grupos e, com os materiais distribuídos, formar e observar as cores. Essa atividade possibilita uma boa análise das cores e da ordem em que elas aparecem (as mesmas cores e a mesma ordem da atividade anterior), do formato do espectro (reforça a compreensão do formato circular do Arco-Íris) e da verificação de que não só a água, mas também o vidro (e outros materiais) decompõem a luz, formando as cores do Arco-Íris. O professor precisa orientar os alunos quanto aos cuidados com o manuseio do material, pois a fonte de luz é quente e o prisma de vidro pode quebrar-se.

• **Descrição e planejamento da atividade segundo os níveis de ação e reflexão de Carvalho et al. (1998):**

1º) O professor expõe o problema:

Usando os materiais disponíveis, obter e observar as cores do Arco-Íris.

Nesta atividade, esperamos uma maior facilidade por parte dos alunos na compreensão do problema, uma vez que a atividade anterior (grande gota d'água) fornece elementos necessários para que o aluno atinja mais rapidamente esse objetivo. Mesmo assim, é interessante que o professor esteja atento, pois dessa vez o anteparo terá que ficar posicionado de outra forma, já que não há reflexão para a observação do espectro colorido, diferentemente da outra atividade.

2º) Agindo sobre os objetos para ver como eles reagem:

Nesta fase, a criança demonstra muita curiosidade em manusear os materiais, podendo até ocorrer disputas pelos membros do grupo pela posse dos mesmos. O professor precisa percorrer os grupos, garantindo que todos os alunos tenham a oportunidade de ação sobre o objeto. É natural que os alunos “brinquem” com os materiais, por isso o professor deve estar atento para que eles não se esqueçam do objetivo da atividade.

3º) Agindo sobre o objeto para obter o efeito desejado:

Como já dissemos anteriormente, a atividade da grande gota d'água fornece bons elementos para a realização dessa atividade, uma vez que em ambas, a luz deve atingir o material para a observação das cores. Mas o posicionamento do anteparo é diferente e, neste ponto, a equipe precisa tentar várias possibilidades até encontrar o local mais adequado. O posicionamento de prisma também precisa ser analisado, a luz deve incidir em uma das faces, com o prisma na posição horizontal ou vertical. Quando o prisma está na posição horizontal, as faixas do espectro luminoso se mostram na posição vertical, e, quando o prisma está na posição vertical, as faixas aparecem na horizontal. É interessante verificar se os grupos conseguem as duas formações, como uma curiosidade, uma vez que em qualquer um dos casos, a ordem e as cores permanecem as mesmas. O professor deve percorrer os grupos, observando se todos conseguiram os resultados esperados.

4º) Tomando consciência de como foi produzido o efeito desejado:

Após a organização dos materiais e dos alunos, o professor solicita que os alunos contem como conseguiram o efeito do espectro colorido. Normalmente eles descrevem como transcorreu toda a experiência, repetindo muitas vezes essa descrição. O professor precisa ter compreensão e ouvir todos os

relatos, fazendo perguntas que favoreçam uma melhor narrativa dos fatos, como a utilização de uma linguagem mais adequada, uma descrição rica em detalhes importantes, que às vezes os alunos esquecem de comentar. Esses relatos fornecem dados importantes para serem aproveitados pelo professor para a fase seguinte, das explicações causais.

5º) Dando explicações causais:

Essa fase ocorre em decorrência da anterior, o professor, após ouvir os relatos, pode introduzir algumas questões importantes para a elaboração das explicações. Uma das questões é: por que, nessa atividade, o anteparo ficou em uma posição diferente da atividade da grande gota d'água? Talvez seja necessário lembrar um pouco daquela atividade, mas o aluno precisa compreender que, no caso do prisma, não houve reflexão do espectro colorido, e na gota d'água sim. O aluno não precisa utilizar o vocabulário científico, mas o professor deve analisar se a resposta apresenta elementos que contribuam para essa elaboração.

Outra questão a ser abordada é a relação entre o formato do espectro (das cores) nessa atividade e na anterior. Acreditamos que essa questão será facilmente explicada, uma vez que isto já foi abordado na discussão da atividade anterior, mas o professor pode aproveitar o momento para avaliar as respostas dadas pelos alunos. Quanto à questão do que ocorre com a luz, uma vez que ela está branca ao atingir a face do prisma e sai "colorida" pela outra face, esperamos também que os alunos elaborem boas respostas, pois a questão também já foi discutida na atividade anterior, entretanto, sendo essa questão mais elaborada, entendemos que é o momento de aproveitar ao máximo a experiência realizada neste momento e as relações com todas as outras anteriores, para que a explicação seja a melhor possível.

A ordem e as cores também devem ser lembradas e associadas com as atividades anteriores, a fim de constatar que as cores aparecem sempre na mesma ordem. Neste momento, a questão da não observação de todas as cores na atividade do esguicho da mangueira precisa ser debatida. O professor deve aproveitar essa questão e verificar as hipóteses de explicação feitas pelos alunos. Como na gota d'água e no prisma o aluno move o objeto para obter um espectro cada vez melhor, ou com algumas cores mais aparentes em uma determinada

posição, a observação de todas as cores é mais facilmente conseguida do que no ambiente natural, em que o aluno não tem o controle da situação. Outro aspecto que eles podem argumentar é quanto ao escurecimento do ambiente, que torna mais evidente as cores.

6º) Escrevendo e desenhando:

Como nas atividades anteriores, o professor solicita que os alunos escrevam espontaneamente a respeito da atividade e também façam um desenho.

• **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

A atividade foi realizada primeiramente com a turma A, na biblioteca da escola, com o ambiente bem escurecido. Os materiais distribuídos aos grupos eram quase os mesmos da experiência anterior, com exceção do prisma de vidro, que chamou muita atenção das crianças. Assim que receberam os materiais, eles foram novamente advertidos quanto aos cuidados com a segurança e orientados para a resolução do problema: obter e observar as cores do Arco-Íris utilizando os materiais disponíveis. Como essa atividade era semelhante a da gota d'água, tiveram facilidade na montagem da atividade, e o posicionamento do anteparo foi facilmente resolvido, uma vez que, logo que ligavam a luz sobre o prisma, percebiam o surgimento de uma luminosidade nas camisetas dos colegas. Mas o posicionamento do prisma para a aparição das cores espectrais requereu um pouco mais de tempo, mas logo que uma equipe conseguia o resultado, as outras observavam e faziam a mesma tentativa.

Os alunos puderam observar as cores que compõem o espectro colorido, pois quando moviam delicadamente o prisma, algumas cores ficavam mais evidentes do que outras. Ao passar pelos grupos, questionamos por que o anteparo ficou posicionado daquela maneira, diferentemente do que ocorreu com a gota d'água. Os alunos explicavam que a luz não “voltava”, mas continuava o seu percurso, refazendo-o com a mãozinha. Por isso o anteparo não ficava do outro lado. Então, aproveitamos para reforçar o que faz as cores surgirem, já que o material utilizado agora não era mais a água (no caso do Arco-Íris), mas o vidro.

Procuramos estabelecer relações com a atividade da passagem ou reflexão da luz nos diferentes materiais, lembrando que o vidro é também um material que permite a passagem da luz. Então a decomposição das cores se dá no momento em que a luz passa do ar para um outro material (de um meio para outro),

que pode ser a água (no caso da gota) ou o vidro (no caso do prisma), e que nessa passagem, a luz branca se “abre”, mostrando as cores do Arco-Íris. Eles lembraram facilmente do que ocorreu com o lápis quando estava no ar e quando estava na água (aparência aumentada do lápis) e associaram com o aumento da luz branca ao atravessar o prisma (essa relação já havia sido iniciada na atividade da gota d’água).

Questionamos também a razão do formato do espectro ser diferente da experiência anterior, que foi prontamente respondido por eles que esse fato se devia ao formato circular da gota e ao formato “reto” da face do prisma.

Os alunos gostaram muito da experiência, relutando em guardar os materiais e retornar à sala de aula para continuarmos a discussão, e, como nenhum grupo posicionou o prisma na posição horizontal, optamos por não introduzir mais este elemento, pois a atividade já estava se estendendo muito. Após reorganizarmos a turma na sala de aula, retomamos a discussão, pedindo aos alunos que contassem como fizeram para obter as cores do Arco-Íris utilizando o prisma.

Apesar deles ainda descreverem todo o processo, percebemos, pelas suas respostas, que as explicações já estavam mais elaboradas, com elementos observados e discutidos durante a realização da atividade experimental: a posição do anteparo, a formação das cores quando a luz “entra” no prisma, o formato do espectro colorido. Então demos andamento ao preenchimento do relatório e da escrita espontânea do aluno. Esse relatório tem por objetivo complementar a atividade experimental, uma vez que apresenta um esquema do que ocorre com a luz no interior do prisma, fato que não pode ser observado pelo experimento (Anexo P). Como os alunos já estavam se habituando com esses procedimentos, essa fase transcorreu sem muita dificuldade, eles já demonstravam segurança para escrever e desenhar como preferissem e preencher o relatório, que mais uma vez, tinha objetivo instrucional.

Selecionamos alguns exemplares dos relatos dos alunos para a apreciação:

A gente pegou a fonte de luz e
 acendemos e a luz passou pelo prisma
 mas a gente não conseguia fazer o
 arco-íris só no nosso colega mas
 depois a gente pichou a tabua e
 nós conseguimos fazer o arco-íris
 na tabua.
 Hoje meu colega trouxe uma fonte
 de luz.

 Hoje foi o dia mais
 feliz.

Figura 37 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo Q)

Nesse relato (Figura 37), observamos descrição do aluno a respeito da atividade: o posicionamento correto do prisma após localizarem o espectro na roupa de um colega da equipe; da satisfação do aluno em realizar a atividade; e do eventual problema ocorrido com a fonte de luz. Note que ele faz referência ao espectro formado como sendo o Arco-Íris.

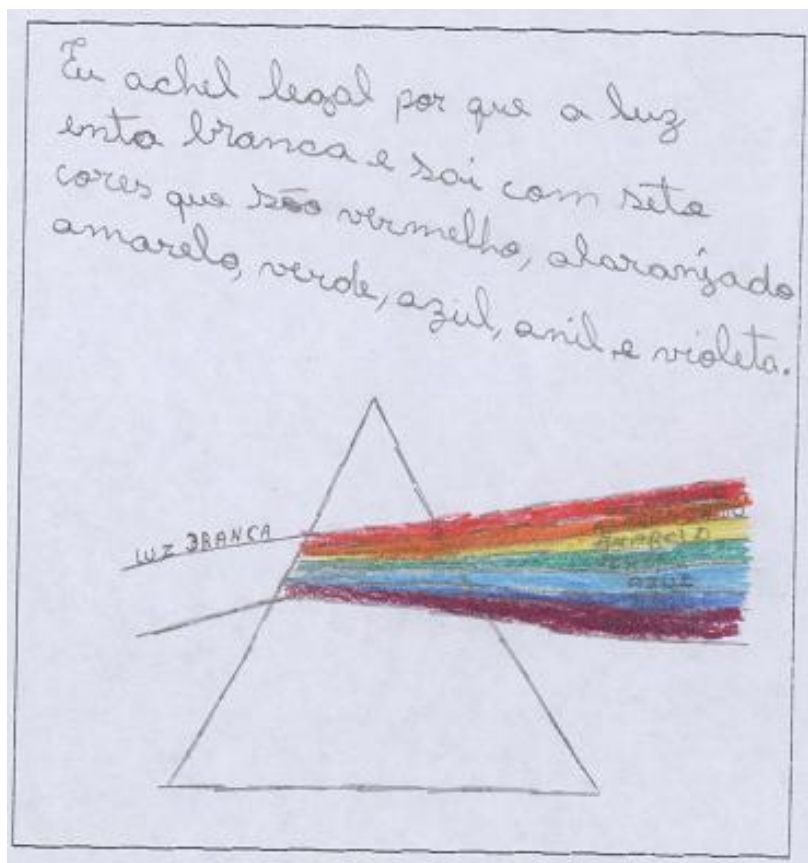


Figura 38 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo R)

O relato desse aluno (Figura 38), embora seja simples, salienta a importância que ele considerou para a entrada da luz branca e a formação das cores após a sua decomposição ao passar pelo prisma. O desenho, embora esteja atrativo, não é criação desse aluno, mas sim a reprodução de um esquema semelhante utilizado por nós na elaboração do relatório dessa atividade.

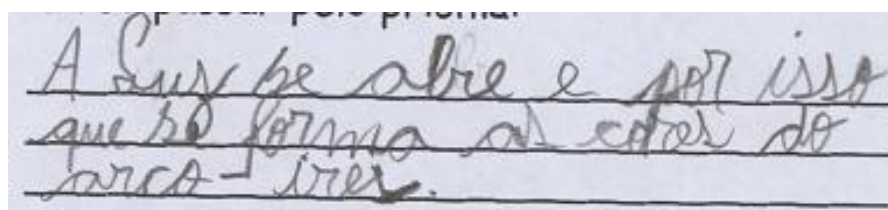


Figura 39 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo S)

Esse pequeno trecho (Figura 39) é a explicação dada pelo aluno a respeito da questão do que ocorre com a luz ao passar pelo prisma. No relatório da atividade havia um espaço para que os alunos explicassem essa questão. Ressaltamos que nossa intenção era apenas analisar estas possíveis explicações, sem nenhum caráter de avaliação.

4.1.6 Atividade 6: Soma das luzes coloridas

Essa atividade, também realizada em um ambiente escuro, possibilita ao aluno a compreensão das cores primárias da luz (vermelha, verde e azul), das cores secundárias formadas a partir da soma das cores primárias e a luz branca como resultado da composição de todas as cores. Também analisa a cor de um objeto ao ser iluminado por uma determinada cor de luz. O objetivo da análise da cor do objeto é perceber que o objeto apresenta determinada cor quando iluminado por uma luz de mesma cor ou quando iluminado pela luz branca (natural ou artificial), pois a luz branca é composta por todas as cores. Os objetivos para a formação das cores secundárias a partir das primárias da luz são, primeiramente perceber que as cores primárias da luz são diferentes das cores primárias dos pigmentos, por exemplo, lápis de cor e tinta guache; a seguir, que as misturas das cores primárias da luz são, conseqüentemente, diferentes das misturas das cores dos pigmentos, que eles já estão habituados a fazer e, finalmente, que a luz branca é o resultado da mistura dessas luzes coloridas.

Essa atividade permite que o aluno tenha uma visão mais ampla dos fenômenos relacionados ao Arco-Íris, como a mistura das cores primárias para formar as demais cores, e também a relação desses conceitos com o mundo em que vive, por meio da observação das cores dos objetos sob diferentes cores de luz. Essas novas relações vão possibilitando a reconciliação integrativa dos conceitos.

• **Descrição e planejamento da atividade segundo os níveis de ação e reflexão de Carvalho et al. (1998):**

1º) O professor expõe o problema:

Adivinhar qual a cor que um objeto (no caso várias estrelinhas coloridas) vai exibir ao ser iluminado por uma determinada cor de luz e verificar, utilizando o equipamento (caixa de luzes), se a hipótese do grupo é correta ou não.

O professor precisa orientar os alunos a formularem primeiramente a hipótese da cor e, somente após isso, acender a luz para fazer a verificação. Os alunos devem fazer várias vezes essa experiência, a fim de começarem a perceber a relação existente entre a cor da luz, a cor do objeto e o resultado.

2º) Agindo sobre os objetos para ver como eles reagem:

Essa atividade também utiliza materiais que despertam muita curiosidade nos alunos, portanto, o professor deve deixar que eles acendam as luzes várias vezes até saciar a curiosidade inicial, porém deve estar atento para que as crianças não deixem de lado o problema a ser resolvido e nem descuidar para que elas apenas verifiquem as cores resultantes, esquecendo-se de formular a hipótese inicial. É por meio da hipótese inicial, em que ela normalmente atribui o resultado à mistura de pigmentos, que ela começará uma análise do porque está errando.

3º) Agindo sobre o objeto para obter o efeito desejado:

Esse nível pode ocorrer simultaneamente ao anterior, em que os alunos começam a estabelecer algum tipo de relação com o fato do resultado da mistura de luzes ser diferente da mistura de pigmentos. Espera-se que eles concluam que a estrelinha mostrará a sua cor quando estiver iluminada por uma luz de mesma cor ou pela luz branca. Não é necessário que os alunos consigam definir corretamente todas as situações, mas o professor deve observar se eles apresentam hipóteses como esta: a estrelinha vermelha iluminada pela luz vermelha continuará vermelha e quando iluminada pela luz branca também. Neste ponto pode ser que ainda eles não consigam explicar porque a estrelinha de uma determinada cor exibe essa mesma cor ao ser iluminada pela luz branca. Mas é necessário que ele construa essa explicação até o final da atividade.

É natural que os alunos queiram acender mais de uma luz de uma só vez, isso pode até já ter ocorrido na fase anterior. O professor deve aproveitar esse momento para apresentar as cores secundárias, ou seja, as cores resultantes

dessa mistura (vermelho + verde = amarelo; vermelho + azul = violeta; azul + verde = turquesa e todas as luzes = branco). O professor deve aproveitar uma dessas composições (sugerimos o amarelo ou o violeta) e testar a hipótese da cor do objeto, pois, assim que eles colocarem a estrelinha vermelha sob luz amarela ou violeta, ela continuará vermelha. O professor deve fazer isso para que eles compreendam que a estrelinha continuou vermelha porque o amarelo, por exemplo, é formado pela luz verde e vermelha também, do mesmo modo que a estrelinha verde deve exibir o verde, pois esta luz está presente na composição do amarelo.

Essas hipóteses devem ser realizadas com a luz branca também, para que eles compreendam que, sendo a luz branca composta por todas as cores, todos os objetos exibirão suas cores ao serem iluminados por essa luz (ela contém todas as cores).

4º) Tomando consciência de como foi produzido o efeito desejado:

Depois de organizar todos os alunos novamente e recolher os materiais, o professor pergunta aos alunos como fizeram para resolver o problema. Ao descreverem a atividade realizada, o professor deve permitir que todos exponham a sua opinião e deve também ficar atento com as informações e explicações que os alunos estão dando.

5º) Dando explicações causais:

As informações fornecidas pelos alunos durante o relato da atividade devem ser aproveitadas pelo professor para a elaboração das explicações, é possível que os alunos já tenham falado muitas coisas importantes durante a discussão, mas o professor deve conduzi-los a uma explicação mais correta possível, usando uma linguagem mais adequada. O professor pode perguntar por que a caixa de luz tinha apenas três cores, as respostas dadas para essa questão devem incluir as cores primárias da luz, as possíveis misturas entre as cores primárias para a formação das secundárias, e a luz branca como resultante da mistura dessas cores.

Outra questão que o professor deve explorar é por que eles se enganavam tanto para adivinhar a cor das estrelinhas. Os alunos devem explicar que eles estavam respondendo de acordo com a mistura de pigmentos (tinta guache, lápis de cor, giz de cera) e que, na mistura das luzes, é diferente. O professor deve questionar o que tinha de diferente. O aluno deve construir uma boa

explicação expondo que um objeto exhibe sua cor quando iluminado por uma luz de mesma cor ou pela luz branca, que é a mistura de todas as cores.

6º) Escrevendo e desenhando:

O professor solicita aos alunos que escrevam e desenhem contando como foi a atividade. Voltamos a salientar que tanto a escrita quanto o desenho devem ser espontâneos, o aluno deve ter a liberdade de escrever e desenhar como quiser.

• **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

A atividade foi realizada separadamente com cada grupo, primeiro com a turma B, numa sala escurecida, pois o material não era suficiente para a turma toda trabalhar de uma só vez. Os alunos tiveram muita curiosidade em manipular a caixa de luz, que chamou muito a atenção de todos. Ao começarmos a atividade, os alunos sempre acreditavam que a estrelinha ia ficar de uma determinada cor seguindo as experiências pessoais que eles tinham com a mistura de tinta guache e lápis de cor, portanto, as hipóteses, na maioria das vezes, estavam equivocadas.

Logo eles perceberam que tinha alguma coisa de errado, e começaram a acertar algumas situações, como por exemplo, da estrelinha vermelha nas luzes azul ou verde, que exibia uma cor bem escura, que eles consideravam como sendo preta. Ao testar várias vezes, perceberam que as estrelas azul, vermelha e verde ficavam da mesma cor quando recebiam luzes de igual cor e que ficavam “pretas” quando recebiam luzes de outra cor diferente da sua. Quando estavam testando a estrelinha amarela, acharam que ela continuaria amarela se tivesse luz amarela para testar. Então, levantamos a questão de como obter luz amarela, já que a caixa não tinha. Imediatamente os alunos diziam que era necessário acender duas luzes juntas, para obter uma mistura, e sugeriram acender as luzes verde e azul, pois na tinta guache, essa mistura resulta em amarelo.

Assim que testaram, perceberam que estava errado, e testaram as outras possibilidades até obterem o amarelo (alguns grupos mais rapidamente do que outros, mas sem interferir na análise geral da atividade). Então colocaram a estrelinha amarela no espaço intermediário entre as luzes vermelha e verde, onde se localizava o amarelo e constataram que a estrelinha continuava amarela.

Resolveram testar as outras estrelinhas nessa mistura e perceberam que a estrela vermelha ficou vermelha sob a luz amarela quando, na hipótese deles, deveria ter ficado alaranjada. Pedimos que refletissem por que isso ocorreu. Em todos os grupos, um ou dois alunos logo responderam que a luz amarela era formada pela luz vermelha também, então por isso ela ficava vermelha. Para ver se isso ocorria sempre, resolveram testar a estrela verde, que também deveria continuar verde. Como de fato isso ocorreu, novamente pedimos que explicassem por que, e eles facilmente explicaram. Resolveram formar as outras misturas e verificar se o mesmo ocorreria com as estrelas vermelha e azul na luz violeta e com as estrelas verde e azul na luz turquesa (eles tiveram muita dificuldade em estabelecer um nome para esta cor resultante, alguns falaram em verde piscina, azul esverdeado e azul turquesa). Todas às vezes chegaram à mesma conclusão. Então partimos para o branco, que era a mistura de todas as cores.

Com as conclusões tiradas das cores secundárias, foi fácil para eles relacionarem que o mesmo acontecia com a luz branca, pois a luz branca também continha o vermelho, o azul e o verde, por exemplo, e assim com todas as cores. A atividade foi muito demorada, eles demoravam em testar as hipóteses, e ainda tivemos que trabalhar com um grupo de cada vez.

Também pedimos o preenchimento de um relatório simples, que reforça alguns pontos abordados durante a atividade (Anexo T). O preenchimento do relatório foi muito cansativo, a tabela para ser preenchida requeria muitos dados observados que eles não conseguiam se lembrar, isso deixou os alunos muito preocupados, eles queriam entregar a atividade completa, mas não estavam conseguindo. Então falamos que não era necessário preencher tudo, que podia deixar o que não lembrasse, mas, ainda assim, muitos alunos, na expectativa de entregar a atividade completa, inventavam algum dado ou colocavam errado.

Creemos a o relatório poderia ser mais sucinto, a tabela não deveria ser tão extensa, uma vez que o objetivo da atividade não era memorizar as cores formadas, mas estabelecer relações entre as cores do objeto e da luz que incidia sobre o mesmo, porém só percebemos isso durante o seu preenchimento. Como eles gastaram muito tempo tentando preencher toda a tabela, a escrita espontânea e o desenho também foram prejudicados. Selecionamos alguns exemplares dos relatos dos alunos:

No relato abaixo (Figura 40), o aluno descreve as três cores que

foram testadas, afirmando que algumas “misturas” resultavam em cores diferentes das que ele esperava. O relato é bem simples e não abrange toda a experiência.

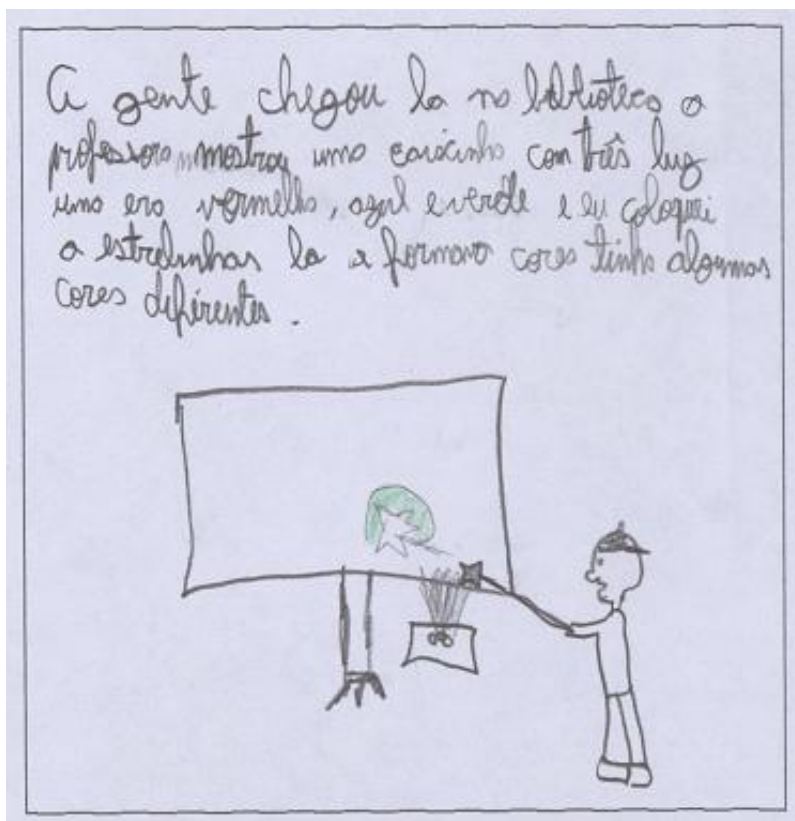


Figura 40 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo U)

No relato a seguir (Figura 41), embora a criança tenha descrito mais detalhadamente a atividade, percebemos que a mudança da cor do objeto, ao ser colocado sob diferentes cores de luz, chamou muito a atenção dessa criança. No entanto, como no relato anterior, não houve referências aos demais aspectos da atividade.

A prof: Elvone pegou e levou
 a gente até a biblioteca pa-
 ra nos fazerem a experiência
 ela pegou um aparelho que ti-
 nha três cores verde, vermelho e
 azul ela pegou também cinco
 estrelas uma de cada cor
 branco, azul, verde, amarelo e
 vermelho e conforme ia colocan-
 do a cor ia mudando a cor
 da estrelinha.

Figura 41 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo V)

Nos próximos relatos (Figuras 42 e 43), percebemos o outro aspecto da atividade observado por estes alunos: a mistura das cores primárias e a composição da luz branca pela adição dessas cores. Note que, no último relato (Figura 43), o aluno cita o amarelo como sendo uma cor primária. Ressaltamos que, durante a realização da atividade, a formação da cor amarela foi muito apreciada pelos alunos. Talvez seja por isso que esse aluno acrescentou, erroneamente, o amarelo.

Para fazer fazer a experiência
 primeiro foi a luz verde depois a
 melhor depois azul e o professor
 juntou as cores e vimos que todas
 as cores formaram branco

Figura 42 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo X)

A experiência foi muito legal porque
 fiquei sabendo que branco é uma
 mistura e descobri que as cores prima-
 rias são vermelho, azul, verde, amare-
 lo.

Figura 43 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo Z)

4.1.7 Atividade 7: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IIA)

Depois de realizadas todas as atividades experimentais, solicitamos aos alunos, em uma aula específica, que construíssem novamente um Mapa Conceitual a respeito do fenômeno do Arco-Íris. Nosso objetivo foi analisar os avanços ocorridos na estruturação desse conceito pelos alunos após vivenciarem as atividades de ensino. Essa análise possibilitou avaliar se houve ou não Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados ao fenômeno de acordo com a Seqüência Histórica investigada.

Os mapas construídos nessa fase apresentaram um significativo avanço em relação aos realizados anteriormente (Conjunto I), tanto nos aspectos conceituais quanto na estrutura apresentada. Nos aspectos conceituais, podemos perceber a inclusão de conceitos que antes não existiam como o das cores primárias da luz, da luz branca como mistura de todas as outras, a relação entre a posição do observador e o Sol, a decomposição da luz pelo prisma e pela gota d'água e a mistura das cores primárias para a formação das secundárias. O formato circular do Arco-Íris também foi lembrado e quase a totalidade dos alunos escreveram, corretamente, as cores do Arco-Íris e a ordem em que aparecem.

O gráfico abaixo apresenta a contagem dos conceitos observados na análise desses mapas, lembrando, mais uma vez, que a função do gráfico é auxiliar na exposição dos dados⁶.

⁶ Freqüência relativa percentual.

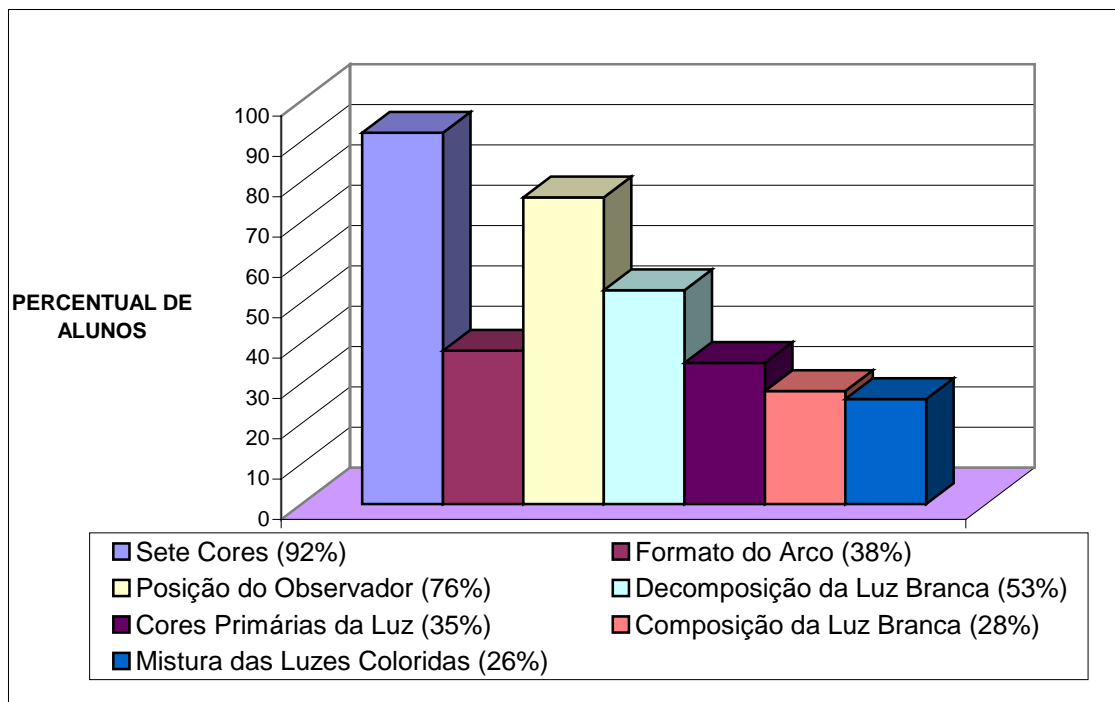


Gráfico 2 – Conceções de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno Arco-Íris, após a realização das atividades (Conjunto IIA) – Primeira Aplicação

Em relação à estrutura apresentada nos mapas, observamos também um bom avanço. A maioria dos alunos apresentou dois ou mais níveis de hierarquização, que indicam a diferenciação progressiva dos conceitos. Quase todas as relações entre os conceitos eram válidas, alguns alunos apresentaram ligações transversais entre os conceitos, demonstrando a reconciliação integrativa entre eles, e também apresentaram bons exemplos.

Analisando os mapas do Conjunto IA e IIA, percebemos que a melhor estrutura apresentada entre os conceitos se deve ao fato dos alunos terem tido contato com situações de aprendizagem dos conceitos, uma vez que no Conjunto IA, a falta de conhecimento em relação ao fenômeno não permitiu a construção de mapas melhor estruturados.

Apresentamos a seguir, uma análise de alguns exemplares dos Mapas Conceituais do Conjunto IIA, juntamente com o avanço apresentado pelo aluno comparando os mapas do Conjunto IA e IIA:

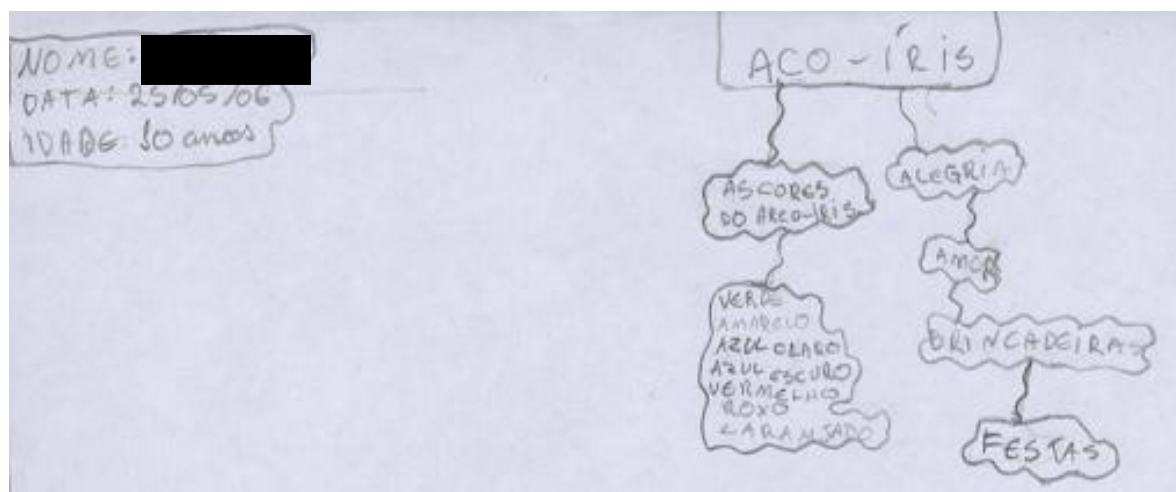


Figura 44 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno E da 4ª série do Ensino Fundamental

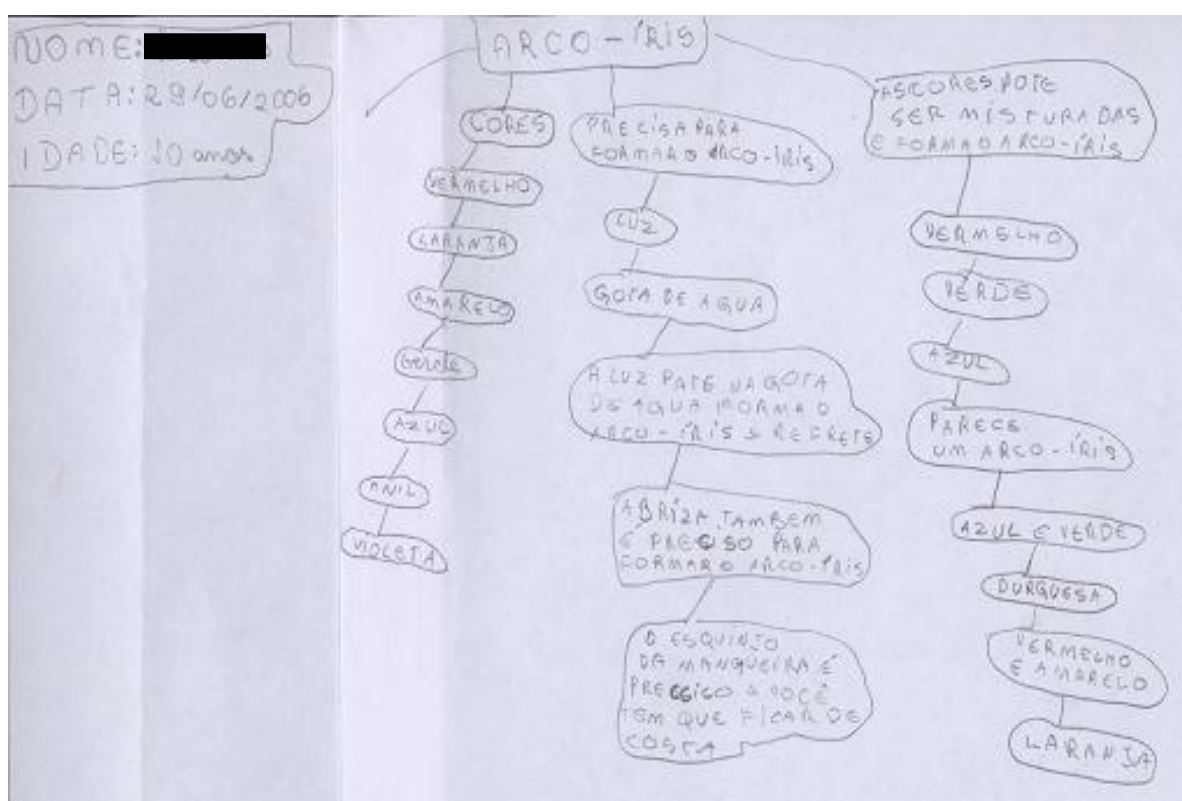


Figura 45 – Mapa Conceitual a respeito do arco-íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno E da 4ª série do Ensino Fundamental

Nesse mapa (Figura 45), a criança demonstrou uma hierarquização para as cores, colocando as que compõem o Arco-Íris. Mas nas outras hierarquizações, observamos que alguns conceitos não apresentam ligações

adequadas, como na listagem apresentada para as atividades realizadas com a gota d'água, o prisma e o esguicho da mangueira. Também as hierarquizações e ligações relativas à mistura das cores não está adequada. Percebemos durante a análise que, aproximadamente 31% dos 63 alunos, apresentaram um mapa semelhante a este, em que, embora as informações estejam corretas, a estrutura precisa ser melhorada, ou seja, os conceitos ainda não estão bem estruturados no pensamento da criança. Mas se o compararmos com o mapa anterior (Figura 44), elaborado pela mesma criança antes das atividades, percebemos um bom avanço nos conceitos abordados.

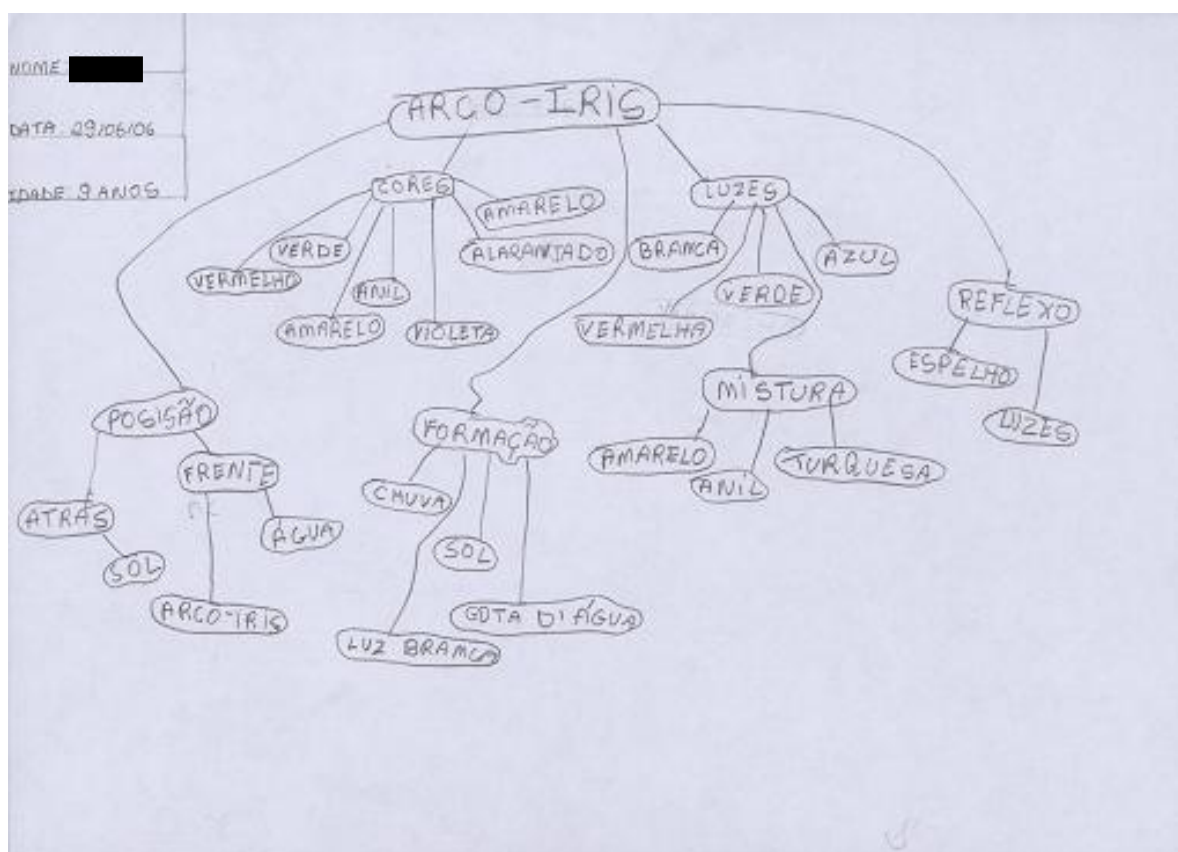


Figura 46 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno A da 4ª série do Ensino Fundamental

Na elaboração desse mapa (Figura 46), percebemos que o estudante apresentou bem os conceitos científicos estudados, como a posição em que deve estar o observador com o Sol “atrás” e a água e o Arco-Íris à “frente”; as cores foram colocadas corretamente; o que é necessário para se formar um Arco-Íris (luz, Sol, chuva e gota d'água); as cores primárias e as misturas da luz e o

conceito de reflexão. É um mapa bem estruturado, com informações claras e relacionadas corretamente entre si. Na análise, percebemos que aproximadamente 38% dos 63 alunos apresentaram mapas com essas características: bem estruturados, com informações claras e hierarquizadas com conceitos mais específicos ligados a conceitos mais abrangentes, como as cores amarelo e turquesa formados pela mistura de luzes, e relações válidas entre os conceitos. O mapa já analisado antes da seqüência de atividades (Figura 19), foi elaborado pelo mesmo estudante, assim, é importante perceber o grande avanço apresentado nos conceitos estudados e estabilidade demonstrada na organização entre os conceitos.

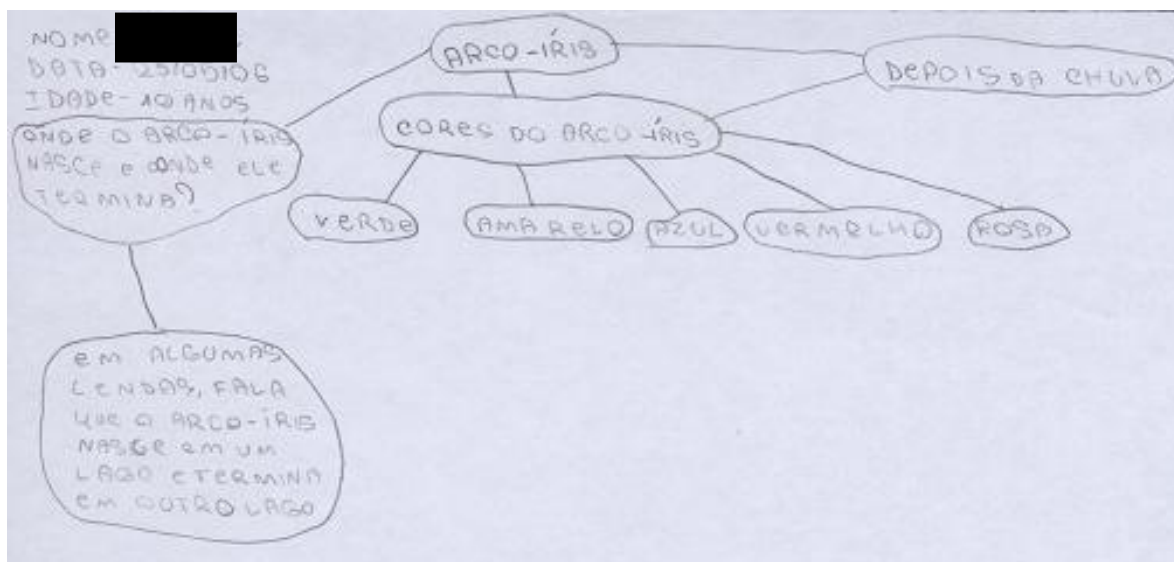


Figura 47 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno F da 4ª série do Ensino Fundamental

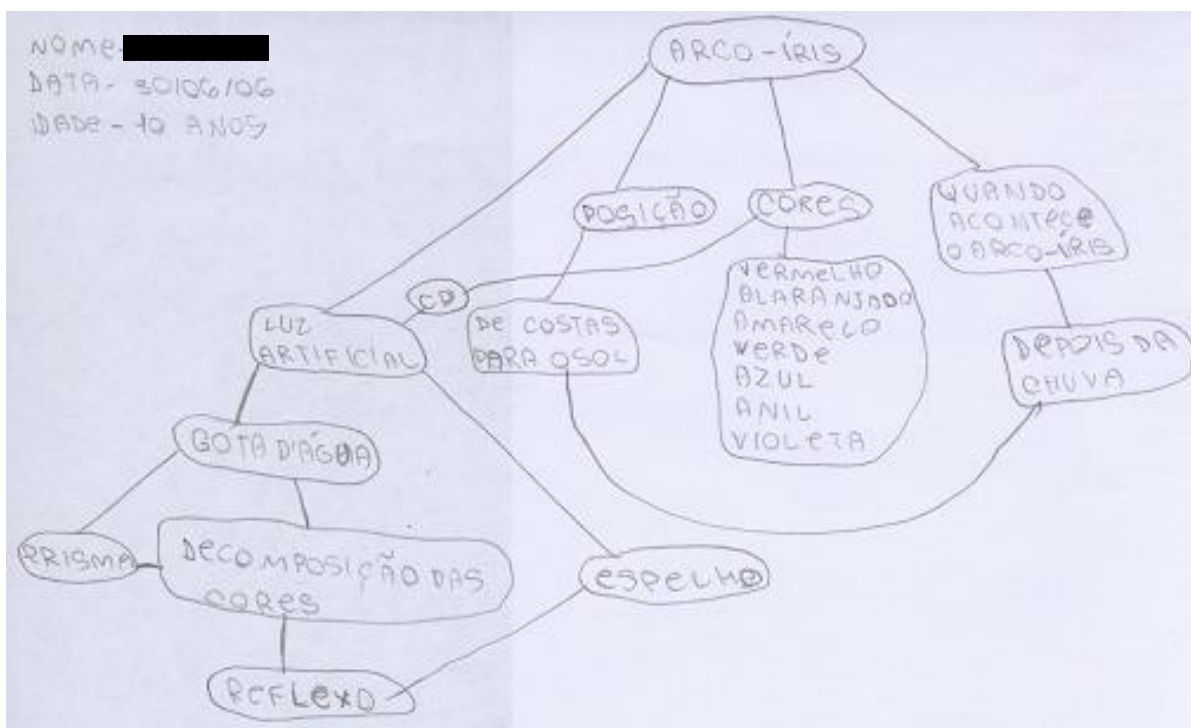


Figura 48 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno F da 4ª série do Ensino Fundamental

O mapa elaborado por este aluno (Figura 48) é um exemplo de reconciliação integrativa pelo aluno entre os conceitos abordados, como o reflexo da luz artificial em um CD mostrando as cores do Arco-Íris. As cores, além de estarem na ordem correta, foram associadas com o Arco-Íris e com o reflexo da luz artificial num CD. A observação do Arco-Íris após a chuva foi corretamente associada à posição do observador (de costas para o Sol). Mas percebemos que a diferenciação progressiva entre os conceitos relacionados com a decomposição das cores (gota d'água, prisma, luz artificial, reflexo e espelho) não está ideal, pois apresentam confusões entre as ligações. Percebemos que 24% da nossa amostra elaboraram mapas tão bons quanto este, com os conceitos científicos ricamente abordados e hierarquizados; as ligações entre os conceitos válidas; e algumas ligações transversais, demonstrando um início de reconciliação integrativa entre os conceitos.

Percebemos, pelo mapa anterior a ele (Figura 47), elaborado pelo mesmo aluno, que já havia um indício de reconciliação integrativa antes do desenvolvimento das atividades, porém, para o restante da amostragem, esse fato

não foi constatado, a reconciliação integrativa começou a se desenvolver após as atividades. Acreditamos que isso se deva ao fato do avanço da aprendizagem apresentado pelas crianças.

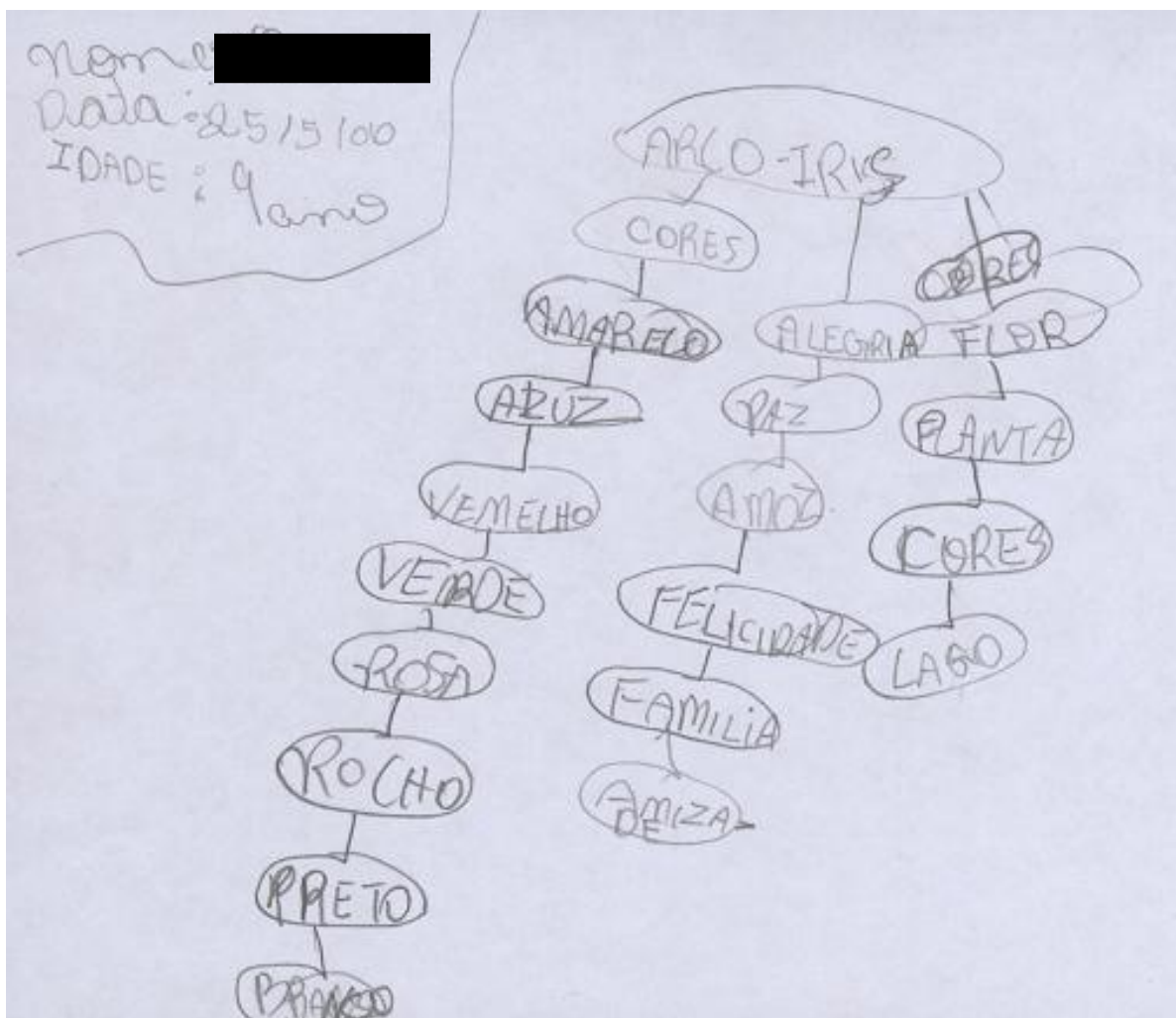


Figura 49 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno G da 4ª série do Ensino Fundamental

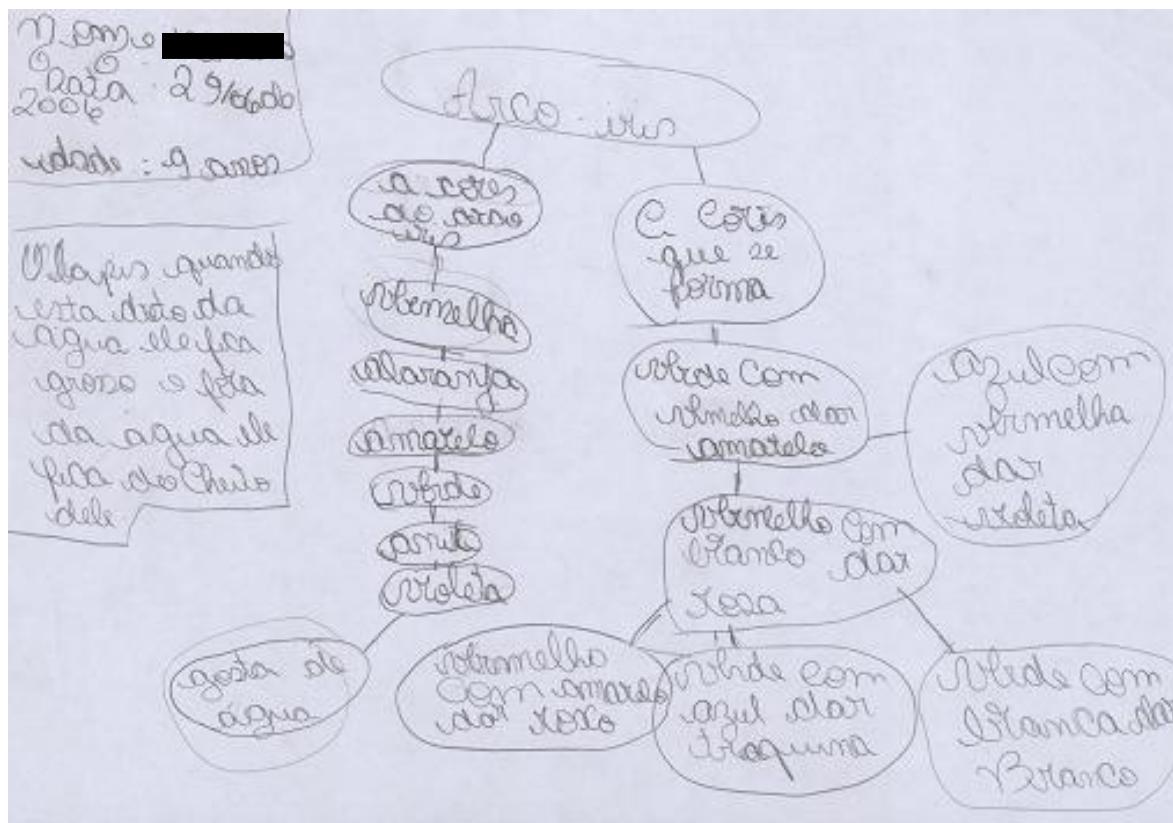


Figura 50 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno G da 4ª série do Ensino Fundamental

A análise do mapa da Figura 50 demonstra que essa criança quase não avançou em relação aos conceitos estudados ou à estruturação entre os conceitos. A criança abordou cores do Arco-Íris, entretanto, presença da gota d'água na mesma diferenciação não representa uma relação válida, ou seja, ela tem essa informação, mas não consegue relacioná-la com outros conceitos. O conceito de misturas de cores apresenta-se de maneira muito confusa, com erros e sem uma boa estrutura. Um aspecto que nos chamou a atenção foi o retângulo ao lado do mapa com a informação correta do aspecto de um lápis dentro e fora d'água. A criança considera essa informação relevante, mas não sabe como estabelecer uma relação entre ela e as demais informações do mapa. Comparando o mapa feito antes das atividades (Figura 49), notamos que a criança demonstrou um pequeno avanço na qualidade da informação, mas não como o demonstrado pelos demais alunos durante a investigação. Entretanto, percebemos que apenas 7% dos 63 alunos tiveram pouco avanço como nesse exemplo.

4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA SEGUNDA APLICAÇÃO

Nesta segunda aplicação, como já dissemos anteriormente, apenas duas atividades tiveram sua seqüência alterada: a atividade da decomposição da luz ao passar por um prisma foi realizada antes da atividade da “grande gota d’água”. Diante dos argumentos mostrados durante a análise da primeira aplicação, resolvemos investigar se a seqüência histórico-epistemológica em que o estudo da luz ao passar por um prisma já era realizado por muitos pensadores, apresenta um resultado semelhante ou diferente do que da seqüência anterior, em que o prisma estudado era o do renomado experimento de Newton.

Como as duas aplicações diferem somente nesse aspecto, esclarecemos que a descrição do planejamento das atividades segundo os níveis de ação sobre o objeto de Carvalho et al. (1998) não foi novamente descrita nessa etapa, para não tornar a leitura muito cansativa e repetitiva, mas todas as atividades seguiram as mesmas orientações que já referidas anteriormente. Outro aspecto que gostaríamos de evidenciar é que, embora alguns relatórios tenham apresentado necessidade de algumas adequações, eles não foram alterados para a segunda aplicação, permanecendo os mesmos da primeira. Optamos pela não alteração dos relatórios para que o único aspecto diferente entre as duas aplicações fosse realmente a seqüência das atividades.

A aplicação foi feita em outras duas turmas regulares de quarta série da Rede Municipal de Educação de Londrina e compreendeu a participação de 61 alunos, com idades entre 9 e 11 anos.

Apresentamos a seguir a análise da segunda aplicação.

4.2.1 Atividade 1: Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IB)

Os alunos participaram de várias atividades de elaboração de Mapas Conceituais para a aprendizagem desse recurso, construindo mapas de temas diversos. Em uma aula separada, pedimos para que eles elaborassem um Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris (Conjunto IB). Analisamos os mapas do

Conjunto IB segundo os aspectos apontados por Novak e Gowin (1999, p. 123). Observamos também as concepções prévias apresentadas por esses alunos a respeito desse fenômeno. O gráfico a seguir mostra a quantidade aproximada das concepções apresentadas pelos alunos a respeito do Arco-Íris na análise dos mapas do Conjunto IB:

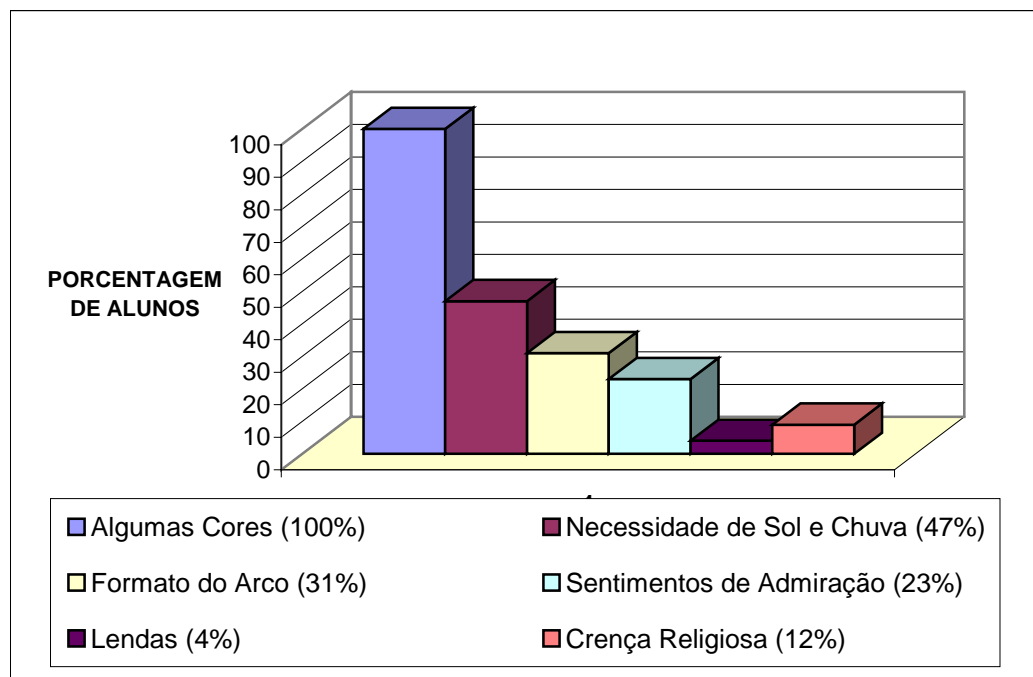


Gráfico 3 – Conceções prévias de estudantes da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno do Arco-Íris (Conjunto IB) - Segunda Aplicação

Os mapas elaborados pelos alunos apresentaram uma organização satisfatória, com ligações válidas entre os conceitos e alguma hierarquização, normalmente em relação às cores e eventualmente em relação aos demais conceitos. Quanto à organização dos mapas e as concepções apresentadas pelos alunos, percebemos que não houve muita diferença entre a primeira e a segunda aplicação. Apresentamos agora alguns exemplares de Mapas Conceituais e a análise de nossa classificação:

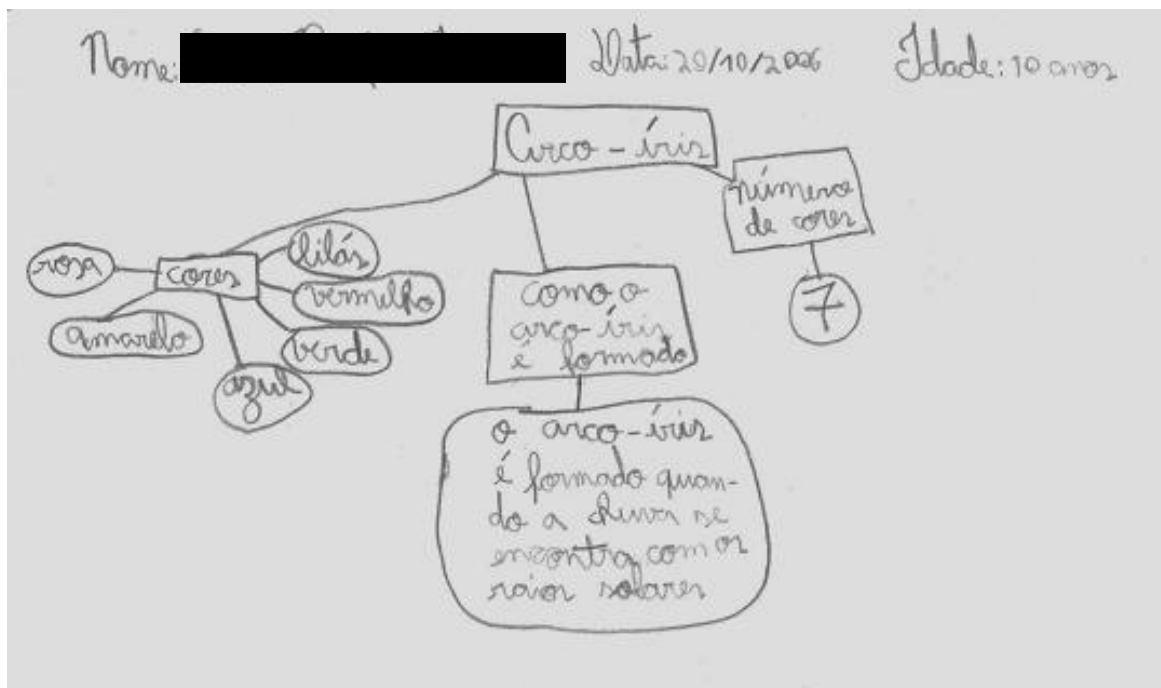


Figura 51 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno *H* da 4ª série do Ensino Fundamental

No mapa da Figura 51 observamos uma boa estruturação entre os conceitos abordados pelo aluno, como cores, o número de cores e como se forma o Arco-Íris. Perceba que o aluno atribuiu o número 7 para a quantidade de cores, porém só citou seis. Essas informações apresentam-se com níveis de hierarquizações e com relações válidas entre elas. Em nossa análise, percebemos que aproximadamente 33% dos 61 alunos elaboraram mapas próximos a este, com noções científicas a respeito das características do Arco-Íris organizadas em mais de um nível de hierarquização e com ligações corretas entre os conceitos.

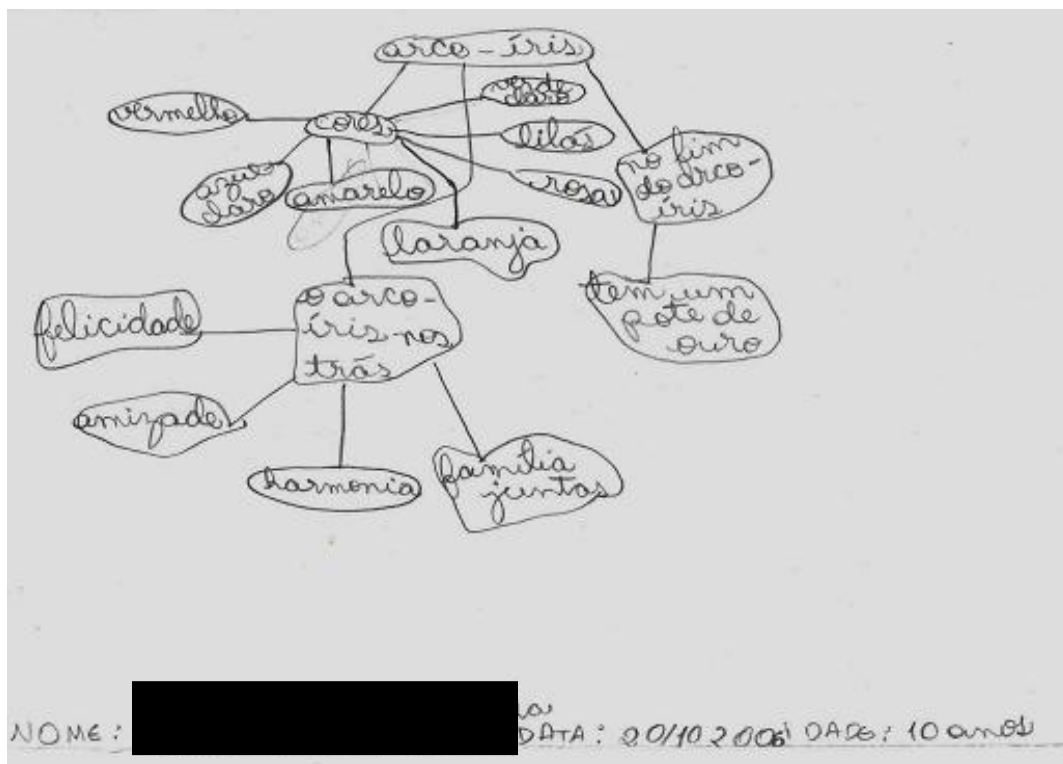


Figura 52 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno 1 da 4ª série do Ensino Fundamental

Neste outro mapa (Figura 52), percebemos também a estruturação adequada das informações, com níveis de hierarquização e ligações válidas, como as cores e a admiração pelo Arco-Íris, mas a estrutura não está adequada para a informação a respeito da lenda. Encontramos, em nossa análise, 39% de mapas semelhantes a este, com estrutura e ligações válidas, com mais de um nível de hierarquização e com noções não científicas, como sentimentos de admiração, crença religiosa ou lendas.

O mapa elaborado por este aluno (Figura 53) apresenta somente a noção das cores que compõe o Arco-Íris, ainda que hierarquizada adequadamente e com ligações válidas. Encontramos 21% de mapas que apresentaram somente a noção de cores.

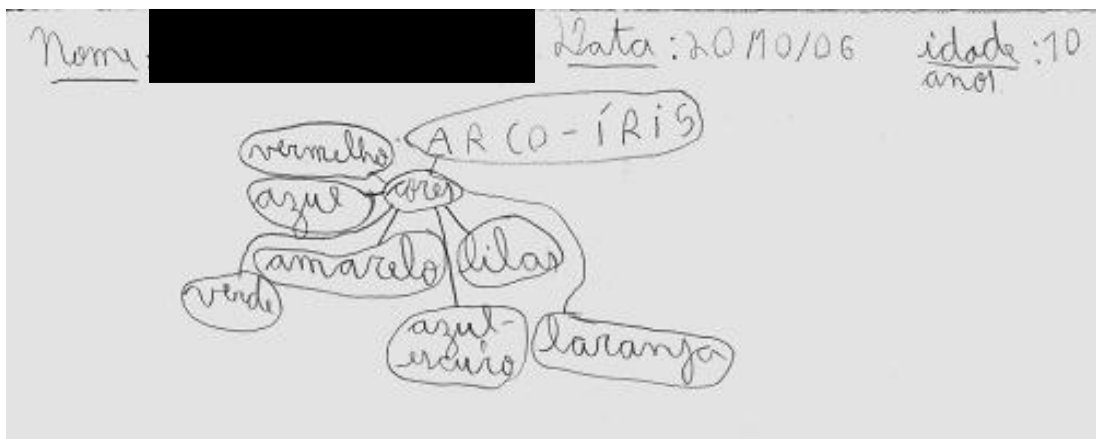


Figura 53 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno J da 4ª série do Ensino Fundamental

O mapa construído por este aluno (Figura 54) não apresenta informações claras e estruturadas, nem ligações válidas entre os conceitos; é apenas uma listagem de palavras que pouco tem a ver com o fenômeno estudado (apenas algumas cores). Nessa análise encontramos apenas 7% dos mapas elaborados como listagem de palavras.

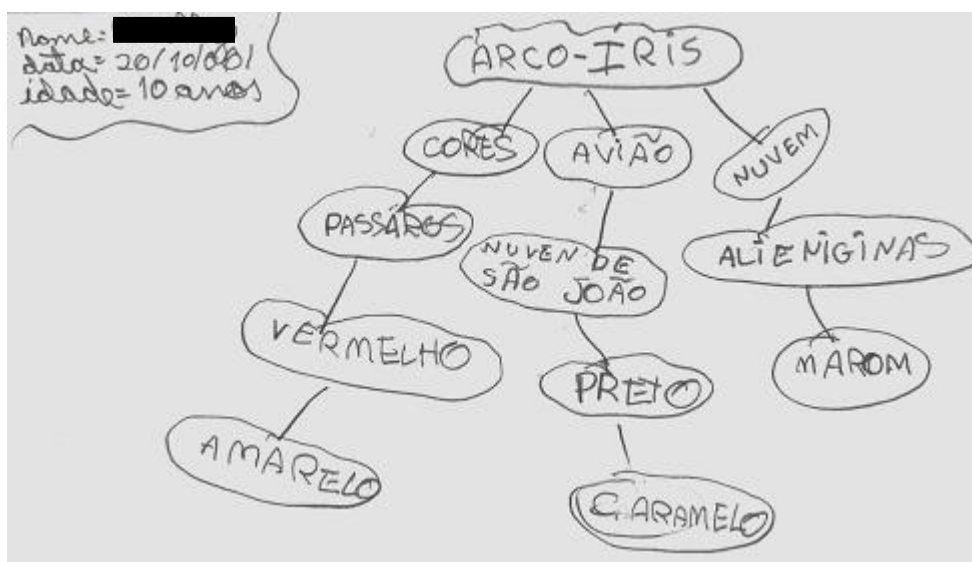


Figura 54 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno L da 4ª série do Ensino Fundamental

A análise desses mapas revelou que a noção das cores apresentava-se predominantemente em todos eles, embora nem sempre sejam apresentadas as sete cores do Arco-Íris. A noção da necessidade de Sol e chuva para a formação do fenômeno esteve presente em aproximadamente metade dos mapas, assim como ocorreu na primeira aplicação, confirmando o *subsunçor* considerado por nós na elaboração das atividades, como já argumentamos anteriormente.

4.2.2 Atividade 2: Produzir um Arco-Íris esguichando água com uma mangueira

A atividade foi desenvolvida seguindo as orientações dos níveis de ação sobre o objeto, como já discutidas na seção 4.1.2 da primeira aplicação. Expomos agora um relato de como se desenvolveu o trabalho com os alunos dessas turmas.

- **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

A atividade foi realizada com as duas turmas no período da manhã. Separamos os alunos em grupos e os levamos até o pátio da escola, um grupo de cada vez, pois não tínhamos mangueira nem espaço suficiente para atender mais grupos por vez. Cada grupo demorou aproximadamente dez minutos para realizar a atividade, uma vez que não tiveram dificuldade em localizar o Arco-Íris quando estavam esguichando água com a mangueira.

Relacionar a posição do Sol em relação ao observador também transcorreu sem dificuldades. Assim que o esguicho era acionado, os alunos circulavam em torno da água até localizarem o Arco-Íris. Assim que um aluno falava que tinha encontrado, os demais corriam para a mesma posição em que aquele aluno estava. Eventualmente, um ou outro aluno não mudava de posição, reclamando que não estavam vendo o Arco-Íris. Aproveitamos para questionar por quê alguns alunos estavam vendo e outros não. Facilmente eles associaram com a posição do observador de costas para o Sol.

Quanto à observação das cores que compõe o Arco-Íris, percebemos, pelas falas dos alunos, que eles conseguiam observar em torno de

quatro ou cinco cores. Essa constatação foi reforçada no preenchimento do relatório (Anexo A). As crianças gostaram muito da atividade, participaram com entusiasmo e preencheram o relatório com satisfação. Observe alguns trechos dos desenhos e das escritas dos alunos a respeito da atividade:

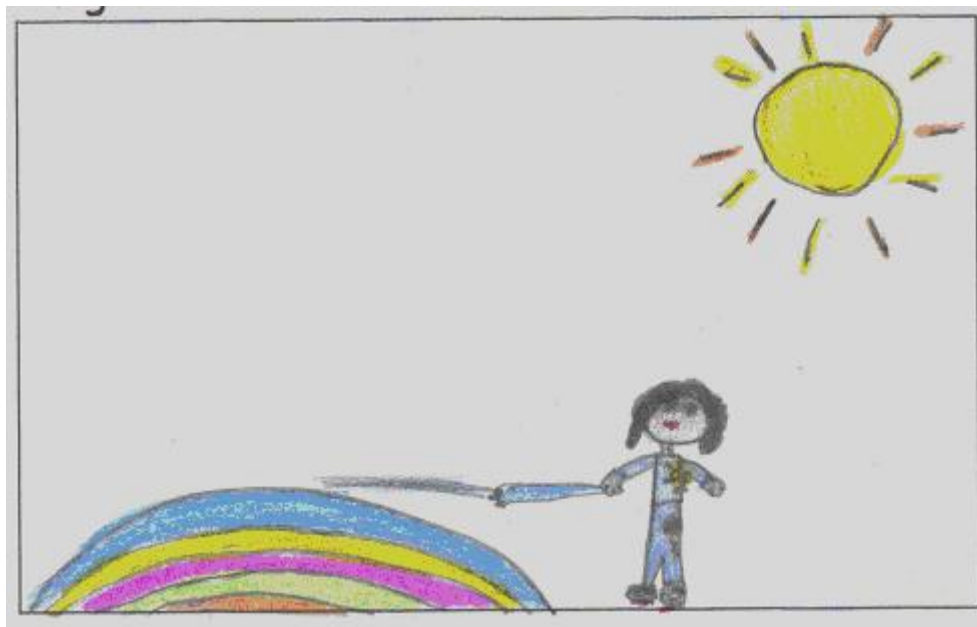


Figura 55 – Desenho de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris (Anexo AA)

No desenho feito por esta criança (Figura 55), percebemos as posições do Sol e do observador na apreciação do Arco-Íris, como observado na realização do experimento. Na pintura do Arco-Íris percebemos que a criança não utilizou as sete cores, apenas cinco.



Figura 56 – Desenho de aluno de 4ª série do Ensino Fundamental, representando a formação do Arco-Íris (Anexo BB)

Na Figura 56, o aluno representou bem as posições do Sol e do observador, com o Sol desenhado atrás da menina segurando a mangueira e o Arco-Íris formado na frente. Note que o aluno utilizou apenas as cores rosa, amarelo e azul para pintá-lo.

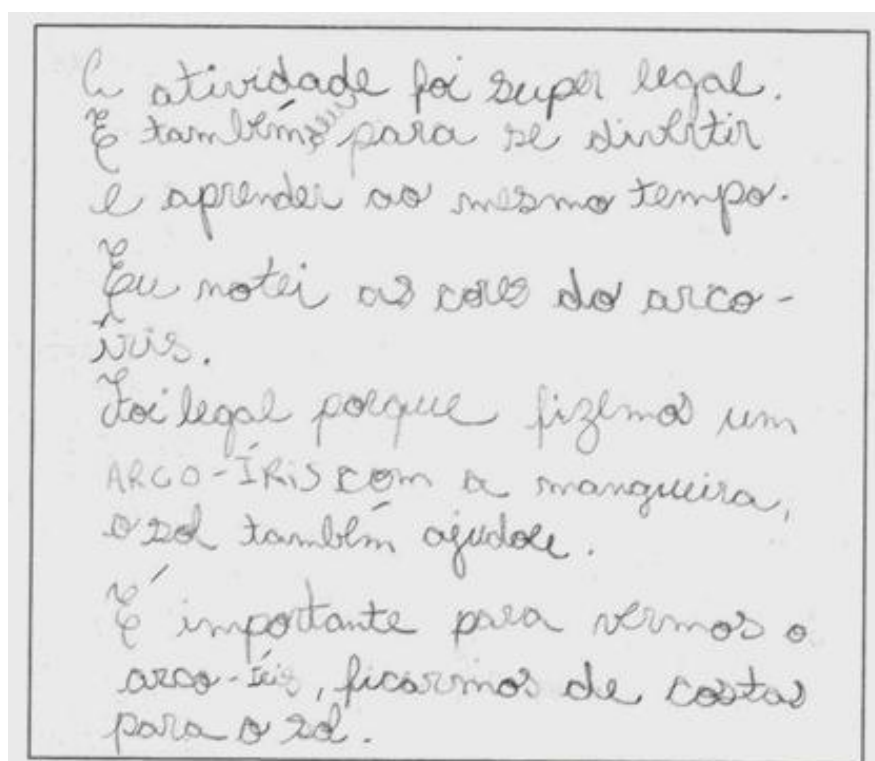


Figura 57 – Texto de aluno de 4ª série do Ensino Fundamental, representando o que mais gostou na atividade de formação de Arco-Íris (Anexo CC)

Na escrita desse aluno (Figura 57), percebemos a satisfação ao realizar a atividade, em que relata que a atividade proporcionou diversão e aprendizagem ao mesmo tempo. O aluno descreveu a importância da posição correta do Sol e do observador e a necessidade de água e Sol para formar o Arco-Íris.

4.2.3 Atividade 3: Classificar diversos materiais que tenham a propriedade de permitir ou impedir a passagem da luz

Essa atividade foi desenvolvida seguindo a mesma descrição e planejamento da primeira aplicação. Descrevemos agora o desenvolvimento da atividade com os alunos dessas turmas.

• Relato de como foi o trabalho com os alunos:

Os alunos foram separados em grupos de cinco, que receberam os materiais necessários para a realização da atividade. Eles ficaram muito entusiasmados com essa nova atividade, pois haviam apreciado muito a anterior e estavam ansiosos em realizar mais experiências. Depois de colocar o problema, escurecemos a sala e circulamos pela sala de aula para vermos se os alunos tinham compreendido bem o que era para fazer. Todos os alunos tiveram a oportunidade de manipular os materiais, até estabelecerem um critério de classificação: alguns materiais deixavam a luz “passar” e outros não. Eles utilizaram com facilidade o termo “refletir” quando o material não permitia a passagem da luz.

Os CDs foram quebrados em duas partes, para que não ocorresse novamente a confusão entre a reflexão da luz no Cd e a passagem da luz pelo orifício no meio do CD, como ocorreu com as turmas da primeira aplicação. Os estudantes ficaram muito admirados com as cores formadas pela reflexão da luz no CD, associando facilmente com as cores do Arco-Íris. Aproveitamos esta constatação para solicitar que eles tentassem observar quais eram essas cores e em que ordem elas apareciam.

Houve uma dificuldade com a palavra “acrílico”, que era um material que eles não conheciam bem. Com o metal, o espelho e o CD, logo os alunos

concluíram que estes materiais refletiam a luz que recebiam. Com o vidro, o acrílico e a água, perceberam facilmente que esses materiais permitiam que a luz passasse por eles. Entretanto, alguns grupos tiveram mais dificuldades em perceber que esses materiais também refletiam um pouco da luz. Os alunos então testaram novamente esses materiais, procurando com as mãos ou com uma folha branca onde estava o reflexo da luz. Em outras equipes, esse fato foi logo percebido pois o reflexo da luz incidia na camiseta ou no rosto da criança que estava testando o material, conforme o posicionamento de ambos.

A observação do lápis dentro da água foi muito apreciada e discutida pelos alunos. Eles perceberam admirados que dentro da água o lápis apresentava uma aparência maior e deformada em relação ao ar. Pedimos então que eles retirassem o lápis da água o observassem se o lápis tinha se modificado. Ao constatarem que não, ou seja, que fora da água o lápis continuava igual, pedimos então que eles explicassem o que estava acontecendo. Os alunos relataram que era a água que mudava a aparência do lápis, que ela funcionava como uma lente, “aumentando” o tamanho do lápis.

Durante a discussão e a explicação das causas, retomamos todos os aspectos observados durante a realização da atividade para que os alunos compreendessem porque a luz passa por alguns materiais e por outros não. Associamos também essa atividade com a anterior, em que a luz do Sol ao incidir sobre a água permite a passagem da luz e também a reflete, uma vez que a água é um material que apresenta essas características.

No preenchimento do relatório (Anexo E), os alunos demonstraram um pouco de dificuldade com a classificação dos materiais nas colunas nomeadas por nós, como ocorreu na primeira aplicação. Entretanto, percebemos que desta vez a dificuldade foi um pouco menor, pois como já conhecíamos essa dificuldade, fomos mais cautelosas na explicação da tabela. Embora esse relatório precisasse de algumas adequações, optamos por continuar com o mesmo para que nada de diferente ocorresse entre as duas aplicações, a não ser a seqüência das atividades, como já argumentamos anteriormente. Observe alguns relatos da atividade feitos pelos alunos:

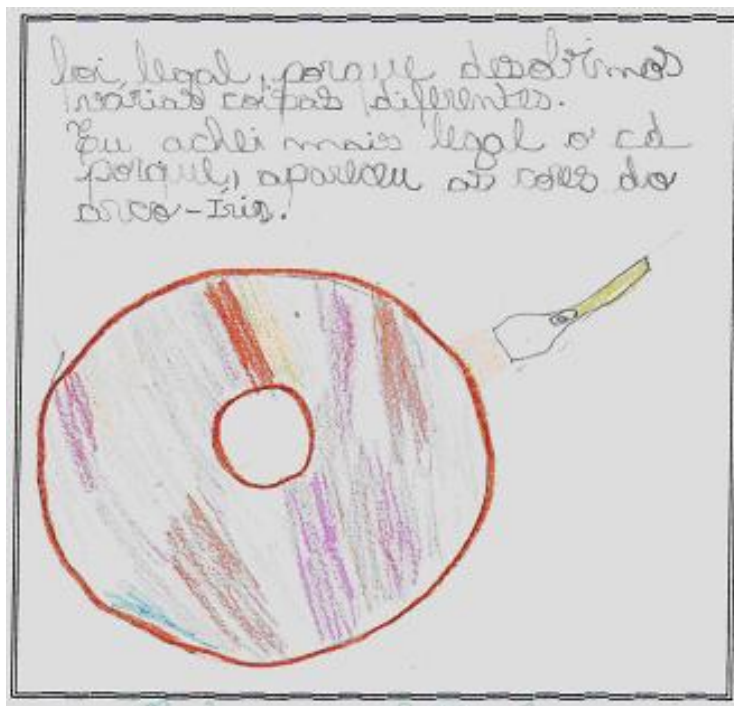


Figura 58 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da classificação de materiais (Anexo DD)

Neste relato (Figura 58), a criança demonstrou um interesse maior pelas cores do espectro formadas a partir da reflexão da luz no CD. Ela associou as cores vistas no CD como sendo as mesmas do Arco-Íris. Quanto aos demais aspectos da atividade, a criança não faz nenhuma referência.

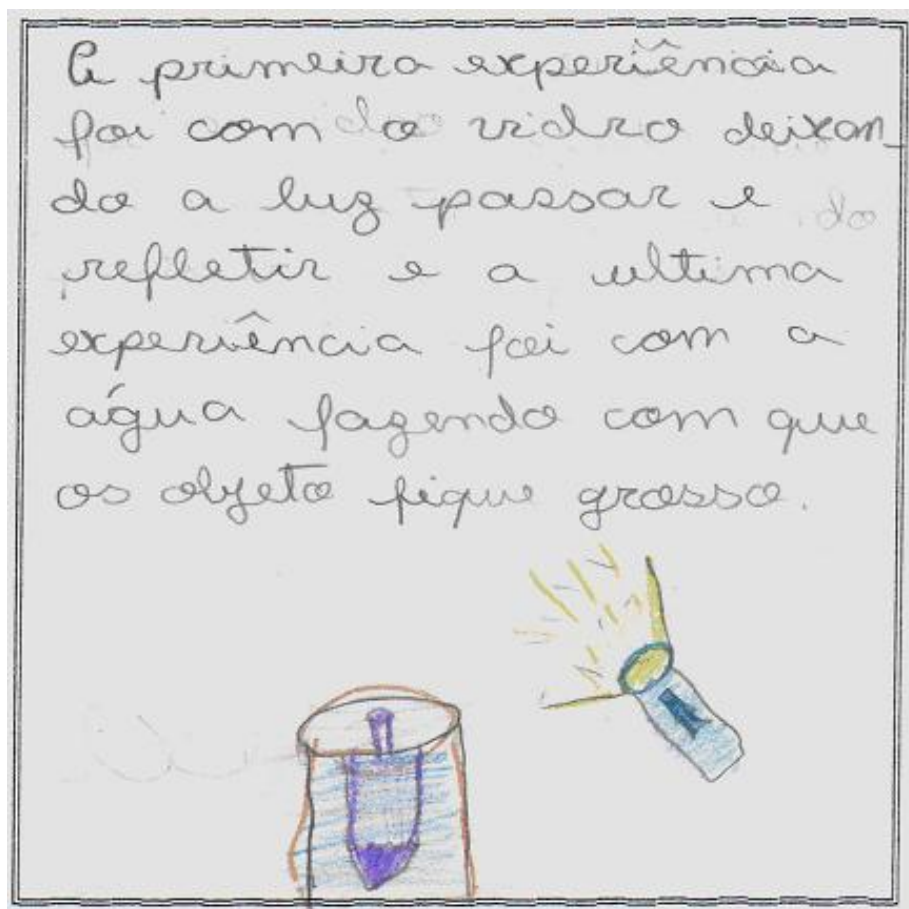


Figura 59 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da classificação de materiais (Anexo EE)

No texto escrito pelo aluno da Figura 59, podemos observar que ele descreveu somente a classificação do material vidro, que permite a passagem da luz e também reflete a luz, mas não citou nenhum outro material experimentado. Acreditamos, por meio do relato e do desenho, que o que mais chamou a atenção desse aluno foi a observação do lápis dentro e fora d'água, atribuindo a isso o fato da água fazer com que o objeto fique mais "grosso".

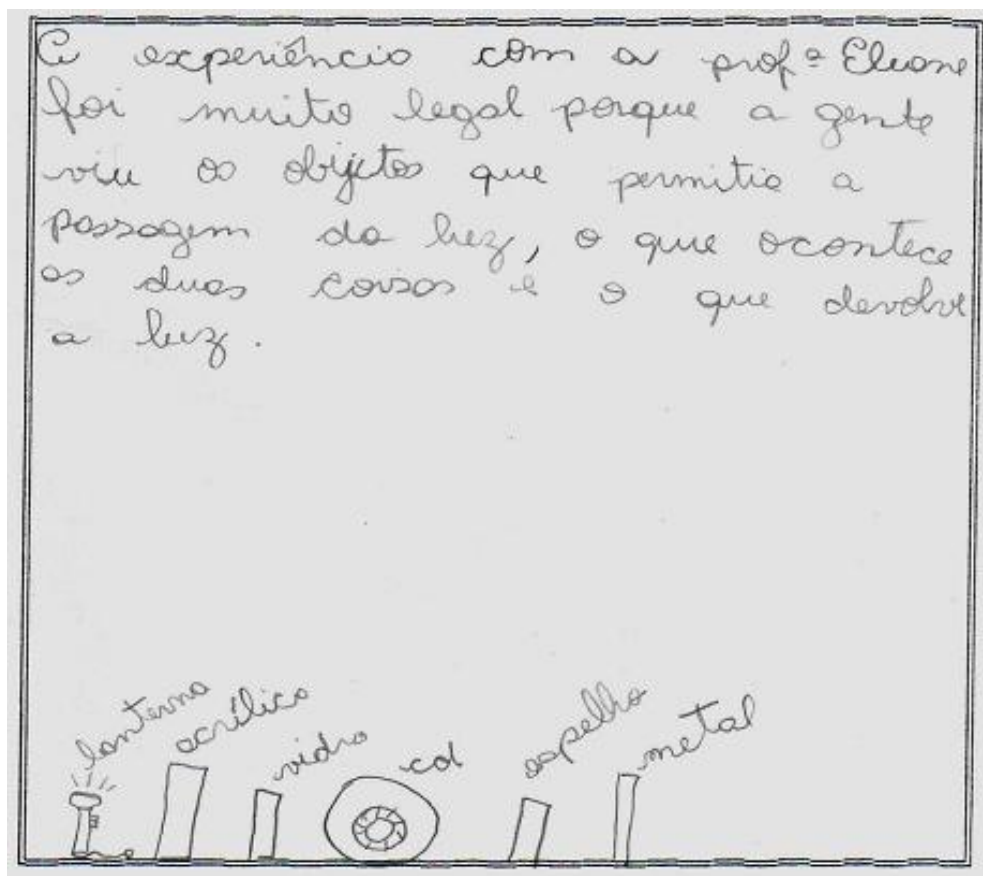


Figura 60 – Texto de aluno de 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação de materiais (Anexo FF)

No relato feito por esta criança (Figura 60), observamos uma descrição do que pretendia a atividade: perceber quais objetos permitem a passagem da luz, quais refletem a luz e quais fazem as duas coisas. O desenho da criança ilustra os materiais utilizados. Entretanto, essa criança não diz em seu relatório em quais materiais cada fenômeno pode ser observado.

Este outro relato (Figura 61), descreve a atividade e a classificação de alguns dos materiais analisados: no espelho a luz da lanterna “voltava”; no acrílico a luz “passava” e refletia; no metal a luz “voltava” e atingia a face dos alunos; no vidro e na água a luz também “passava” e refletia. Este aluno só não fez nenhum comentário a respeito do CD, que normalmente chama muito a atenção dos alunos.

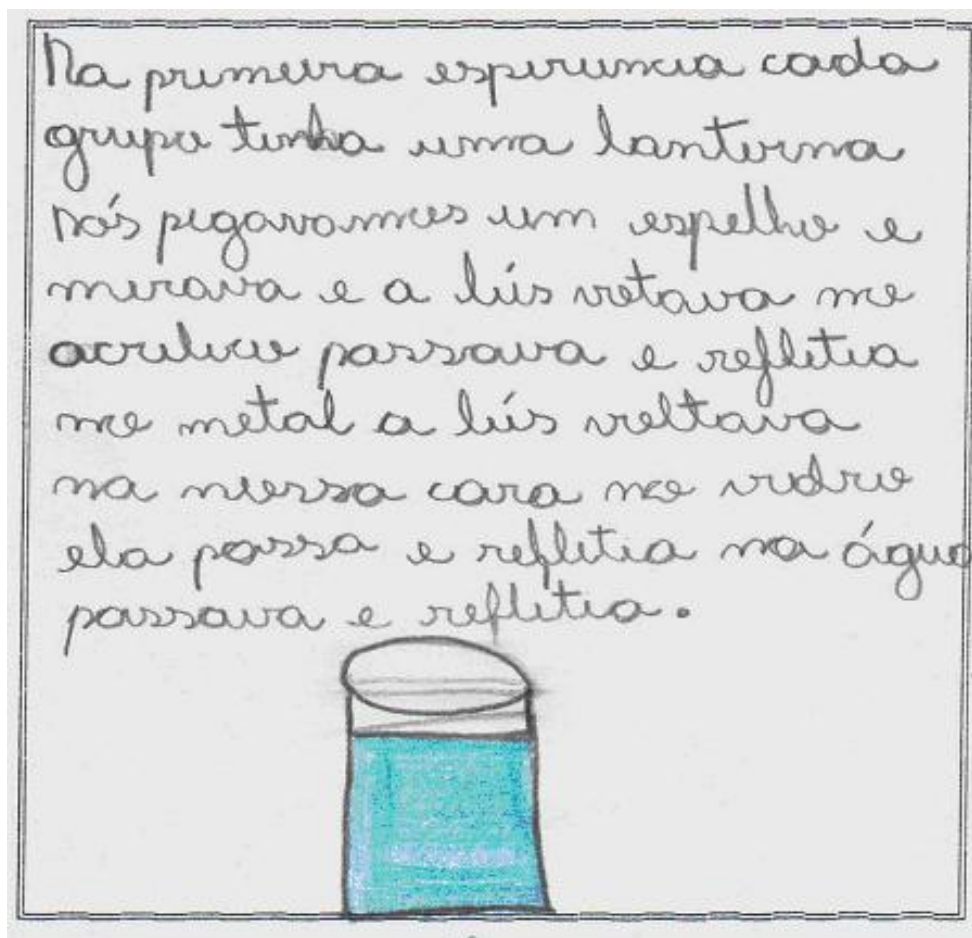


Figura 61 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da atividade de classificação de materiais (Anexo GG)

4.2.4 Atividade 4: Decomposição da luz ao passar por um prisma

A atividade da decomposição da luz ao passar por um prisma, assim como todas as atividades da segunda aplicação, foi desenvolvida conforme já descrevemos anteriormente. Lembramos que essa atividade foi desenvolvida após a atividade da “gota d’água” na primeira aplicação e na segunda, ela ocorre primeiro. Expomos as observações feitas a partir do trabalho com os alunos em sala de aula.

- **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

A atividade foi realizada com a sala de aula escurecida e com os alunos distribuídos em equipes. As equipes receberam os materiais (uma fonte de luz, um anteparo, dois pedaços de madeira para formar o pincel de luz e o prisma

de vidro). De posse dos materiais, colocamos o problema: obter e observar as cores do Arco-Íris. Percorremos os grupos para observar o desempenho dos alunos na realização da atividade e ver se eles tinham compreendido o que era para ser feito. Cada uma das equipes foi posicionando os materiais sobre a mesa, sempre com a luz incidindo no prisma, entretanto não encontravam o lugar em que deviam observar o espectro. Após algumas tentativas, os grupos foram conseguindo observar a formação colorida. Eles ficaram muito entusiasmados com essa descoberta, e o prisma foi um material considerado muito interessante, eles nunca tinham visto um. A luz da lanterna também mereceu bastante atenção por parte dos alunos, que perceberam que tanto a luz solar quanto a luz artificial formam o espectro colorido.

Depois de satisfeita a curiosidade inicial, os alunos perceberam que alguns tinham posicionado o prisma na posição vertical e outros na horizontal. Então eles testaram novas possibilidades, com o prisma nas duas posições, percebendo que a ordem em que as cores apareciam era sempre a mesma. Questionamos então quantas eram essas cores e qual era a ordem em que elas apareciam. Eles manipularam o prisma de modo que, conforme o movimento, observaram melhor as cores formadas.

Durante a discussão da atividade e da explicação das causas estas questões foram todas retomadas. Estimulamos os alunos a relacionarem o que observaram nessa atividade com as atividades anteriores. Eles explicaram que as cores que surgiram eram as mesmas do Arco-Íris e do CD, e que o vidro era um material que permitia a passagem da luz e também refletia a luz. Então perguntamos por quê a luz “entra” branca no prisma e “sai” colorida? (Durante a atividade, quando o prisma estava na posição horizontal sobre a carteira, foi possível perceber o trajeto da luz ao entrar e ao sair do prisma). Eles responderam que era o vidro que mudava a luz. Questionamos então qual era a cor do vidro. Eles responderam que era transparente, e que, não era o vidro que deixava a luz colorida. Alguns alunos falaram que devia ocorrer alguma coisa semelhante ao que ocorreu com o lápis dentro d’água, que apresentava alguma modificação. Eles explicaram que para a luz ficar colorida ela devia passar pelo prisma (passagem da luz de um meio para outro).

Percebemos que nessa segunda aplicação, a discussão ficou mais centrada na ordem das cores e na explicação do por que a luz se modifica

tornando-se colorida. Na primeira aplicação, os problemas do posicionamento do anteparo e da reflexão da luz após penetrar a gota também fizeram parte da discussão. Assim, consideramos que nessa aplicação os alunos tiveram um maior esclarecimento da questão da passagem da luz de um meio para outro, pois eram menos aspectos para serem discutidos.

No preenchimento do relatório (Anexo P), os alunos tiveram a oportunidade de ver um esquema que demonstrava o que ocorria com a luz ao passar pelo prisma. Muitos vinham nos explicar, mostrando no desenho, que a luz branca “aumentava” como o lápis dentro d’água e dividia-se em cores. Seleccionamos alguns exemplares dos relatos espontâneos dessa atividade feito pelos alunos:

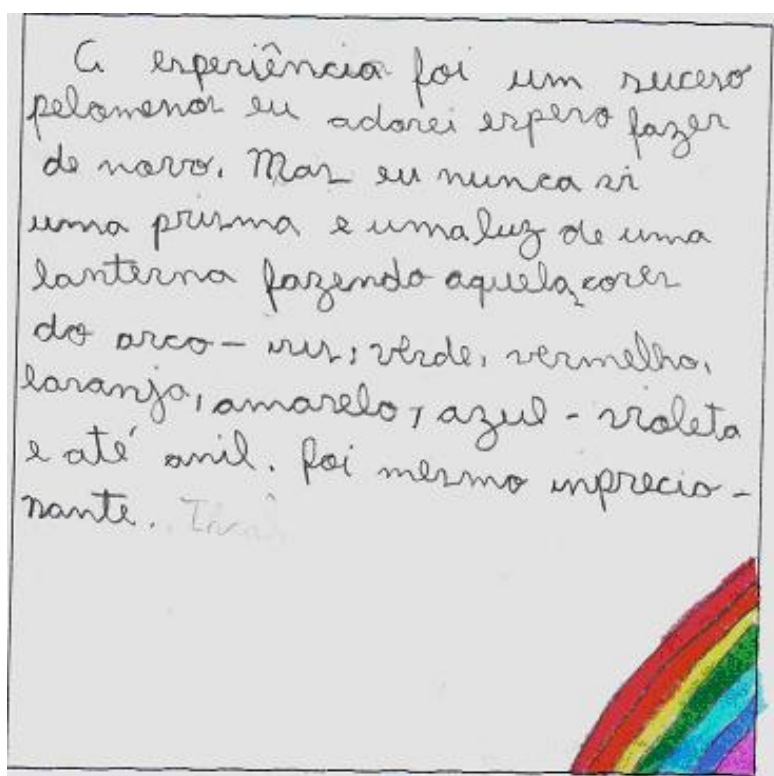


FIGURA 62 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar por um prisma (Anexo HH)

No relato da Figura 62, percebemos a admiração que a criança sentiu ao realizar o experimento. Note como os materiais utilizados (prisma de vidro e luz artificial) chamaram a atenção dessa criança. Ela relata também as cores observadas no espectro colorido.

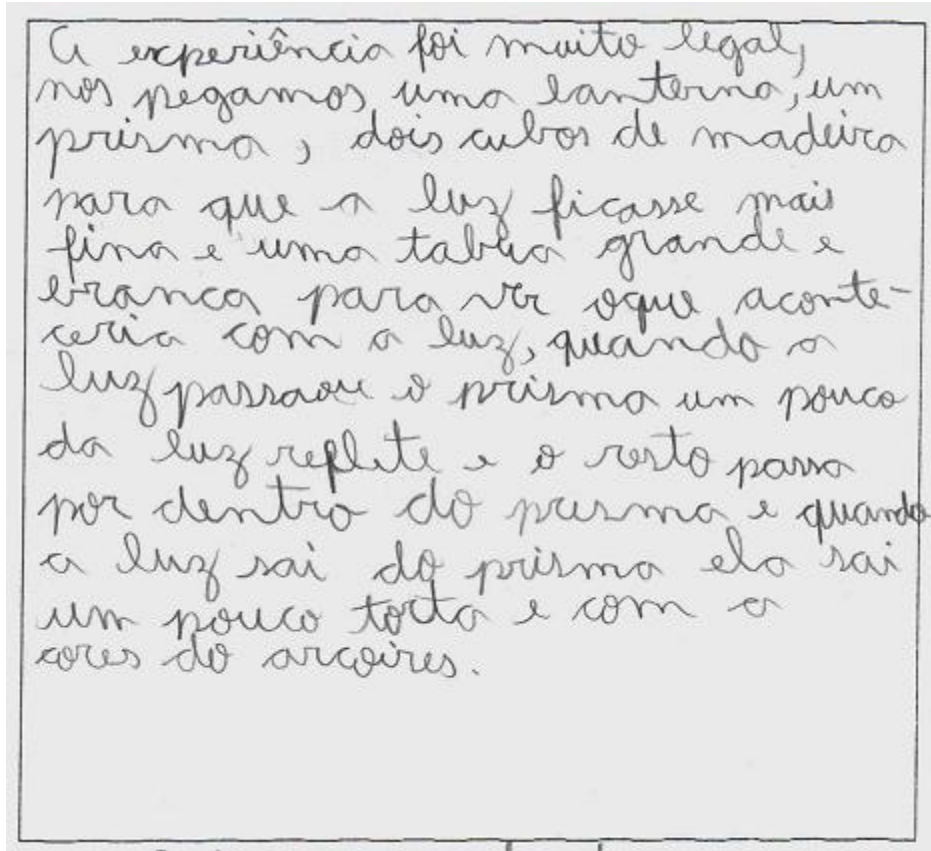


Figura 63 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo II)

Esse aluno (Figura 63) relatou os materiais utilizados para a realização do experimento e o objetivo da atividade. Observe como ele descreve o que acontece com a luz ao passar pelo prisma: uma parte da luz reflete e a outra parte atravessa o prisma. O trajeto da luz também foi observado por este aluno que percebeu que a luz, ao sair do prisma, sofre um desvio, além de apresentar as cores do Arco-Íris. Lembramos que, quando o prisma é observado na posição horizontal, é possível perceber o trajeto da luz quando incide sobre o prisma.

No outro relato (Figura 64), observamos que o aluno percebeu que a luz branca é composta por todas as cores, a mudança de meio faz com que as cores se separem. Veja também as associações feitas por ele entre a luz artificial e o Sol, e entre o prisma e a água. O resultado da experiência foi o surgimento das cores do Arco-Íris. Esse relato indica que o aluno estabelece relações entre a atividade que realizou e as anteriores.

Ela foi muito legal porque eu fiquei
 sabendo que a luz branca é todas as
 cores juntas e é como a luz do sol e o
 prisma separa as coisas e é como o
 água e então como a luz branca é co-
 mo o sol e o prisma e como o água
 a luz entra e reflete no prisma e
 do outro lado aparece o cor do arco-íris.

Figura 64 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo JJ)

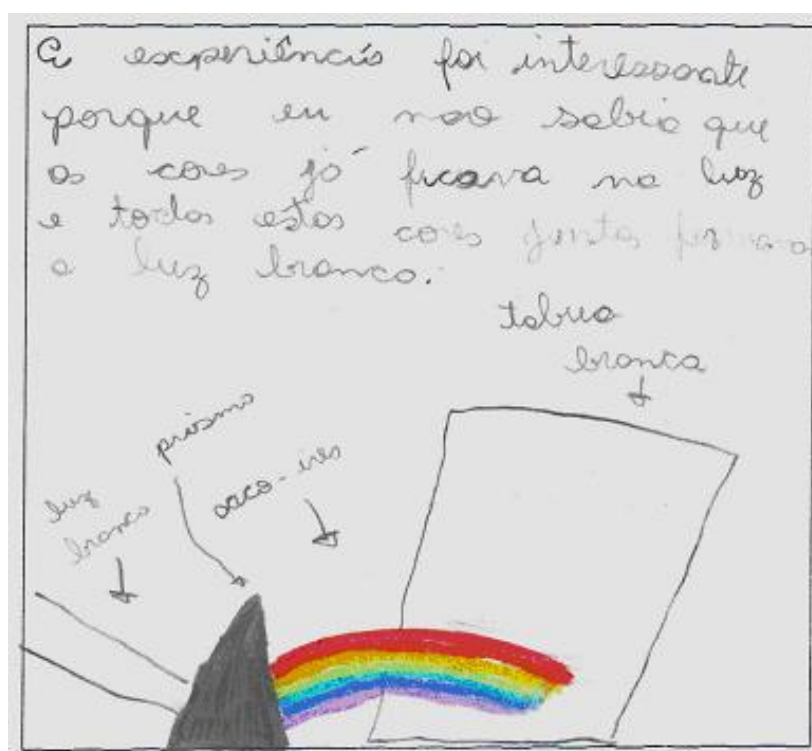


Figura 65 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental descrevendo a decomposição da luz ao passar pelo prisma (Anexo LL)

Neste relato (Figura 65), percebemos que essa criança também compreendeu que as cores já estavam na luz branca que, ao passar pelo prisma, separam-se exibindo as cores. Consideramos importante que nessa segunda aplicação alguns alunos tenham percebido isso, pois, na primeira aplicação, esse fato não foi observado na fala dos alunos nem no preenchimento do relatório.

4.2.5 Atividade 5: A grande “gota d’água”

Essa atividade foi realizada seguindo a descrição já apresentada na primeira aplicação. Apresentamos a análise de como se desenvolveu essa atividade nas turmas da segunda aplicação.

• Relato de como foi o trabalho com os alunos:

Os alunos realizaram a atividade em grupos, numa sala escura, para que pudessem observar bem o efeito da experiência. Após distribuímos os materiais, o problema foi exposto: formar um Arco-Íris com os materiais disponíveis (fonte de luz, anteparo branco e a gota d’água). A luz artificial e o anteparo já haviam sido utilizados na atividade do prisma, assim, os alunos concentraram todo o entusiasmo na gota d’água. Após a curiosidade inicial em relação ao material, os alunos começaram a resolver o problema. Aproveitamos para percorrer os grupos e averiguar se todos tinham compreendido o que era para ser feito.

Os alunos começaram a projetar a luz na gota d’água, procurando com o anteparo a formação do efeito. Esse procedimento foi utilizado com sucesso na atividade do prisma, por isso os alunos recorreram a ele, mas nesta atividade não estava surtindo resultado. Então questionamos aos grupos a relação entre as posições do Sol e do observador estabelecidas na atividade 2: em que “lado” o Sol batia e em que “lado” podíamos observar o Arco-Íris? Eles responderam que era do mesmo “lado”. Então eles questionaram que na atividade do prisma a luz saía pela outra face. Alguns alunos já responderam que o prisma era “reta”, diferente da gota, então deveria ser de outro jeito. Como no anteparo havia um furo ao meio para a passagem da luz, alguns grupos posicionaram corretamente a fonte de luz atrás do

anteparo e a gota d'água na frente, formando assim o Arco-Íris.

Assim, os grupos conseguiram formar o Arco-Íris. Percorremos novamente os grupos questionando por quê o anteparo ficou na frente da gota. Os alunos respondiam que era porque a luz “voltava”, como na experiência dos materiais: um pouco da luz passa e um pouco volta. Perguntamos se a luz passava também. Eles responderam que sim indicando com a mão a luminosidade que saía pela outra extremidade da gota. Então questionamos se aquela luz que percorria a gota e saía pela outra extremidade era colorida. Responderam que não, que a luz colorida era a que “voltava” no anteparo. Pedimos que indicassem onde a luz “voltava”. Eles ficaram em dúvida, indicando a primeira extremidade da gota. Sugerimos que se lembrassem da atividade do prisma, em que as cores eram separadas quando entravam no vidro. Então perguntamos: na água não é a mesma coisa? Eles então responderam que sim, que para formar as cores a luz deveria entrar na água. Pedimos que novamente indicassem o local da reflexão da luz e eles indicaram corretamente a parede posterior da gota.

Outro aspecto observado foi o formato do espectro, que na atividade do prisma era reto e agora era circular. Eles explicaram que era por causa do formato da gota. Pedimos que observassem se as cores e a ordem eram as mesmas da atividade do prisma. Eles constataram que sim. A manipulação da gota permitia que as sete cores fossem observadas.

Durante a discussão da atividade para a explicação das causas, todos os aspectos já citados foram retomados.

Nessa aplicação, consideramos que os alunos tiveram mais facilidade em perceber a necessidade da luz penetrar na gota d'água para exibir as cores e conseqüentemente, em localizar o local da reflexão. Como argumentamos anteriormente, a atividade do prisma esclarece a necessidade da luz passar para um outro meio para exibir as cores. A experiência da “gota d'água” apresenta mais um elemento de dificuldade: a reflexão no interior da gota. Embora os graus de refringência das sete cores tenham sido sistematizados por Newton, muitos outros pensadores anteriores a ele já observavam a decomposição das cores ao passar por prismas de vidro.

O preenchimento do relatório (Anexo J) transcorreu sem nenhuma dificuldade. Expomos alguns exemplares selecionados da nossa amostra:

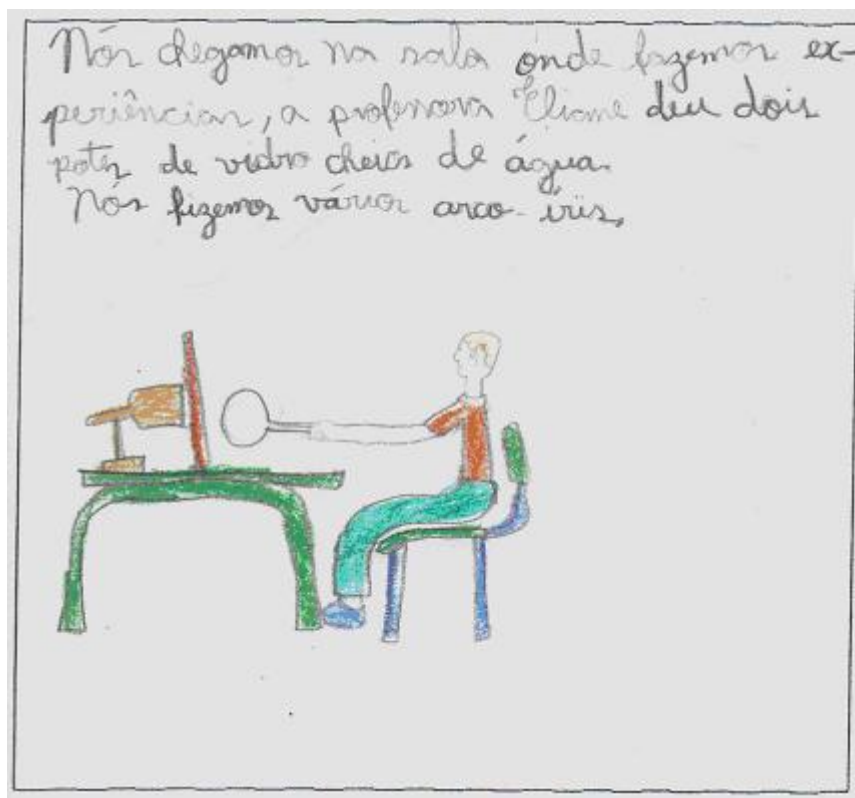


Figura 66 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota-água (Anexo MM)

Essa criança (Figura 66) fez um relato bem simples da atividade, porém, no seu desenho, podemos perceber o cuidado em representar corretamente o posicionamento dos materiais: a fonte de luz atrás do anteparo, deixando a luz passar pelo furinho, a gota 'água sendo manipulado pela criança na frente do anteparo.

O próximo relato (Figura 67) apresenta uma descrição de como foi a atividade, os materiais utilizados, o posicionamento correto de cada um e a observação do Arco-Íris. Note também a satisfação da criança em realizar a atividade.

A experiência foi muito
 legal eu adorei foi sobre
 o mesmo assunto das
 outras experiências sobre
 o arco-íris, agente colocou
 uma luz artificial atrás
 de uma tábua grande com
 um pequeno borraquinho
 que de lá passava a
 luz e em frente da luz.
 nós colocamos uma grande
 gota de água que formava
 um lindo arco-íris na tábua

Figura 67 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo NN)

No próximo relato (Figura 68) observamos alguns elementos importantes colocados por este aluno: a gota d'água simulando a gota de chuva; a água como fator da decomposição da luz em cores; e a presença da reflexão na formação do Arco-Íris.

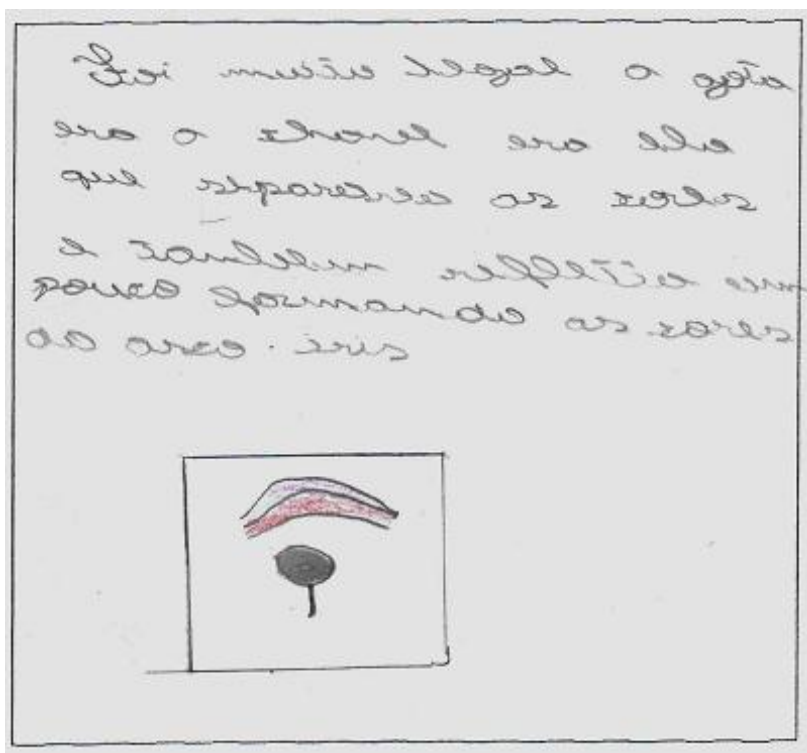


Figura 68 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo OO)

No relato seguinte (Figura 69), o aluno, primeiramente, demonstra sua satisfação com a atividade e, em seguida descreve a atividade: a luz artificial passando pelo buraco no anteparo branco; a luz branca “transformando-se” em luz colorida quando entrou na gota d'água; a reflexão da luz e o surgimento do Arco-Íris no anteparo. O desenho do aluno mostra o posicionamento dos materiais, a luz branca (que ele representou no desenho amarela) passando pelo buraco no anteparo e atingindo a gota d'água e o espectro colorido saindo da gota no mesmo lado em que a luz branca entrou.

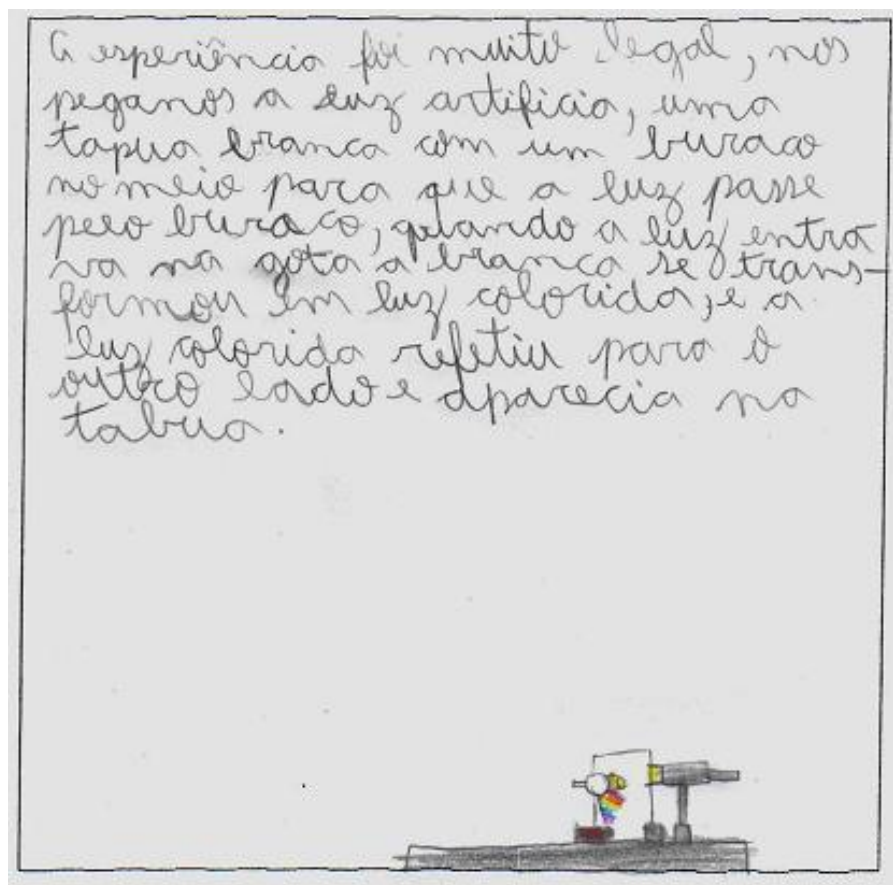


Figura 69 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da formação do Arco-Íris na gota d'água (Anexo PP)

4.2.6 Atividade 6: Soma das luzes coloridas

A atividade da soma das luzes coloridas foi desenvolvida seguindo a mesma descrição e planejamento da primeira aplicação. Portanto, relatamos agora como foi o trabalho com as turmas da segunda aplicação.

- **Relato de como foi o trabalho com os alunos:**

A atividade foi realizada em grupos maiores, com a sala de aula escurecida. Os alunos observaram os materiais necessários a realização da atividade (caixa de luz e estrelinhas de papel em diversas cores) e colocamos o problema: descobrir qual a cor que cada estrelinha vai exibir ao ser iluminada por uma determinada cor de luz.

No princípio, os alunos ficaram muito admirados com a caixa de luz,

acendendo e apagando as luzes várias vezes. Encaramos essa curiosidade inicial com naturalidade, mas ficamos atentos para que os grupos realmente tentassem resolver o problema. Ao perguntarmos que cor a estrelinha exibiria quando iluminada por uma cor de luz, normalmente eles respondiam de acordo com as suas observações da mistura de pigmentos (como, por exemplo, a mistura do vermelho com verde que resulta no marrom). Aos poucos eles foram percebendo que suas hipóteses estavam erradas, ficando atentos para a observação de quando a estrelinha exibia a mesma cor (por exemplo, a estrela vermelha continuava vermelha quando iluminada por luz da mesma cor ou pela luz branca).

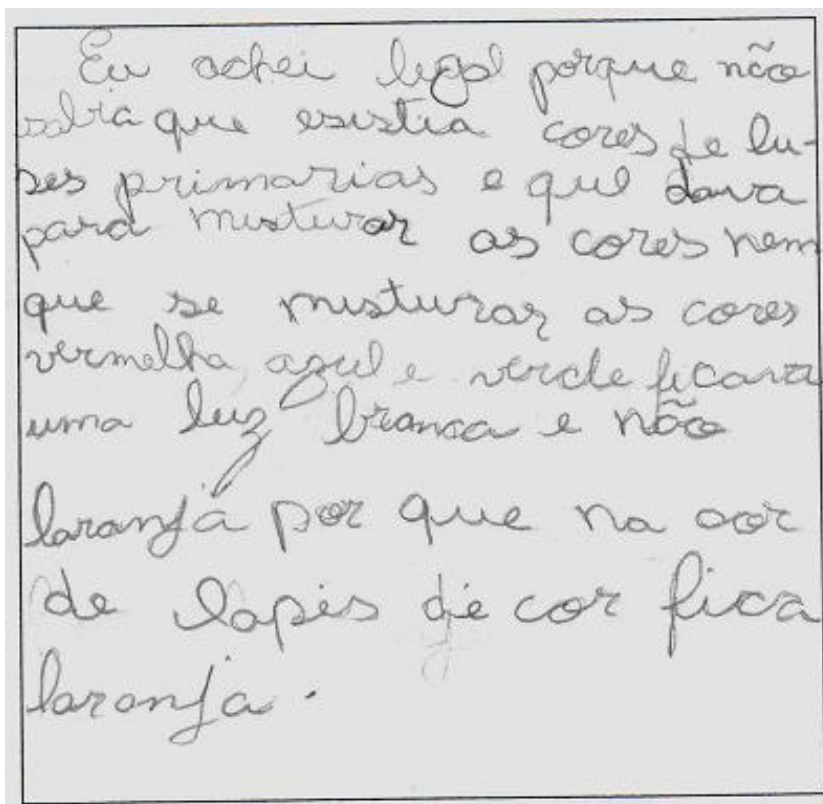
Assim que os alunos começaram a responder adequadamente a essas questões, perguntamos por quê com a luz branca a estrelinha exibia a mesma cor. Eles responderam que na luz branca também tem a luz vermelha, ou seja, a luz branca é formada por muitas cores, por isso os objetos continuam com a mesma cor. Questionamos então por quê nossa caixa de luz apresentava somente três cores: vermelho, verde e azul. Os alunos nos disseram que era porque essas cores eram as “principais”. Explicamos que essas cores eram as cores primárias da luz, diferentes das cores primárias dos pigmentos. Alguns alunos lembraram-se das cores primárias dos pigmentos (vermelho, amarelo e azul) e reafirmaram que são mesmo diferentes.

Como tínhamos uma estrelinha amarela, eles quiseram saber como a estrelinha ficaria sob luz amarela. Argumentamos que não tínhamos luz amarela, e perguntamos o que deveríamos fazer. Logo eles falaram que era só misturar. E começaram a mistura das luzes coloridas. Ao formar o amarelo, pela mistura da luz vermelha com a verde, resolveram testar a estrela amarela e as demais. Quando colocaram a estrela vermelha, perceberam que ela continuou vermelha. Questionamos por quê. Após alguns minutos, eles responderam que era porque no amarelo tinha a luz vermelha também. Quando testaram a estrela verde, perceberam a mesma coisa, e logo formularam a explicação. Com as demais mistura, essas questões se repetiram e foram igualmente debatidas.

Ao acenderem as três luzes, perceberam a formação da luz branca e lembraram que a luz branca é composta por todas as cores. Assim, testaram as cores das estrelas já conscientes de que elas continuariam exibindo a mesma cor, pois na luz branca estão presentes as demais cores.

Recolhemos os materiais e iniciamos a discussão para a explicação

das causas. Todas as questões foram retomadas para que os alunos tivessem a oportunidade de elaborarem explicações adequadas. Solicitamos o preenchimento do relatório (Anexo T). Embora consideramos que o relatório da primeira aplicação necessitasse de algumas alterações, optamos por utilizar o mesmo nessa aplicação, para que apenas a seqüência das atividades seja o fator relevante entre as duas aplicações. Como a tabela era muito cansativa, deixamos bem claro que não era necessário preenchê-la totalmente. Eles deviam preencher o que tivesse sido mais significativo para eles. Entretanto, muitos se empenharam para completá-la. Observe os relatos escritos da atividade:



Eu achei legal porque não sabia que existia cores de luzes primárias e que dava para misturar as cores nem que se misturar as cores vermelha, azul e verde ficava uma luz branca e não laranja por que na cor de lápis de cor fica laranja.

Figura 70 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo QQ)

Neste relato (Figura 70), observamos que o aluno manifesta sua satisfação em aprender coisas que não sabia, como as cores primárias da luz; as misturas das luzes coloridas formando outras cores e o branco. Um fato importante que o aluno salientou é a diferença entre as misturas de luz e de pigmentos (lápiz

de cor).

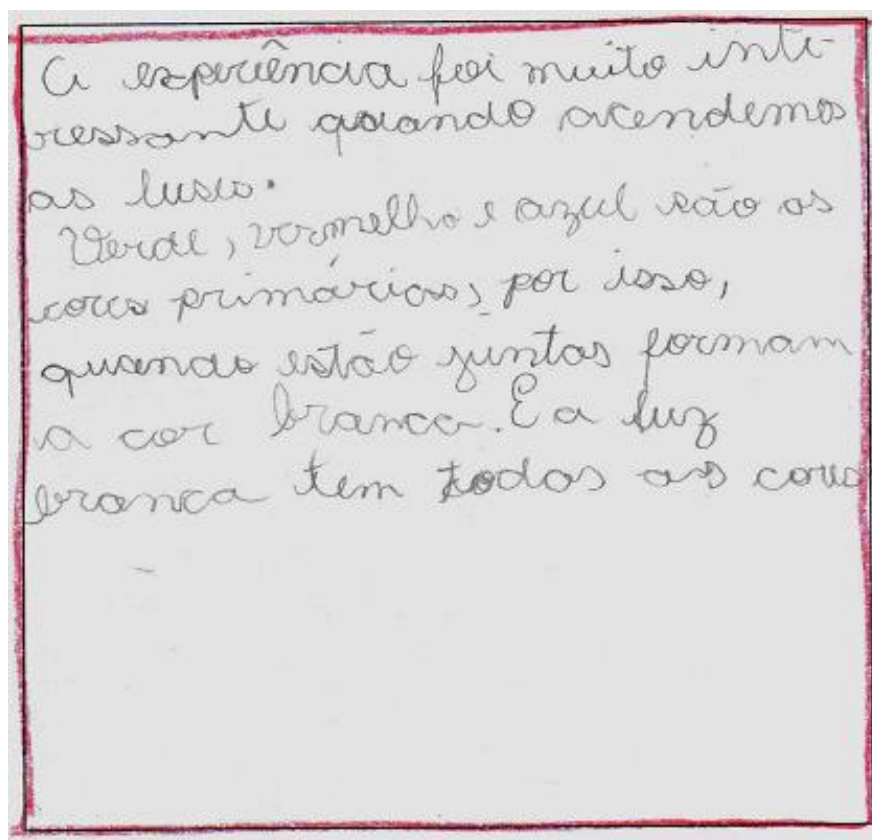


Figura 71 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo RR)

No relato da Figura 71, a criança considerou atividade interessante, citou as cores verde, azul e vermelha como primárias e justificou que quando cores estão juntas formam a luz branca, portanto, a luz branca tem todas as cores.

Nos relatos a seguir (Figuras 72 e 73), os alunos apresentam as cores primárias da luz e a mistura entre elas: o vermelho com verde formando o amarelo; o vermelho com o azul formando o violeta, e o verde com azul resultando no turquesa. Os alunos também esclarecem nos relatos que a mistura dessas cores forma a luz branca.

Essa experiência de hoje foi legal e colorida.
 Eu gostei, porque aprendi as cores primárias e as misturas de cores.
 Aprendi que vermelho com verde forma amarelo, vermelho com azul forma violeta, azul com verde, forma azul turquesa. E todas as cores forma a luz branca.

Figura 72 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo SS)

Hoje a experiência foi muito legal porque a misturar as cores da luz em:
 vermelho com verde = amarelo
 vermelho com azul = roxo
 verde com azul = azul turquesa
 vermelho com verde com azul deu branca

Figura 73 – Texto de aluno da 4ª série do Ensino Fundamental a respeito da mistura das cores primárias da luz (Anexo TT)

4.2.7 Construção de Mapas Conceituais (Conjunto IIB)

Após realizarmos todas as atividades com os alunos, em uma aula específica, pedimos que elaborassem um outro Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris. Como já dissemos anteriormente, a análise dos Mapas Conceituais constitui a avaliação da Aprendizagem Significativa dos alunos após participarem de situações de ensino. Assim, observamos nos mapas do Conjunto II os avanços que os alunos apresentaram em relação aos conceitos relacionados com o Arco-Íris, segundo uma seqüência histórica.

Ao compararmos os mapas do Conjunto I aos do Conjunto II, observamos que os alunos demonstraram um avanço significativo nos conceitos abordados, como a explicitação da relação entre as posições do Sol e do observador, as cores que compõe o Arco-Íris, a decomposição da luz branca, as cores primárias da luz, a luz branca formada pela soma das luzes coloridas, a formação das cores secundárias e o formato do arco. Quanto à estrutura apresentada nos mapas, percebemos também um avanço na organização dos conceitos, nos níveis hierárquicos e nas ligações válidas, além de um início de reconciliação integrativa.

Em relação à primeira aplicação das atividades, consideramos que uma maior quantidade de alunos elaborou mapas com mais elementos conceituais e adequadamente organizados nessa segunda aplicação. Esses dados serão discutidos na seqüência. Apresentamos, no gráfico abaixo, a freqüência dos conceitos observados nos mapas da segunda aplicação. Relembramos que o objetivo do gráfico é apenas organizar as informações:

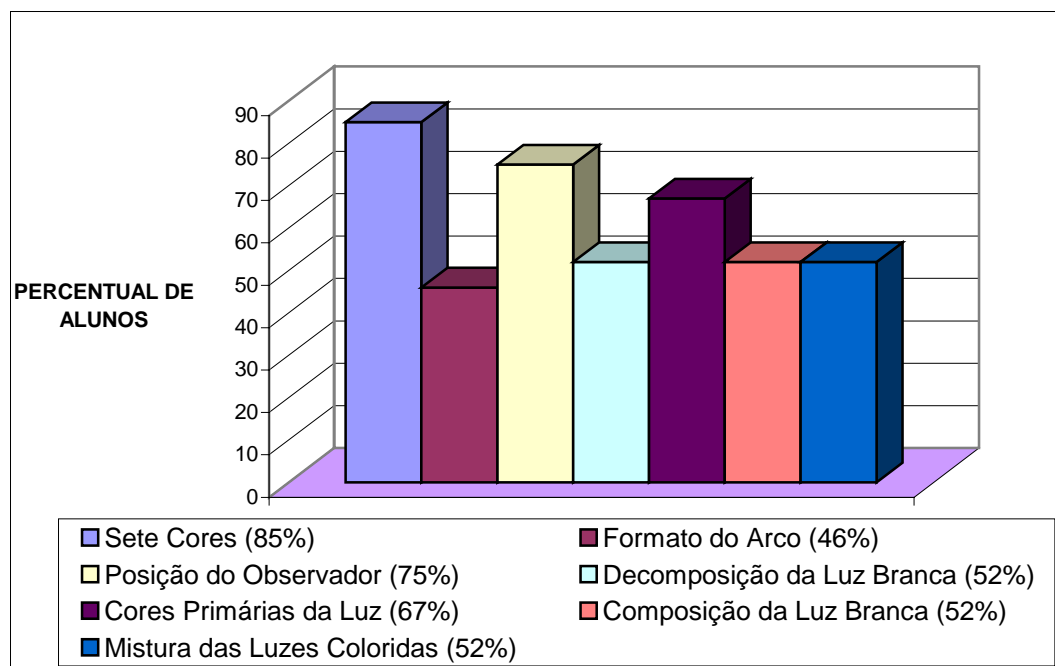


Gráfico 4 – Conceções de estudantes de 4ª série do Ensino Fundamental a respeito do fenômeno Arco-Íris, após a realização das atividades (Conjunto IIB) – Segunda Aplicação

Percebemos que em ambas as aplicações, os alunos relacionaram todos os conceitos estudados durante a realização das atividades. Em alguns conceitos, como as cores, o formato do arco, a posição do observador e a decomposição da luz branca, o percentual de alunos que abordaram esses conceitos permaneceu estável entre as duas aplicações. Mas com relação aos demais, em particular em relação às características das luzes, percebemos um aumento significativo: na primeira aplicação, 35% dos alunos abordaram as cores primárias da luz, e na segunda aplicação esse número aumentou para 67%; na mistura de luzes coloridas percebemos um aumento, de 26% na primeira aplicação para 52% na segunda; e na composição da luz branca também, aumentando de 28% na primeira aplicação para 52% na segunda.

Nos exemplares de Mapas Conceituais a seguir, apresentamos uma análise dos mapas do Conjunto IIB juntamente com o avanço apresentado pelo aluno comparando-os com os mapas do Conjunto IB:

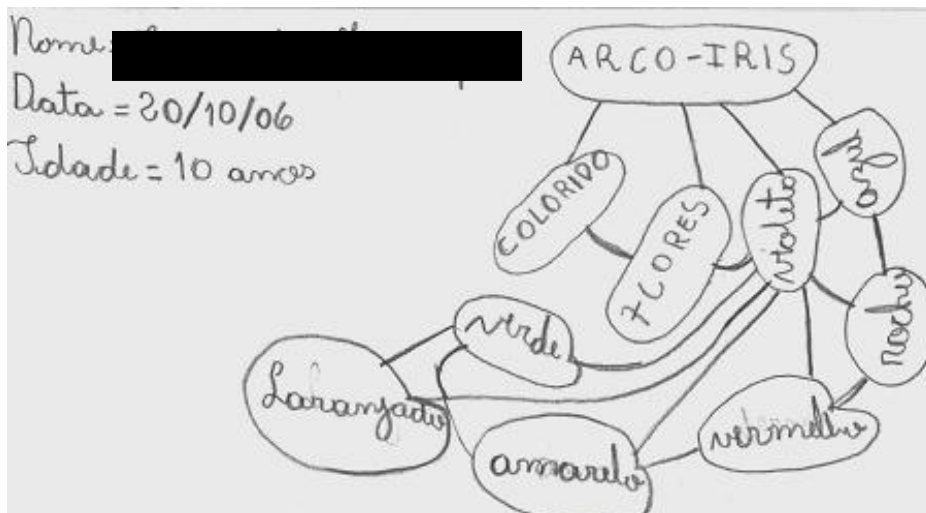


Figura 74 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno M da 4ª série do Ensino Fundamental

No mapa da Figura 75, observamos que o aluno abordou somente os conceitos de cores, cores primárias e mistura de cores. Entretanto esses conceitos não aparecem organizados, com níveis de hierarquização definidos e ligações válidas entre os conceitos. Essa construção não caracteriza um Mapa Conceitual. Se compararmos com o mapa elaborado antes das atividades (Figura 74), percebemos que o aluno agregou algumas informações, como as cores primárias, mas não conseguiu estruturar essa nova informação. Na análise que realizamos, encontramos apenas 5% de mapas que não apresentaram evolução após a seqüência de atividades. Em relação à primeira aplicação, esse valor se manteve estável, pois encontramos também poucos mapas com essas características (7%).

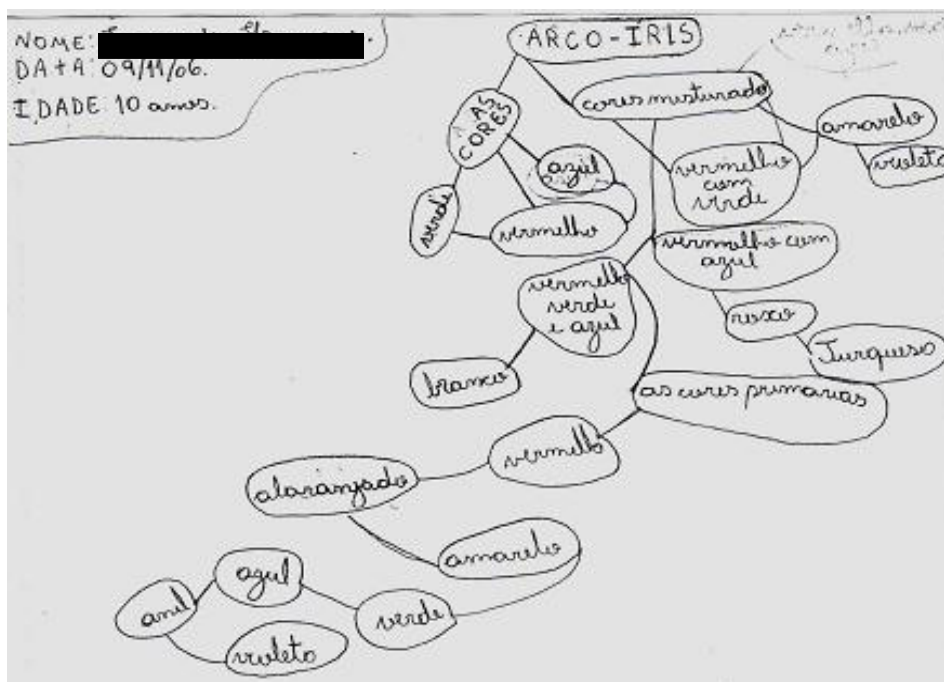


Figura 75 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno M da 4ª série do Ensino Fundamental

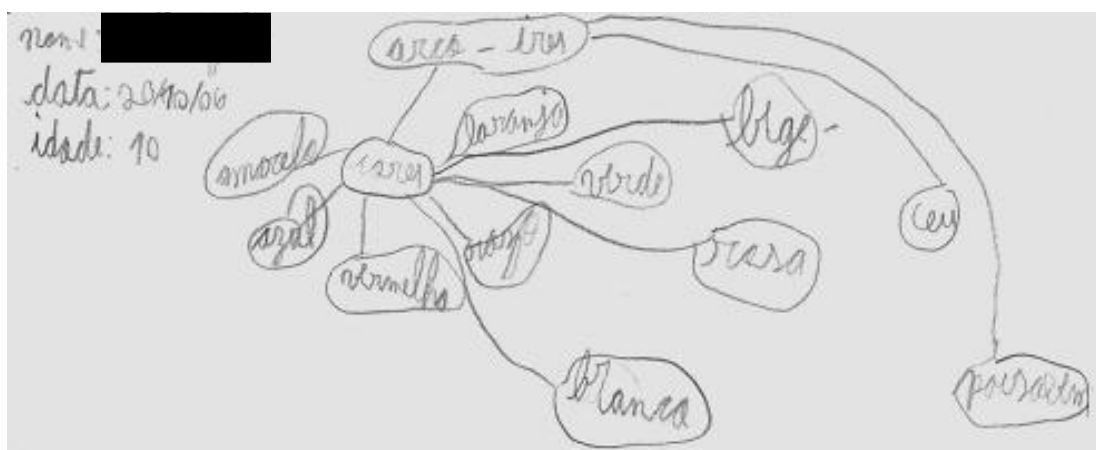


Figura 76 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno N da 4ª série do Ensino Fundamental

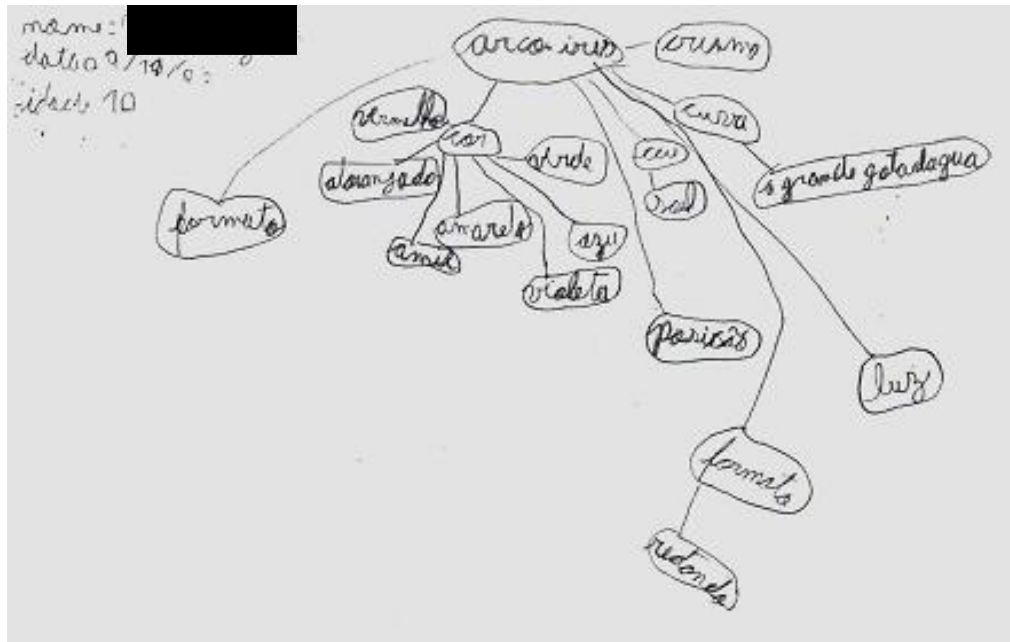


Figura 77 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno N da 4ª série do Ensino Fundamental

Nesse Mapa Conceitual (Figura 77) o aluno organizou o conceito de cor, com dois níveis hierárquicos e ligações válidas entre o conceito e as cores que compõe o Arco-Íris. Em algumas outras informações, ele apresentou algumas ligações válidas, como no formato “redondo” do Arco-Íris. Entretanto, alguns conceitos foram apenas citados, sem uma organização adequada. Observando o mapa elaborado por este mesmo aluno antes das atividades (Figura 76), notamos que ele agregou algumas informações novas, mas ainda precisa avançar na organização das informações. Seleccionamos aproximadamente 11% de mapas com estas características, ou seja, com o conceito de cores bem organizados e algumas informações novas que não apresentaram uma organização adequada. Na análise dos mapas da primeira aplicação, encontramos 31% de mapas com essas características. Houve um avanço significativo na elaboração dos mapas após a seqüência das atividades.

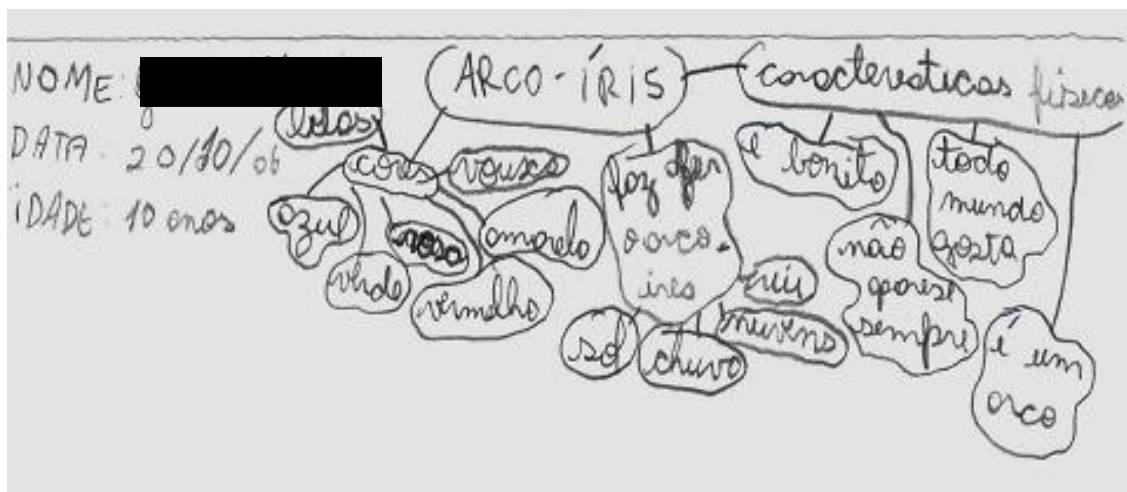


Figura 78 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno O da 4ª série do Ensino Fundamental

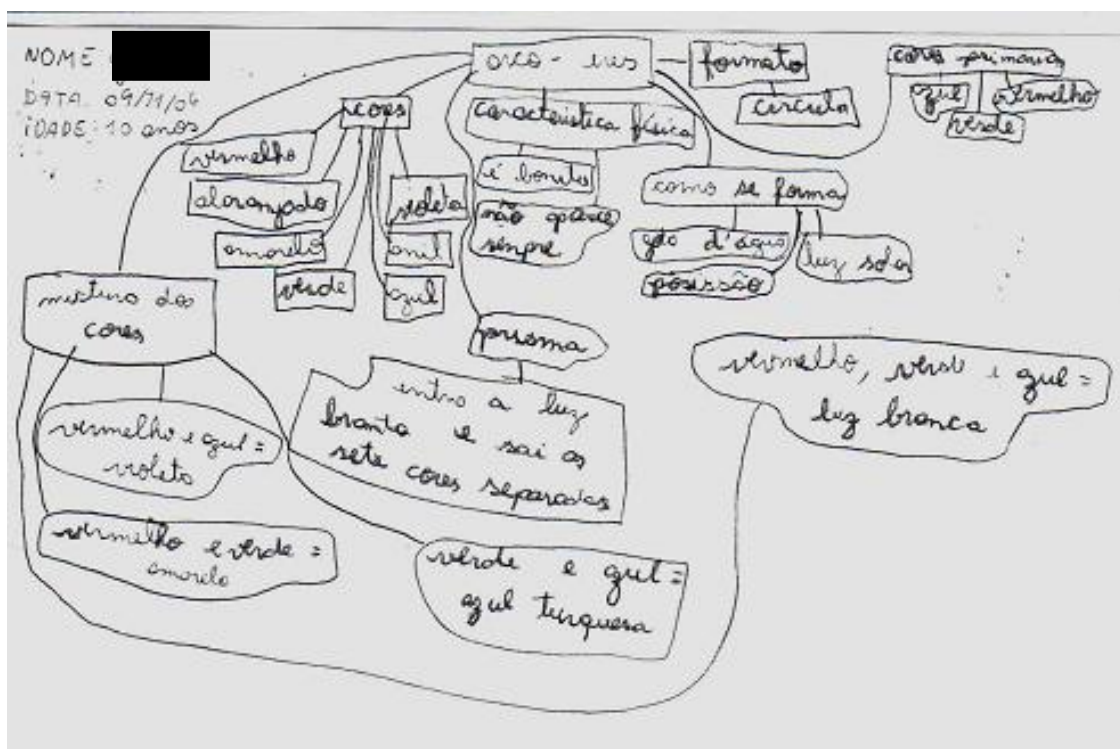


Figura 79 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno O da 4ª série do Ensino Fundamental

O mapa da Figura 79 apresenta quase todos os conceitos desenvolvidos durante as atividades. As informações estão claras, hierarquizadas em mais de um nível e as ligações são válidas, demonstrando a diferenciação

progressiva feita pela criança. Ao observarmos o mapa feito antes das atividades (Figura 78), percebemos que a criança já apresentava uma boa organização, entretanto, a quantidade de conceitos científicos apresentados após as atividades aumentou consideravelmente. Em nossa análise, encontramos aproximadamente 64% de mapas elaborados adequadamente e com vários conceitos abordados como o exemplar. Na primeira aplicação, 38% dos mapas apresentaram essas características. Consideramos que houve um avanço significativo em relação à primeira aplicação.

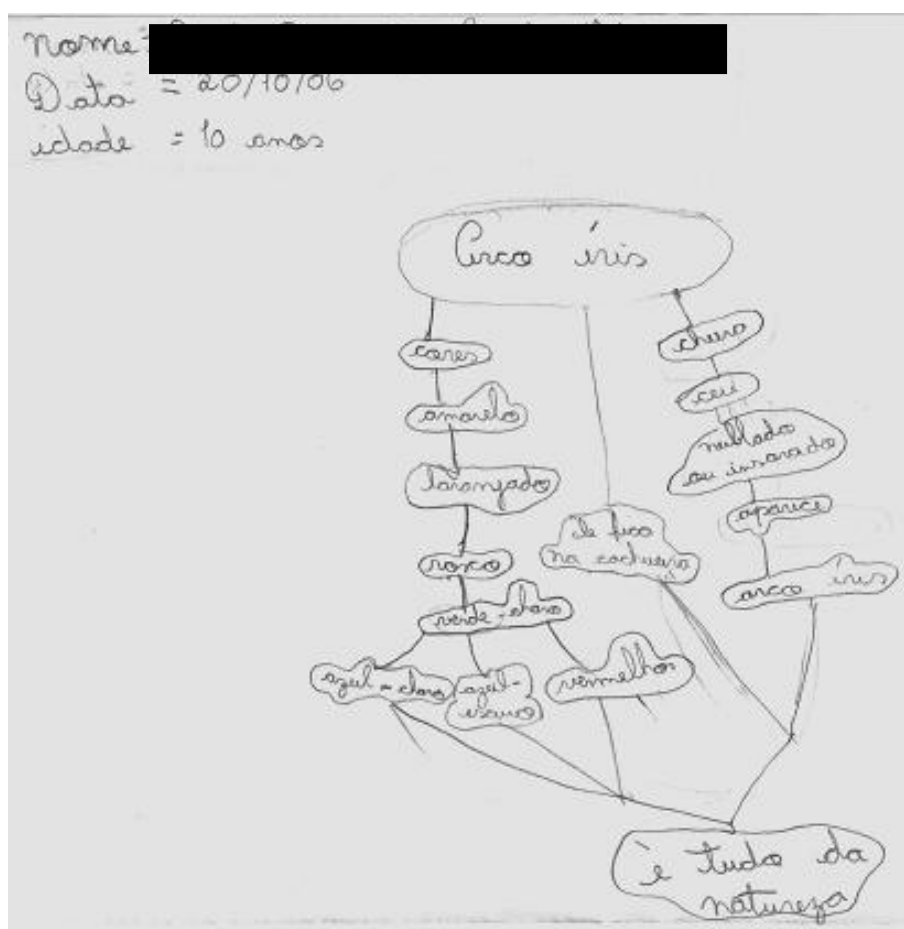


Figura 80 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, antes da seqüência de atividades, construído pelo aluno P da 4ª série do Ensino Fundamental

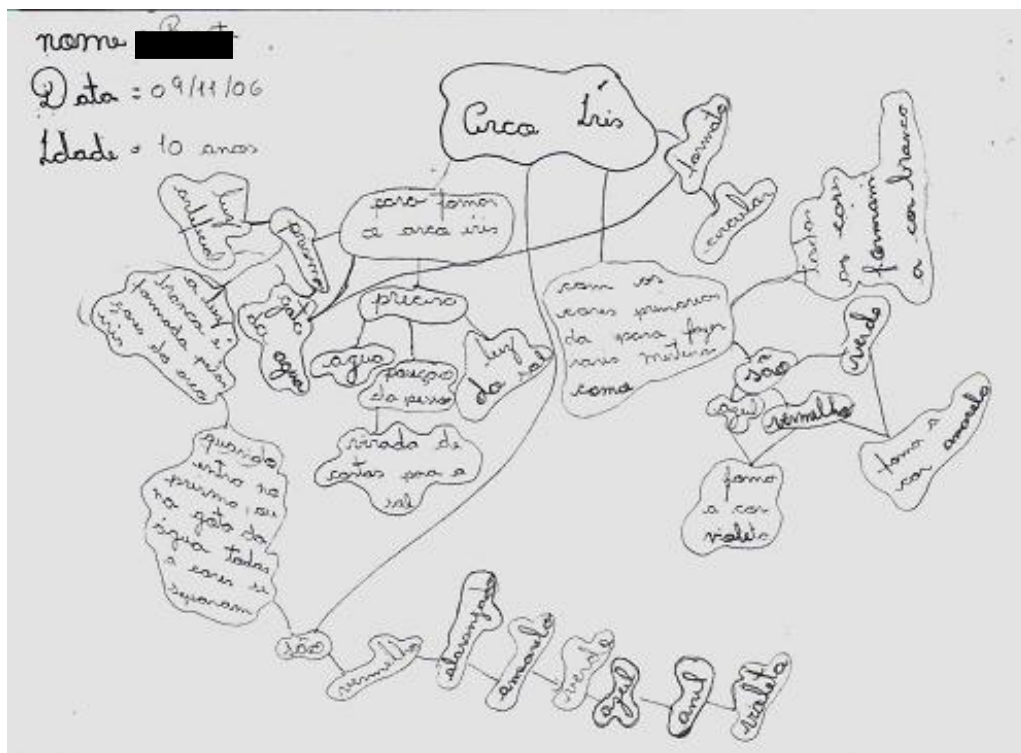


Figura 81 – Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, após a seqüência de atividades, construído pelo aluno *P* da 4ª série do Ensino Fundamental

Na elaboração do mapa da Figura 81, percebemos que o estudante abordou a maioria dos conceitos estudados nas atividades, demonstrou uma estrutura adequada, com níveis de organização e ligações válidas entre os conceitos, como na diferenciação progressiva dos elementos necessários para formar o Arco-Íris (água, luz solar e posição do observador de costas para o Sol). Neste mapa, o estudante também realizou ligações cruzadas, como nas cores que se formam com a passagem da luz no prisma e na gota d'água que são as mesmas que aparecem no Arco-Íris e o formato circular relacionado com a gota d'água. No mapa que o estudante construiu antes das atividades (Figura 80), não percebemos essas características, aliás, as informações estão confusas e não há ligações válidas entre elas. Vinte por cento dos mapas apresentaram essas características: níveis de hierarquização e ligações válidas indicando a diferenciação progressiva e ligações cruzadas e criativas entre os conceitos indicando reconciliação integrativa. Na primeira aplicação, encontramos 24% de mapas semelhantes a estes.

*CAPÍTULO CINCO:
CONSIDERAÇÕES FINAIS*

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados obtidos da nossa investigação, bem como de todo o processo envolvido na construção da abordagem histórico-pedagógica no Ensino de Ciências para as séries iniciais do Ensino Fundamental, consideramos que a criação dessa seqüência de atividades empíricas e reflexivas para a compreensão da Física envolvida no fenômeno do Arco-Íris mostrou-se bastante fértil, pois envolveu vários aspectos teórico-metodológicos e de conteúdo da Física.

A inovação metodológica apresentada por nós reitera a interface entre os referenciais da Alfabetização Científica, das contribuições da História da Ciência para o ensino de Ciências e da busca por uma Aprendizagem Significativa que respeite a construção do conhecimento pelo aluno. Assim, compreendemos que a elaboração de uma proposta metodológica que não atenda aos resultados das atuais pesquisas em Ensino de Ciências não colabora para os avanços nessa área.

A estrutura das atividades obedece às pesquisas a respeito da construção de conhecimento físico por crianças, como já discutidas anteriormente. A necessidade da *ação sobre os objetos* é satisfeita, uma vez que recorremos a atividades experimentais, que auxiliam o aluno na ação e na reflexão a respeito do que está sendo observado.

Os elementos histórico-epistemológicos analisados e escolhidos dos exemplares por nós selecionados foram incorporados na estruturação das atividades, de forma que a seqüência Histórica do Arco-Íris contribuísse para a compreensão dos conceitos. A primeira atividade de observação de um Arco-Íris, formado a partir do esguicho de água com a mangueira, representa o primeiro tipo de observação do fenômeno no decorrer da história. Alguns elementos epistemológicos foram discutidos nessa atividade, como as posições do observador e do Sol e as cores que compõe o Arco-Íris. Percebemos que os alunos não identificaram as sete cores que compõe o Arco-Íris⁷, como faziam os pensadores

⁷ Esclarecemos que as sete cores do Arco-Íris é uma convenção que foi estabelecida por Newton. Existem discussões a respeito desse número de cores. Entretanto, não era nosso objetivo entrar nessa discussão. Assim, optamos pelas sete cores convencionais.

mais antigos, como Aristóteles, Al Qarafy, Roger Bacon, entre outros, que identificavam quatro ou cinco cores somente. Entretanto tiveram facilidade em perceber o posicionamento adequado para a apreciação do fenômeno.

A atividade de classificação de materiais que permitem a passagem da luz ou refletem a luz, tem uma importância fundamental para a compreensão das outras subseqüentes. Os elementos conceituais abordados nessa atividade (reflexão e refração) remetem as análises feitas a partir da observação de propriedades da luz realizadas por diversos pensadores durante a história, como já argumentamos anteriormente. Percebemos que os alunos facilmente compreendem a reflexão, porém não apresentam o mesmo entendimento para a idéia da refração, referindo-se a ela como “aumento” ou “modificação” da luz ao passar de um meio para outro, ou ainda, para ambos os fenômenos eles utilizavam a expressão “reflete”. Esse fato foi também percebido em nossa reconstrução histórica do Arco-Íris e também nos estudos gerais da óptica, uma vez que a lei correta da refração foi elaborada muito posteriormente à da reflexão e a idéia da reflexão como elemento crucial na formação do Arco-Íris perdurou por quase dois mil anos.

Na atividade da “gota d’água”, os alunos puderam controlar experimentalmente a formação de um Arco-Íris, identificando alguns elementos necessários para a sua formação, como a passagem da luz pelo interior da gota; a reflexão existente também no interior da gota, que resulta no retorno da luz e não na sua passagem por ela; o formato circular do arco e a observação do fenômeno em cada gota de chuva. Entretanto, como já salientamos na análise dessa atividade, os alunos tiveram dificuldades na compreensão de que primeiro a luz “entra” na gota (mudança de meio) causando sua dispersão e, conseqüentemente, o surgimento do espectro, depois ocorre a reflexão na parede posterior da gota. Os alunos, quando questionados, indicavam que a reflexão ocorria na face anterior da gota, ou seja, antes da refração. Esse fato também pôde ser constatado no desenvolvimento histórico do Arco-Íris, uma vez que os experimentos com globos cheios d’água já eram utilizados por muitos estudiosos, entretanto, a constatação de que era necessária a refração da luz veio com Grosseteste (1175-1253), e a percepção de que a reflexão ocorre na parte interior da gota, com Teodorico de Freiberg (aproximadamente em 1304), como já abordamos na nossa reconstrução histórica.

Com relação à atividade da decomposição da luz ao passar por um prisma de vidro, a observação da formação do espectro ao passar de um meio para

o outro é reforçada e a observação de que a ordem das cores é sempre a mesma constituem os elementos conceituais importantes dessa atividade. Como argumentamos anteriormente, essa atividade deve ser realizada antes da atividade da “gota d’água”, pois é necessário que a criança compreenda primeiramente o que ocorre com a luz branca ao passar de um meio para outro (decomposição da luz) para depois relacionar este fenômeno com a experiência da “gota d’água”. Ou seja, a atividade da “gota d’água”, além da decomposição da luz estudada no prisma, envolve também outros elementos, como a reflexão no interior da gota.

Durante a aplicação da primeira seqüência de atividades, percebemos que os alunos apresentaram algumas dificuldades em compreender que era necessário que a luz “entrasse” na gota para haver a formação das cores, e somente depois é que ocorreria a reflexão. Na segunda aplicação, os alunos indicavam com mais facilidade que a luz atravessava a gota formando as cores, e a reflexão ocorreria depois disso. Em relação ao surgimento das cores sempre na mesma ordem, foi Newton (1642-1727) quem relacionou a ordem das cores ao seu grau de refringência, assim como a formação da luz branca pela soma das demais cores. Foram essas constatações que fundamentaram a nossa seqüência de atividades. Portanto, consideramos que a ordem inversa dessas duas atividades apresenta uma maior coerência entre os componentes histórico-epistemológicos por nós investigados, pois não era nossa intenção, dada a fase de desenvolvimento cognitivo dos alunos, abordarmos as questões de graus de refringência. Em relação à formação da luz branca, a atividade da soma das luzes permitiria essa observação. Como já argumentamos, os experimentos com prismas eram também muito utilizados antes de Newton.

Ao realizarmos a segunda aplicação, em que a ordem dessas duas atividades é alterada, percebemos que os alunos apresentaram menos dificuldades na compreensão da decomposição da luz branca ao passar pelo vidro ou pela água e na constatação de que a luz branca é formada por essas cores.

A última atividade, muito conhecida em livros de Física, permitiu a observação de alguns elementos conceituais desconhecidos por nossos alunos, como perceber as cores primárias da luz, a formação das secundárias a partir da soma das primárias, a formação da luz branca e a observação das cores de alguns objetos sob as diferentes cores da luz. Consideramos que essa atividade contribui para uma compreensão mais ampla dos fenômenos relacionados com a luz e a cor,

como as cores do Arco-Íris sendo derivadas de misturas das cores primárias, a composição da luz branca num processo inverso ao da decomposição e a necessidade de todas essas cores para a observação do mundo em que vivemos. Argumentamos assim, que essa atividade proporciona uma reconciliação integrativa entre todos os elementos abordados durante as atividades.

Na análise da segunda aplicação, percebemos que a ordem inversa das atividades proporcionou resultados mais consistentes em nossa pesquisa. Houve um aumento na quantidade de mapas que abordaram a composição da luz branca pelas cores espectrais. Esse fato foi muito significativo, uma vez que indica a reconciliação integrativa dos conceitos estudados, ou seja, após o aluno diferenciar progressivamente os conceitos relacionados à decomposição da luz no Arco-Íris, no prisma e na gota d'água, relacionaram esse conhecimento com a situação inversa. Percebemos também que os Mapas Conceituais elaborados após a segunda aplicação evidenciaram uma maior compreensão por parte dos alunos, uma vez que uma maior quantidade deles elaborou mapas com mais informações e melhor estruturados em relação à primeira aplicação.

Consideramos que a seqüência histórica do entendimento do Arco-Íris mostrou-se relevante para a compreensão dos conceitos. É importante perceber que nem sempre o experimento mais conhecido ou o cientista mais renomado contribuem para uma seqüência histórico-epistemológica de um determinado conceito, ainda mais quando trabalhamos com crianças, que requerem uma adequação didática do conteúdo ao seu nível de desenvolvimento cognitivo.

Assim, concluímos que os pressupostos que identificamos como os alicerces para a aplicação adequada de uma abordagem histórico-pedagógica nesse nível de ensino, mostraram-se bastante frutíferos, pois nos permitiram identificar as concepções prévias dos alunos a respeito do fenômeno e, conseqüentemente, a identificação de um importante *subsunçor* que nos mostrou o ponto de partida para a elaboração das atividades, promovendo a possibilidade de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa entre os conceitos.

A fase de desenvolvimento cognitivo da criança, um dos nossos pressupostos, delimitou as possibilidades de avanços que poderíamos obter com os alunos, uma vez que alguns conceitos mais específicos exigem um grau de abstração não adequado à faixa etária dos nossos alunos, e auxiliou na escolha de exemplares que a História da Ciência nos forneceu. Com relação a isso, os estudos

do Arco-Íris sistematizados por Descartes, como referidos na nossa reconstrução histórica, são exemplares que contribuem para a explicação do fenômeno, porém não são adequados para a nossa realidade, uma vez que sua metodologia é complexa para ser abordada com crianças.

A Alfabetização Científica nas séries iniciais do Ensino Fundamental preocupa-se em abordar conhecimentos científicos que permitam ao aluno ler e compreender o universo em que vive, associar esses conhecimentos com situações reais de sua vida e desenvolver uma atitude crítica e reflexiva frente às constantes mudanças da nossa sociedade. Em função disso, consideramos que o exemplar histórico do Arco-Íris foi adequadamente escolhido por ser um fenômeno observável no cotidiano do aluno e por colaborar para uma maior compreensão do mundo em que ele vive, por meio da observação e análise de alguns elementos teórico-conceituais abordados durante as atividades.

Embora ele seja predominantemente físico, o estudo do Arco-Íris apresenta outras potencialidades de ligação interdisciplinar, como por exemplo, com a Biologia e as Artes, de forma que essa seqüência pode ser aproveitada para outros conceitos, não sendo particular desse fenômeno. Para tanto, é importante que os referenciais apresentados como pressupostos dessa abordagem sejam sempre respeitados. Nesse sentido, argumentamos que atingimos os resultados necessários de articulação, integração e adequação dos exemplares históricos com os referenciais de psico-aprendizagem e didática das Ciências.

Os dados empíricos, coletados por meio da elaboração dos Mapas Conceituais antes e após a seqüência de atividades, revelaram o significativo avanço na aprendizagem dos conceitos físicos abordados por essa seqüência. Esse fato ficou evidente nela comparação entre os Mapas Conceituais elaborados por essas crianças. Os resultados foram surpreendentes e superou as nossas expectativas.

Como um futuro desdobramento e continuidade da nossa investigação, faremos uma análise entre os dados que podem ser retirados dos relatórios das atividades e os dados dos Mapas Conceituais. Consideramos esta investigação importante pois o preenchimento do relatório ocorre imediatamente após a realização e discussão das atividades, e a elaboração de Mapas Conceituais ocorre após todas as atividades. Portanto, acreditamos poder identificar quais conhecimentos foram mais significativos para os alunos. Realizaremos também

novas aplicações, com as adequações necessárias nos relatórios que não pudemos realizar nesse momento. Nessas aplicações, trabalharemos com alunos no início do ano letivo, para podermos retornar no final do ano e solicitar um outro Mapa Conceitual a respeito do Arco-Íris, para que possamos observar se a aprendizagem dos conceitos manteve uma estabilidade e se houve novas correlações, que é também um indício de Aprendizagem Significativa.

Nessa investigação, percebemos o alcance que a reconstrução histórica pode ter em relação à construção do conhecimento, particularmente em crianças. Nossa seqüência histórico-epistemológica analisou alguns elementos que constituem um eixo heurístico para a compreensão do Arco-Íris, em que os conhecimentos necessários para a humanidade avançar na explicação do fenômeno foram retomados na seqüência de atividades.

Os pensadores observavam o fenômeno quando este se formava espontaneamente ou com algum tipo de pulverização da água sob a luz solar. A partir dessas observações, algumas relações importantes foram sendo estabelecidas, como a necessidade de luz e água para a formação do fenômeno; a posição em que o observador deve estar; quais cores eram observadas e suas relações com o conhecimento que havia na época (cada pensador procurou justificar o número de cores de acordo com alguma relação existente em sua época). Esse tipo de observação foi simulada com a atividade do esguicho de água com a mangueira, e os alunos tiveram a oportunidade de observar esses elementos e estabelecer as relações.

O estudo da reflexão da luz já era realizado há muito tempo pelos pensadores antigos e associado como elemento necessário à formação do fenômeno. A refração da luz ao passar de um meio para o outro, também necessária para a formação do Arco-Íris, demorou um pouco mais para ser associada à sua explicação. Com a atividade de classificação de materiais, os alunos puderam observar o comportamento da luz ao incidir sobre vários tipos de materiais. Perceber que alguns materiais refletem a luz e outros permitem que ela passe são conceitos essenciais para a compreensão do fenômeno. Assim, como no processo histórico, a compreensão do Arco-Íris não foi possível sem esses dois elementos, para os nossos alunos desenvolver as noções de reflexão e refração foi imprescindível.

A análise da decomposição da luz ao passar por prismas de vidro, também realizada por muitos pensadores, possibilitou aos alunos perceberem que

ocorria alguma coisa com a luz branca , quando passava de um meio para outro, exibindo as cores espectrais. A composição da luz branca pela adição das cores da luz, sistematizada por Newton, foi desenvolvida na última experiência, permitindo a reconciliação dos elementos estudados.

Assim, a seqüência de atividades didáticas que elaboramos nessa investigação aproveita os principais elementos necessários ao desenvolvimento histórico do Arco-Íris, corroborando a pertinência e a relevância do uso da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J.; AUTH, M. Ciência e Tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. **Ciência & Educação**, Bauru, vol. 7, nº 1, p. 15-27, 2001.

AUSUBEL, D. P. **Psicologia educativa: un punto de vista cognoscitivo**. México: Editorial Trillas, 1978.

AUSUBEL, D., NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BASSALO, J. M. F. A crônica da óptica clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, vol. 3, nº 3, p. 138-159, dezembro, 1986.

BATISTA, I. L. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciência & Educação**, Bauru, vol. 10, nº 3, p. 461-476, 2004.

BATTISTI, C. A. **O método de análise em Descartes**: da resolução de problemas à constituição do sistema do conhecimento. Cascavel: Edunioeste, 2002.

BOYER, C. B. Refraction and the rainbow in antiquity. **Isis**, Chicago, vol. 47, nº 4, p. 383-386, dezembro, 1956.

BOYER, C. B. Robert Grosseteste on the rainbow. **Osiris**, Chicago, vol. 11, p. 247-258, 1954.

BOYER, C. B. **The rainbow**: from myth to mathematics. New York: Thomas Yoseloff, 1959.

BRASIL. Parâmetros curriculares nacionais. MEC, 1997.

CAJAS, F. Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, vol. 19, nº 2, p. 243-254, junho, 2001.

CARVALHO, A. M., VANNUCCHI, A. I., BARROS, M. A., GONÇALVES, M. E.; REY, R. C. **Ciência no ensino fundamental**: o conhecimento físico. São Paulo, Scipione, 1998.

DELIZOICOV, D.; LORENZETTI, L. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio**, Rio de Janeiro, vol. 3, nº 1, p. 37-50, 2001.

DESCARTES, R. **Oeuvres de Descartes**. Paris: Vrin, 1996. vol. 11. Publiées par Charles Adam e Paul Tannery.

DIAS, P. M. C. A (Im) pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 23, nº 2, p. 226-235, junho, 2001.

FEHER, E.; MEYER, K. R. Children's conceptions of color. **Journal of Research in Science Teaching**. New York, vol. 29, nº 5, p. 505-520, 1992.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica: Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencia**. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.

FURIÓ, C.; VILCHES, A.; GUIASOLA, J.; ROMO, V. Finalidades de la enseñanza de las ciencia em la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, vol. 19, nº 3, p. 365-376, novembro, 2001.

GALILI, I.; HAZAN, A. Experts' views on using history and philosophy of science in the pratice of physics instruction. **Science & Education**, Dordrecht, vol. 10, nº 4, p. 345-367, julho, 2001.

GIL PÉREZ, D. El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madri, nº 18, p. 69-90, setembro/dezembro, 1998.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, vol.35, nº 3, p. 20-29, 1995.

GONZÁLES GARCIA, F. M. Los mapas conceptuales de J. D. Novak como instrumentos para la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, vol. 10, nº 2, p. 148-158, junho, 1992.

GURUCEAGA, A.; GONZÁLEZ GARCÍA, F. Aprendizaje significativo y educación ambiental: análisis de los resultados de uma prática fundamentada teoricamente. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, vol. 22, nº 1, p. 115-136, março, 2004.

HUYGENS, C. Tratado sobre a Luz. Tradução: MARTINS, Roberto de Andrade. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, suplemento 4, p. 1- 99, 1986.

KAMII, C.; DEVRIES, R. **O conhecimento físico na educação pré-escolar: implicações da teoria de Piaget**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1985.

LAKATOS, I. La historia de la ciência y sus reconstrucciones racionales. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **La crítica y el desarrollo del conocimiento**. Espanha: Barcelo, 1975, p. 455-509.

LINDBERG, D. C. Roger Bacon's theory of the rainbow: progress or regress? **Isis**, Chicago, vol. 57, nº 2, p. 235-248, 1966.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACH, E. **The principles of physical optics: historical and philosophical treatment**. New York: Dover Publications, 1926.

MARTINS, H. H. S. Metodologia qualitativa de pesquisa. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, vol. 30, nº 2, p. 289-300, maio/agosto, 2004.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, vol. 12, nº 3, p. 164-214, dezembro, 1995.

MATTHEWS, M. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Mapas conceituais: instrumentos didáticos, de avaliação e de análise de currículo**. São Paulo: Ed. Moraes, 1987.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Ed. Moraes, 1982.

NEWTON, I. Nova Teoria sobre Luz e Cores. Tradução: SILVA, C. C. & MARTINS, R. A. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 18, nº 4, p. 313- 327, dez. 1996.

NEWTON, I. **Óptica**. Tradução: ASSIS, André Koch Torres. São Paulo: EDUSP, 2002.

NOVAK, J.; GOWIN, D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.

OCKENDEN, R. E. Marco Antonio de Dominis and his explanation of the rainbow. **Isis**, Chicago, vol. 26, nº 1, p. 40-49, dezembro, 1936.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (org.). **Ensino de física** – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

PIAGET, J.; GARCÍA, R. **Psicogénesis e história de la ciencia**. México: Siglo Veintiuno Editores, 1989.

SAYILI, A. M. Al Qarafi and his explanation of the rainbow. **Isis**, Chicago, vol. 32, nº 1, p. 16-26, julho, 1940.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, Bauru, vol. 9, nº 1, p. 53-65, 2003.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Against a negative image of science: history of science and the teaching of physics and chemistry. **Science & Education**, Dordrecht, vol. 12, nº 7, p. 703-717, outubro, 2003.

ANEXOS

ANEXO A – Relatório da atividade 2

ATIVIDADE 2

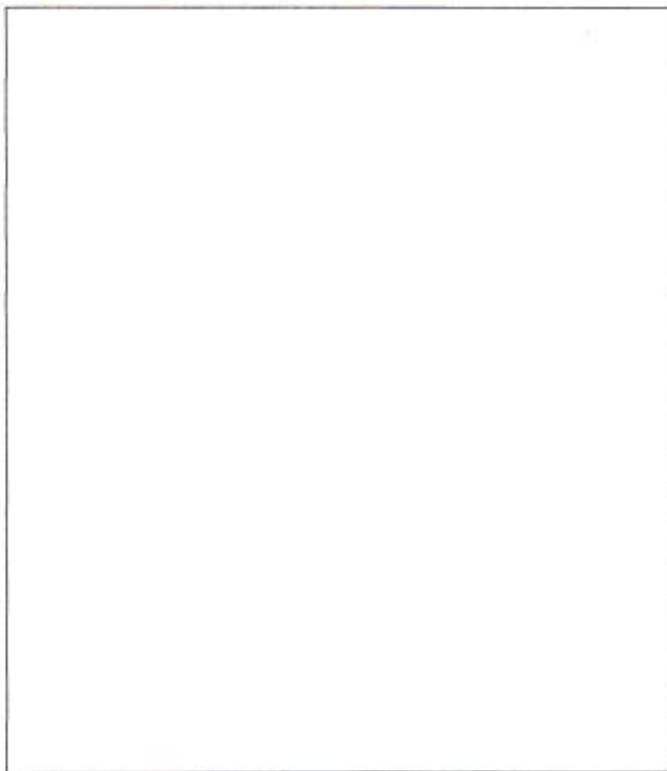
Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:



Nesse espaço, você pode escrever e desenhar a respeito do que você mais gostou na realização dessa atividade:



Nome: _____

Data: _____

Idade: _____

ANEXO B – Relatório da atividade 2

ATIVIDADE 2

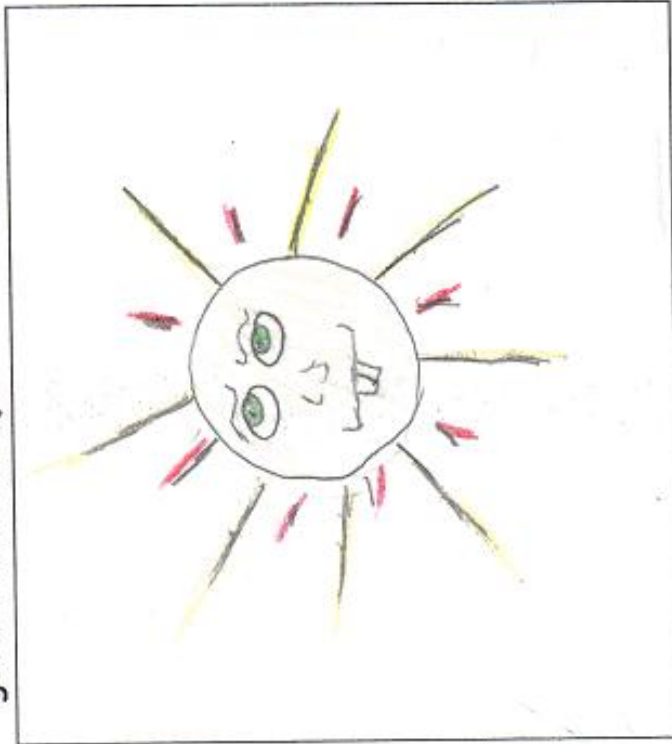
Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

vermelho
verde
amarelo

Nesse espaço, você pode escrever e desenhar a respeito do que você mais gostou na realização dessa atividade:



Nome: _____

Data: 11/06/06

Idade: 11

ANEXO C – Relatório da atividade 2

ATIVIDADE 2

Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

laranja
 amarelo
 verde
 azul

Nesse espaço, você pode escrever e desenhar a respeito do que você mais gostou na realização dessa atividade:

Eu gostei quando estava formando o Arco-íris.
 Para ele forma a gente teve que ficar de costas para o sol e a gente jogou água para ele se formar.

Nome: _____

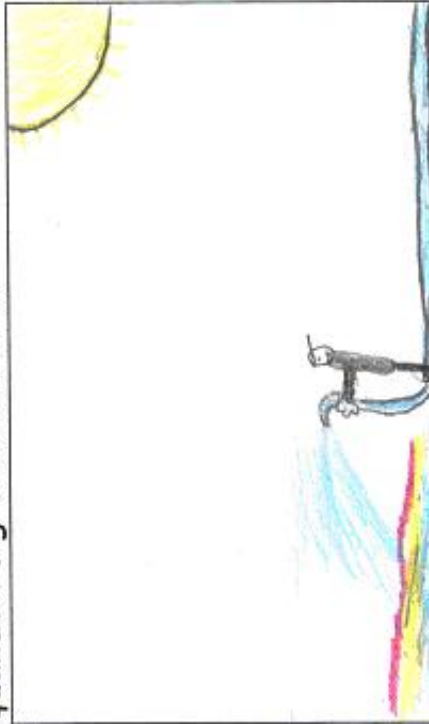
Data: 02/06/2016

Idade: 9 anos

ANEXO D – Relatório da atividade 2

ATIVIDADE 2

Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

VERMELHO
AMARELO
AZUL
VERDE
ROXO

Nesse espaço, você pode escrever e desenhar a respeito do que você mais gostou na realização dessa atividade:

Eu gostei muito quando o arco-íris apareceu no chão e também gostei de saber que tinha de ficar de cabeça para o sol para ver ele. Essa atividade é ótima.

Nome: _____

Data: 2 de junho de 2006

Idade: 10 anos

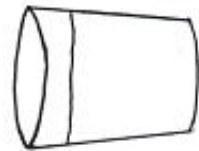
ANEXO E – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

Nome: _____

Data: _____

Idade: _____

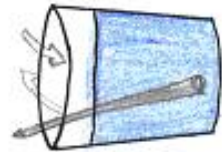
ANEXO F – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
vidro	acrilico	cd
acrilico		metal
		acrilico

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



porque fica como se
de quebrado

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

A gente tinha ficado em dúvida ficava tentando, mas depois a professora explicou, com como que era nos pegamos o lantano e ficamos mirando para o acrilico e depois o metal e o vidro e começamos a experimentar e percebemos que a água pega o lantano e figuras a espessa de acrilico e lapis dentro e não desce, algumas coisas desceram que o lapis ficou por fora mas o para dentro girou.

Nome: _____
 Data: 06/06/06
 Idade: 11 anos

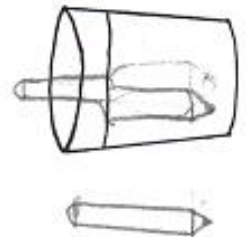
ANEXO G – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
acrílico	vidro	metal
vidro	acrílico	espelho
copo d'água	copo d'água	vid.

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Somente acontece porque a água reflete a luz.

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

A professora passou a trazer os materiais como o acrílico, o vidro, o copo d'água, o metal, o espelho, o vid e a lanterna. Começamos a fazer o trabalho e fomos começando a querer a fazer a experiência. Alguns que se acrílico, o vidro e o copo d'água permitem a passagem da luz, o metal, o espelho e o vid desentendem nada.

acrílico vidro e etc.

Nome: [Redacted]
 Data: 06/06/06
 Idade: 10 anos

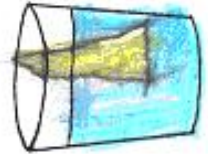
ANEXO H – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
espelho	vidro	acústica
água	metal	CD
		luzes

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

Nós formamos um grupo. Primeiro nós recebemos a lanterna depois os materiais, nós observamos com a lente. Tem a qual que permite a passagem da luz, acontece as duas coisas e devolvem a luz, os materiais chamam: CD, espelho, vidro, metal e acústica.

Nome: _____

Data: 06/06/2006

Idade: 10 anos.

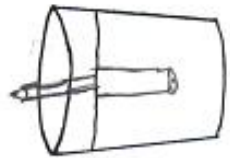
ANEXO I – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
acrílico	acrílico	espelho
vidro	vidro	metal
água		cd

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



isso acontece porque a água é mais espessa que o ar e isso faz a parte do fundo ficar maior!

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

A primeira experiência foi feita com o uso de lanternas de passage pelos, acrílicos, vidro, espelho, metal, CD alguns permitiram a passagem da luz outros passava e refletiam e outros só refletiam

ordem: vidro, acrílico, vidro, metal, CD

formata a passagem

Nome: _____

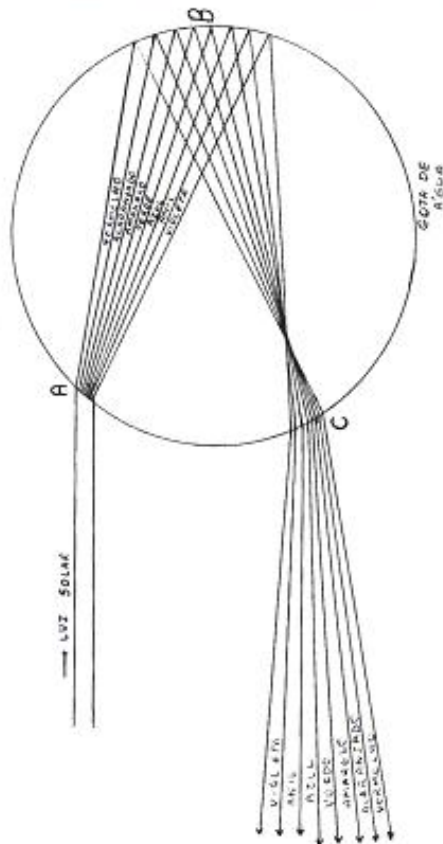
Data: 06/06/06

Idade: 9 anos

ANEXO J – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: _____

Ponto B: _____

Ponto C: _____

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

Aluno: _____

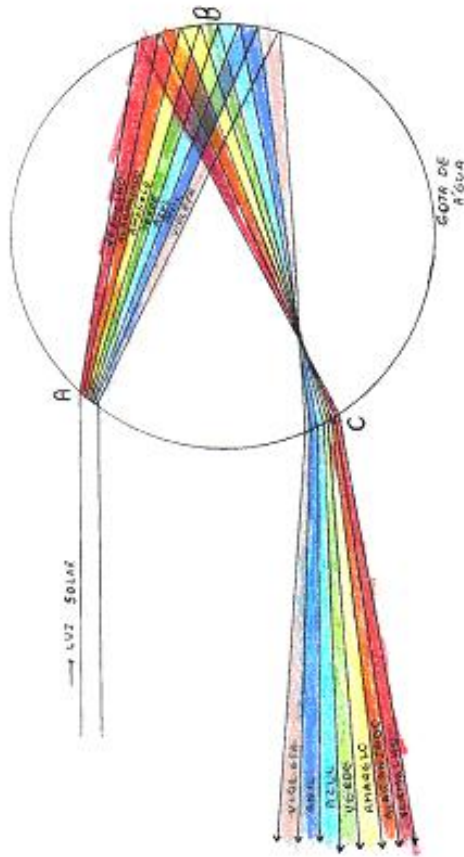
Data: _____

Idade: _____

ANEXO L – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: Ela entra na gota e

faz o arco-íris.

Ponto B: Ela volta.

Ponto C: Forma o arco-íris na saída da gota.

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

Nós demonstramos para entender por que as cores do arco-íris aparecem na gota de água, contemos de reages até que nós vemos o brilho e o amarelo e mais conseguimos formar o arco-íris com o mesmo aparelho, porém a luz branca, mas logo desaparece e daí fica o arco-íris. Então nós não conseguimos mais ficar o mesmo brilho, por isso é impossível que o Rodrigo conseguiu fazer o arco-íris.

DESENHO

Aluno: [Redacted]

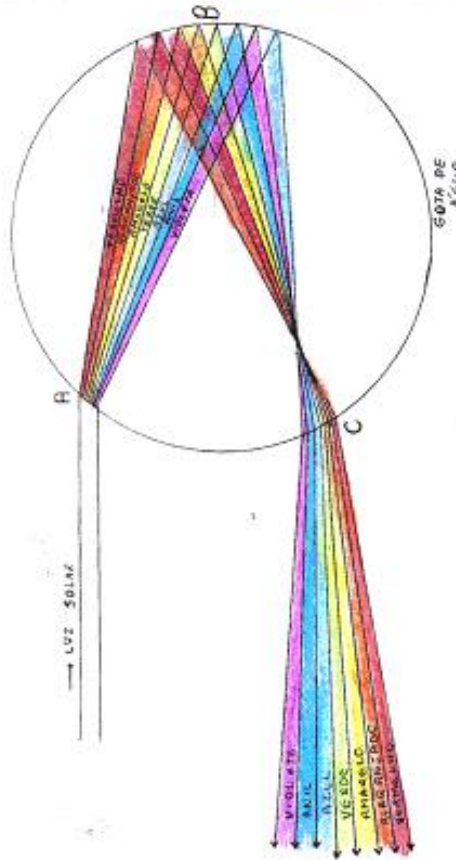
Data: 08/06/06

Idade: 10

ANEXO M – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: A luz solar bate na coroa de água.

Ponto B: As cores se invertem.

Ponto C: As cores ficam no quadrado.

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

nos alunos do 4º série colocamos um quadro com um furo no meio e arremedamos a luz do equipamento e colocamos a gota de água em frente da luz e formou o arco-íris.

Aluno: _____

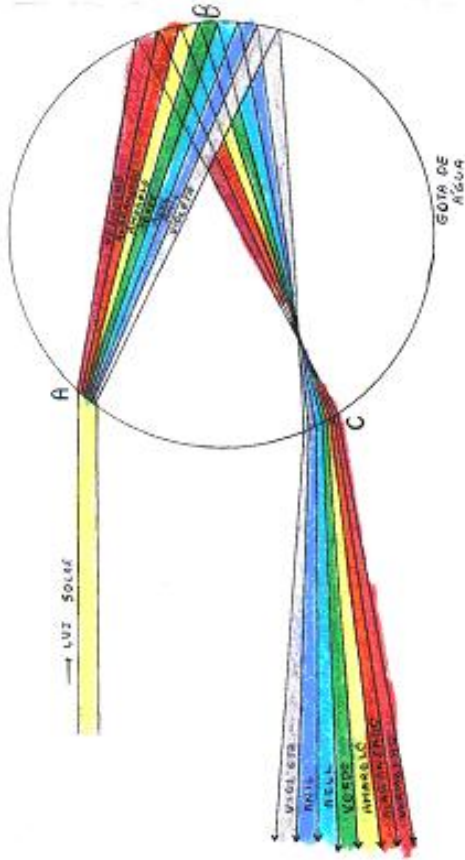
Data: 08/06/2006

Idade: 9 anos

ANEXO N – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

- Ponto A: Luz solar entra na gota d'água
- Ponto B: Depois da luz ao sair e voltar com as cores invertidas
- Ponto C: Sai as cores do arco-íris

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

Segui a experiência por uma das minhas amigas. Nós pegamos uma placa de madeira, uma fonte de luz e uma grande quantidade d'água. Nós pegamos a placa de madeira e fizemos da mesma maneira para colocar em pé. Pegamos a fonte de luz e colocamos atrás da madeira e a luz passou por um buracozinho que tinha. pegamos a gota d'água e fomos na frente do buracozinho e formou um arco-íris bem bonito.

Aluno: _____

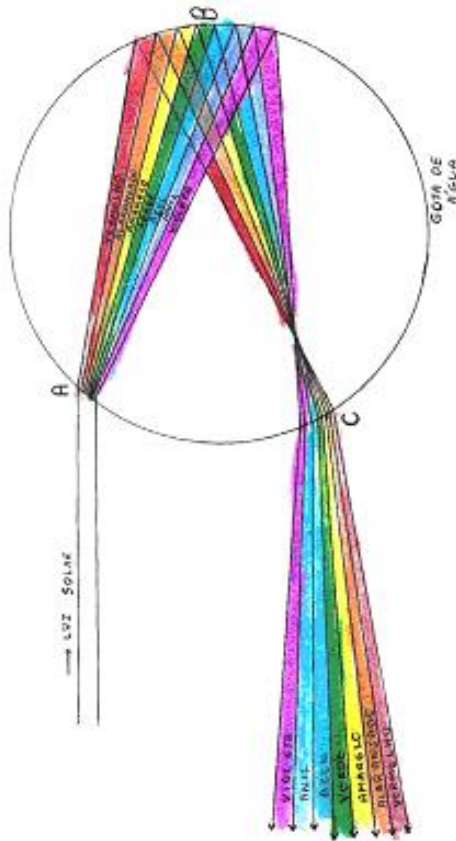
Data: 02/05/06

Idade: 10 anos

ANEXO O – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: Ela entra na gotinha

Ponto B: Ela reflete e volta

Ponto C: Ela se forma em arco íris

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

Bom no começo não conseguíamos ver nada e depois que colocamos a gota do água no fundo do luz conseguimos ver cada um teve sua hora de reagir, depois que conseguimos ver decidimos que os alunos estavam em uma forma estudando.

Aluno: [Redacted]

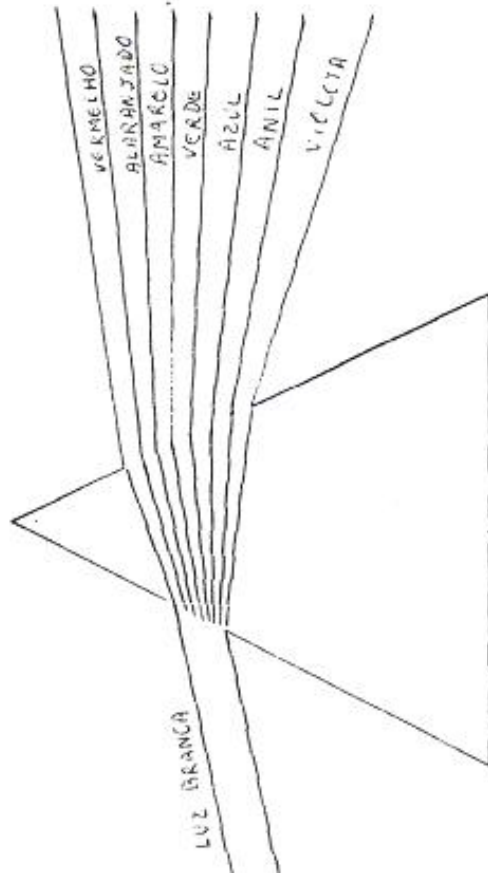
Data: 8/06/06

Idade: 10 Anos

ANEXO P – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

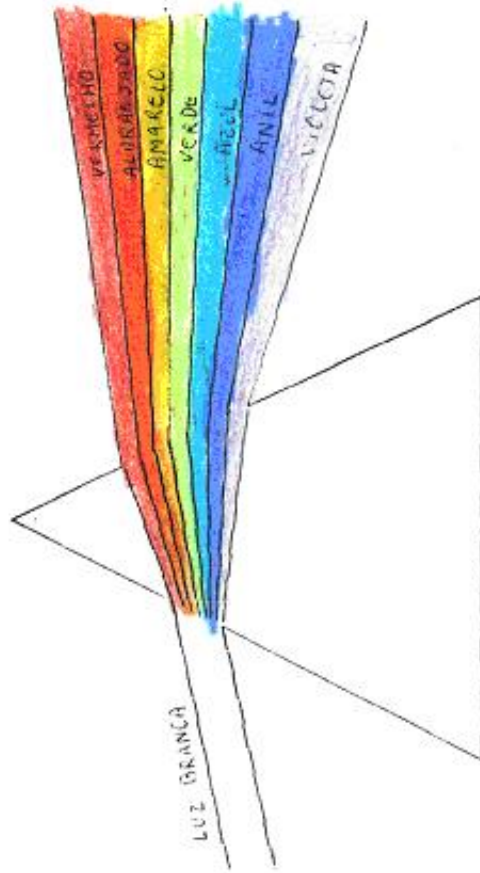
A large empty rectangular box intended for the student to describe their experience or draw a diagram.

Nome: _____
Data: _____
Idade: _____

ANEXO Q – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

Quando a luz branca passa pelo prisma ela se divide em sete cores que são vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A gente pegou a fonte de luz e sacudimos e a luz passou pelo vidro e a gente conseguiu fazer o arco-íris só no nosso colega mas depois a gente mudou a tábua e nós conseguimos fazer o arco-íris na tábua.
Hoje meu colega quis fazer uma fonte de luz.
Hoje foi o dia mais feliz.

Nome: _____

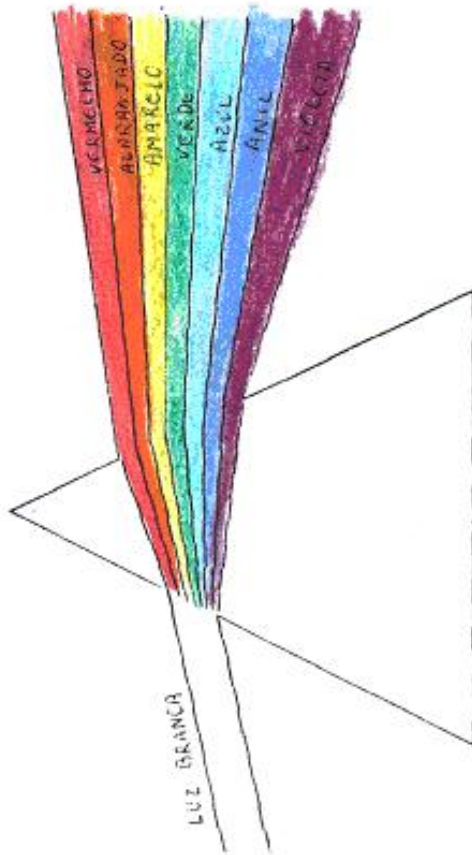
Data: 14/06/2016

Idade: 10 anos

ANEXO R – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

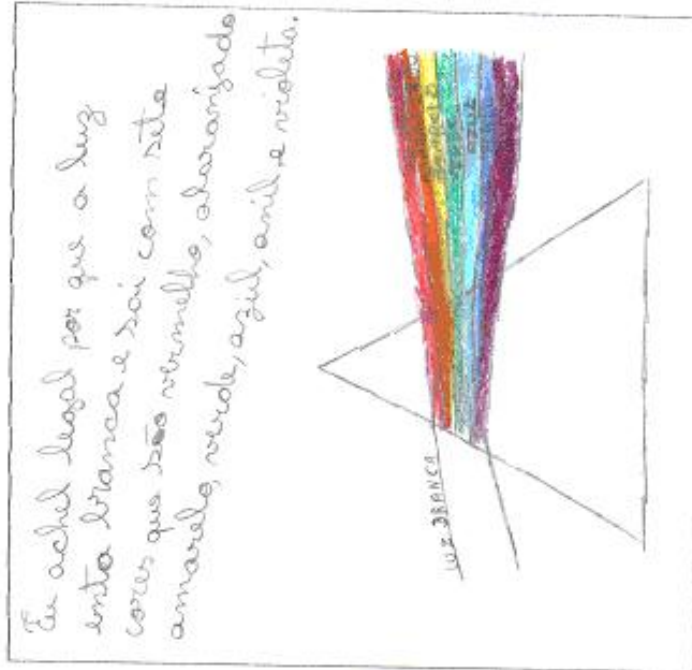
Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

A luz entra no prisma e sai com sete cores que são vermelho, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:



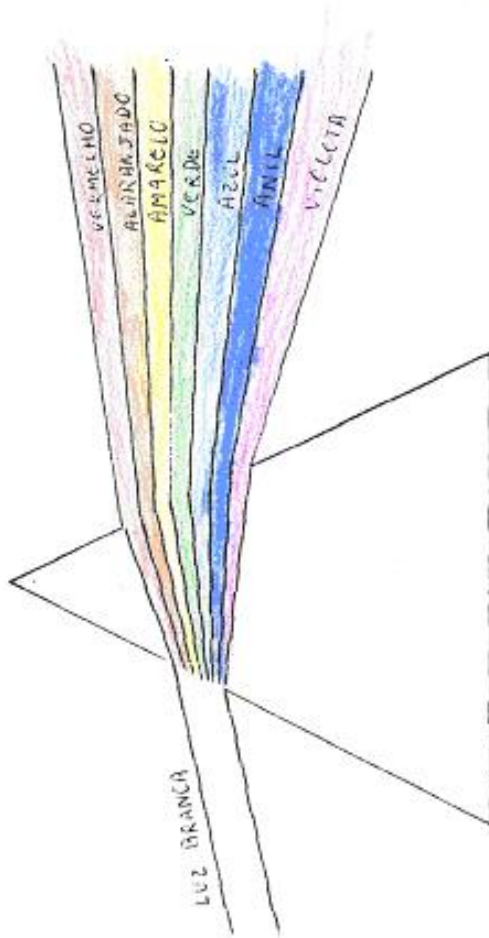
Eu achei legal por que a luz entra branca e sai com sete cores que são vermelho, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Nome: [REDACTED]
 Data: 14/06/06
 Idade: 12 anos

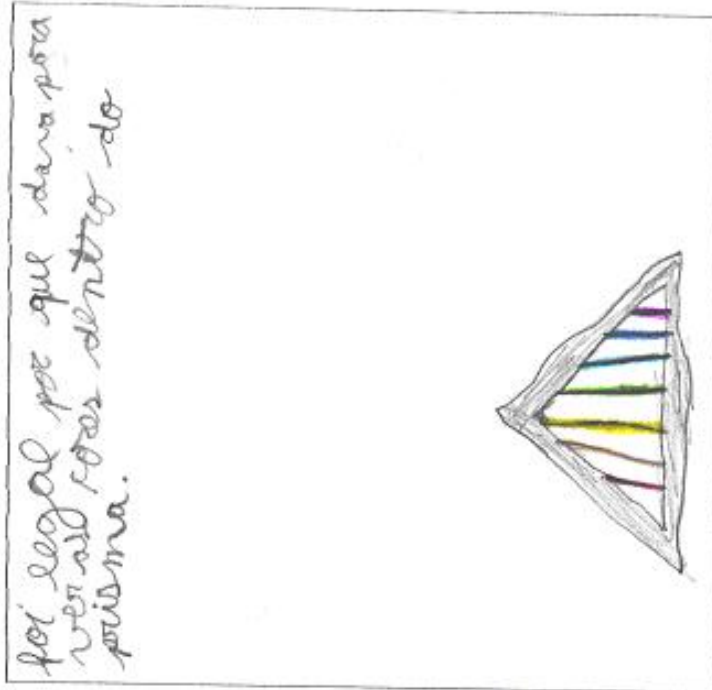
ANEXO S – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

Pinte com as cores formadas na experiência:



Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:



Nome: [REDACTED]
 Data: 14/06/06.
 Idade: 09

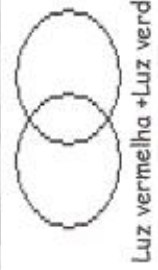
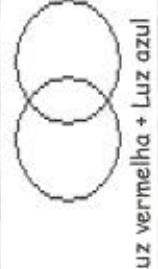
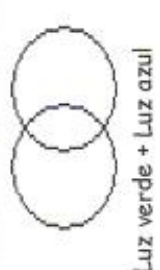
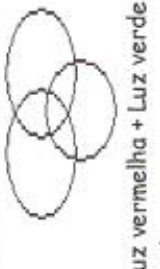
Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

A luz se abre e por isso que se formam as cores da arco-íris.

ANEXO T – Relatório da atividade 6

ATIVIDADE 6

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:

 Luz vermelha + Luz verde	 Luz vermelha + Luz azul
 Luz verde + Luz azul	 Luz vermelha + Luz verde + Luz azul

Nesse se espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:





COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha					
☆ Verde					
☆ Azul					
☆ Amarela					
☆ Branca					

Nome: _____
 Data: _____
 Idade: _____

ANEXO U – Relatório da atividade 6

ATIVIDADE 6

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:

	
Luz vermelha + Luz verde	Luz vermelha + Luz azul
	
Luz verde + Luz azul	Luz vermelha + Luz verde + Luz azul

Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:

COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha	vermelho	branco		verde	amarelo
☆ Verde	amarelo	azul		branco	verde
☆ Azul	branco				azul
☆ Amarela	branco	azul			
☆ Branca	vermelho	azul			

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A gente chegou lá no laboratório o professor mostrou uma experiência com três luzes uma era vermelha, azul e verde e eu coloquei a estrutura lá e formamos cores muito diferentes.

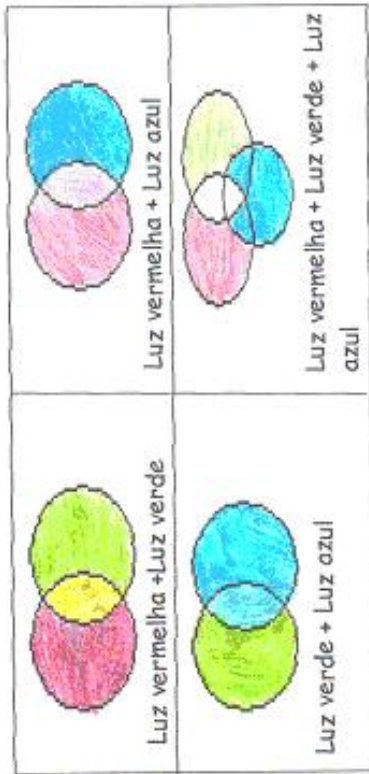


Nome: [Redacted]
 Data: 28/04/06
 Idade: 11 anos

ANEXO V – Relatório da atividade 6

ATIVIDADE 6

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:



Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:

COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha	vermelha	azul	preto		vermelha
☆ Verde	preto	preto	verde		verde
☆ Azul	preto	azul	preto		azul
☆ Amarela	vermelha + verde	verde	branco	amarelo	amarelo
☆ Branca	vermelha + azul	verde	verde	amarelo	branco

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

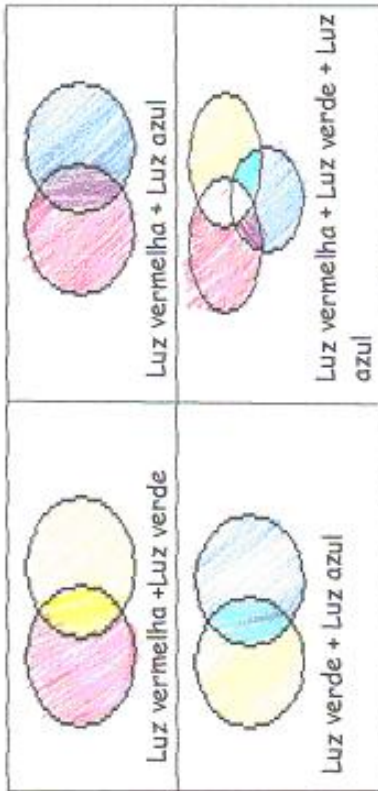
A prof: Elvone pegou e levou a gente até a biblioteca para nos fazer uma experiência. Ela pegou um aparelho que tinha três cores verde, vermelho e azul. Ela pegou também um tubo estroba uma de cada cor branco, azul, verde, amarelo e vermelho e conforme ia colocando a cor ia mudando a cor da estroba.

Nome: _____
 Data: 28/6/16.
 Idade: 10 anos.

ANEXO X – Relatório da atividade 6

ATIVIDADE 6

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:



Complete o quadro com a cor da quando observada com a luz:

COR DA	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
Vermelha	vermelha		preta	preta	preta
Verde	preta		verde	verde	verde
Azul	preta	azul	preta	preta	preta
Amarela	preta		preta	amarela	preta
Branca	preta	preta	preta	preta	branca

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

Na minha parte a experiência foi muito boa e eu aprendi muito mais sobre a luz e a cor. Eu aprendi que a luz branca é formada por todas as cores e que quando misturamos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Eu também aprendi que a luz branca é formada por todas as cores e que quando misturamos as cores primárias da luz obtemos outras cores.

Nome:
 Data: 28/6/2021
 Idade: 9

ANEXO Z – Relatório da atividade 6

ATIVIDADE 6

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A experiência foi muito legal porque fiquei sabendo que branco é uma mistura e descobri que as cores primárias são vermelho, azul, verde, amarelo.

Nome: [REDACTED]
 Data: 26/06/2020
 Idade: 9

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:

Luz vermelha + Luz verde	Luz vermelha + Luz azul
Luz verde + Luz azul	Luz vermelha + Luz verde + Luz azul

Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:

COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha	vermelha	rosa	preto	do verde ao vermelho	
☆ Verde	preto	violado	verde	claro	verde
☆ Azul	rosa	azul	amarelo	verde	azul
☆ Amarela	do verde ao verde	claro	claro	amarelo	amarelo
☆ Branca	rosa	azul	verde	amarelo	branca

ANEXO AA – Relatório da atividade 2

ATIVIDADE 2

Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

azul
amarelo
verde
laranjado

Nesse espaço, você pode escrever contando como foi a atividade. Pode também fazer um desenho:



Foi muito legal, vi o arco-íris com cinco cores. Também fiquei sabendo que o arco-íris aparece com sol e chuva e achei muito legal.

Nome: _____
Data: 23/10/2006
Idade: 10 anos

ANEXO BB – Relatório da Atividade 2

ATIVIDADE 2

Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

Roxo, amarelo e azul.

Nesse espaço, você pode escrever contando como foi a atividade. Pode também fazer um desenho:

*Eu vi um arco-íris com 3 cores
Roxo, amarelo e azul.
O sol tem que estar atrás de
nós se o sol estiver na sua
frente não dá para observar
o Arco-Íris.*

Nome: [REDACTED]

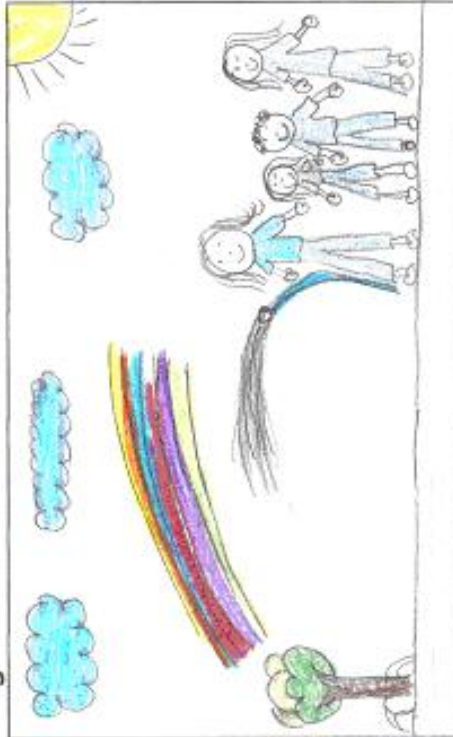
Data: 23 de outubro de 2006.

Idade: 10 anos.

ANEXO CC – Relatório da Atividade 2

ATIVIDADE 2

Reproduza, por meio de um desenho, as posições em que estavam o Sol e você quando surgiu o Arco-Íris:



Escreva, nesse espaço, quais as cores que você conseguiu observar no Arco-Íris formado com o esguicho da mangueira:

- amarelo
- laranja
- azul
- vermelho
- verde
- violeta
- índigo

Nesse espaço, você pode escrever contando como foi a atividade. Pode também fazer um desenho:

A atividade foi super legal. E também para se divertir e aprender ao mesmo tempo. Eu notei as cores do arco-íris. Foi legal porque fizemos um Arco-Íris com a mangueira, e isso também ajudou. É importante para nós os arco-íris, ficamos de costas para o sol.

Nome: [REDACTED]
 Data: 23/10/66
 Idade: 10 anos

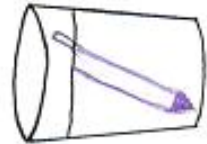
ANEXO DD – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
aculico	aculico	espelho
vidro	vidro	CO
água	água	metal

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Isso acontece porque a água faz o lápis dobrar. Tente fazer, gente.

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

Isso aqui parece devolvido
mas não é, é só o reflexo.
Eu achei mais legal o cd
porque apontou os olhos do
branco - Isid.

Nome: _____

Data: 25/10/06

Idade: 10 anos

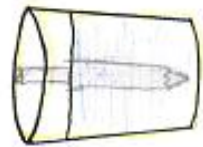
ANEXO EE – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
acrílico	vidro	espelho
água	acrílico	metal
vidro	água	co

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Isso acontece por que quando penetra um objeto dentro da água o mesmo sofre refração fazendo engorchar.

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

A primeira experiência foi com o vidro deixado a luz passar e do refletir e a última experiência foi com a água fazendo com que os objetos fiquem grossos.

Nome: [Redacted]
 Data: 24/10/2006
 Idade: 10 anos

ANEXO FF – Relatório da atividade 3

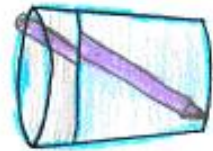
ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
acrílico	acrílico	espelho
vidro	vidro	cd
		metal

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:

Acontece isso com o lápis porque a água é diferente dele e ele empurra a luz que ele está quebrando.



Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

A experiência com a prof. Eliana foi muito legal porque a gente viu os objetos que permitem a passagem da luz, e que devolvem a luz, e o que devolvem a luz.

Nome: [REDACTED]
 Data: 2.5/10/06
 Idade: 10 anos

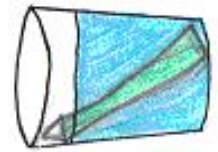
ANEXO GG – Relatório da atividade 3

ATIVIDADE 3

Preencha o quadro abaixo indicando quais materiais permitem a passagem da luz e quais devolvem a luz:

Permitem a passagem da luz:	Acontece as duas coisas:	Devolvem a luz:
vidro	vidro	espelho
acrílico	água	metal
água	acrílico	

Desenhe, no copo abaixo, como você observa o lápis na parte de fora, no ar, e na parte mergulhada, na água. Tente escrever por que isso acontece:



Quando você coloca o drapes dentro do copo ele e retirá fora quando está no copo ele é quebrado.

Nesse espaço, escreva contando como foi a primeira experiência. Pode também fazer um desenho:

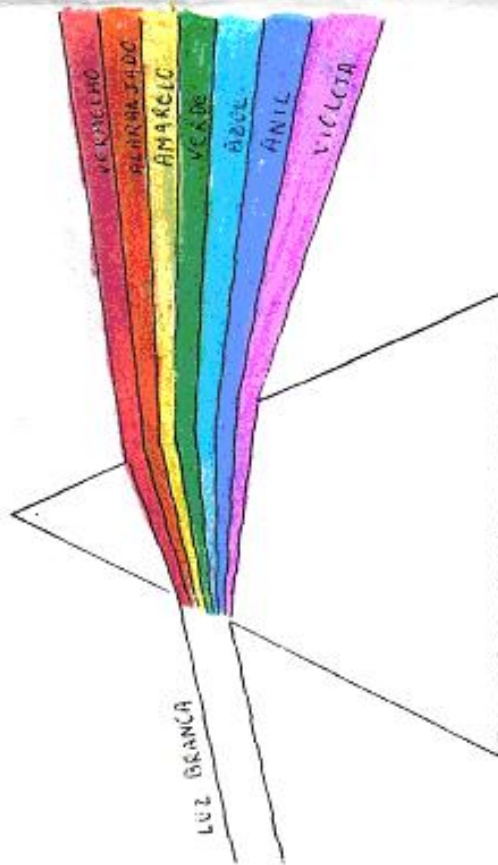
Na primeira experiência cada grupo tinha uma lanterna nós pegamos um espelho e mirava e a luz voltava me aculha passava e refletia me metal a luz voltava na mesma cara me vidro ela passa e reflete na água passava e reflete.

Nome: _____
 Data: 25/10/06
 Idade: 10 anos.

ANEXO HH – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

Escreva que a luz branca passa pelo o prisma e quando passar tem cores diferentes. outras fogem as cores do arco - iris aparecem no talho

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A experiência foi um sucesso pelo menos eu adorei experer fazer de novo. Mas eu nunca vi uma pirama e uma luz de uma lanterna fazendo aquela corer do arco - iris: verde, vermelho, laranja, amarelo, azul - violeta e até anil. foi mesmo imprecio - nante. *Thais*



Nome: _____

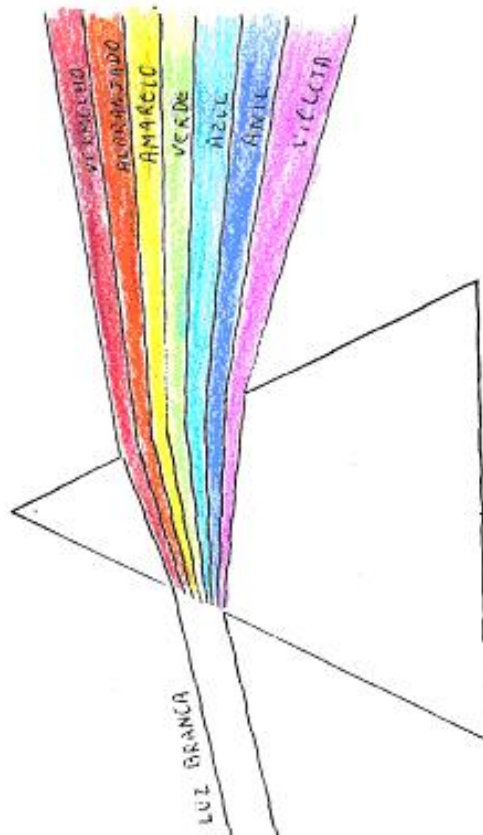
Data: 30/10/2016

Idade: 9 anos

ANEXO II – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

Quando a luz passa pelo prisma a luz se transforma nas cores do arco-íris.

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A experiência foi muito legal, nós pegamos um lanterna, um prisma, dois cubos de madeira para que a luz ficasse mais fina e uma tábua grande e branca para ver o que aconteceria com a luz, quando a luz passava o prisma um pouco da luz refletia e o resto passava por dentro do prisma e quando a luz sai do prisma ela sai um pouco torta e com as cores do arco-íris.

Nome: _____

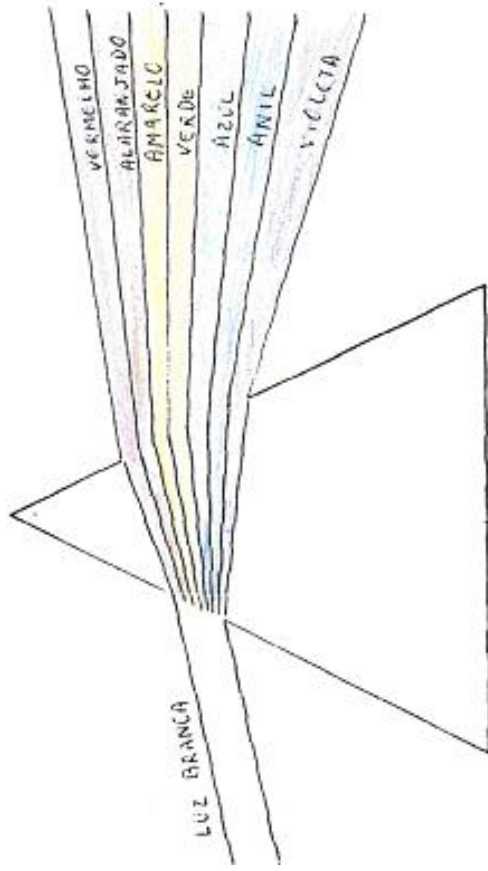
Data: 30/10/06

Idade: 10 anos

ANEXO JJ – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

A luz é refletida mais quando dentro do prisma do que quando sai do prisma. A luz branca é refletida e se divide em cores diferentes. Quando a luz branca passa pelo prisma, ela se divide em cores diferentes. Isso acontece porque a luz branca é composta por várias cores diferentes. Quando a luz branca passa pelo prisma, ela se divide em cores diferentes. Isso acontece porque a luz branca é composta por várias cores diferentes.

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

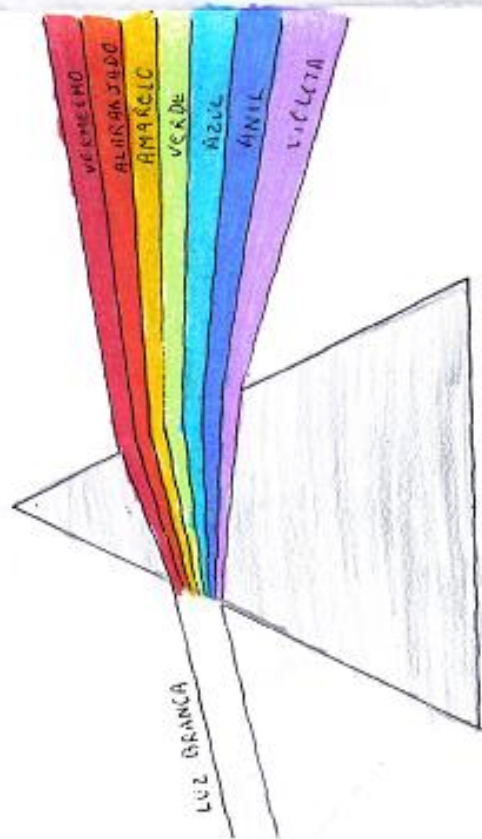
Ele foi muito legal porque eu fiz um desenho que a luz branca é refletida em cores diferentes. Isso acontece porque a luz branca é composta por várias cores diferentes. Quando a luz branca passa pelo prisma, ela se divide em cores diferentes. Isso acontece porque a luz branca é composta por várias cores diferentes.

Nome: _____
 Data: 07/11/06
 Idade: 10 anos

ANEXO LL – Relatório da atividade 4

ATIVIDADE 4

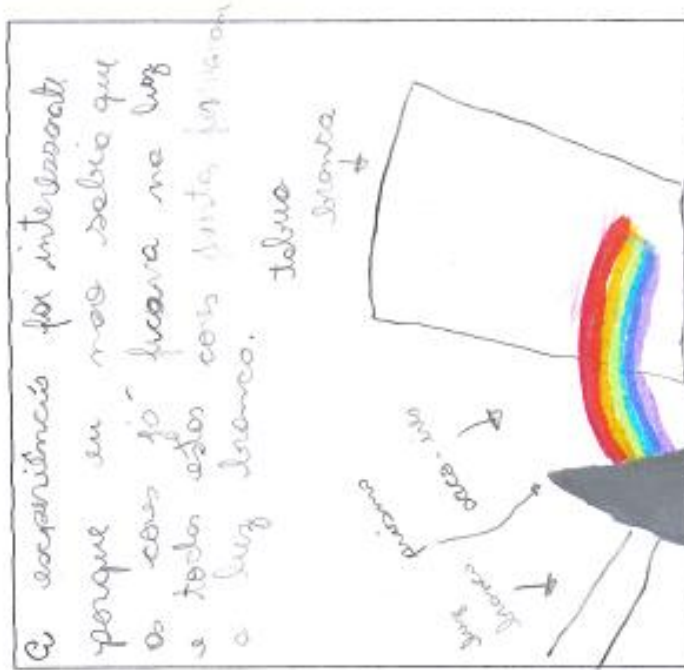
Pinte com as cores formadas na experiência:



Escreva o que você acha que acontece com a luz ao passar pelo prisma:

Quando a luz branca passa pelo prisma ela se divide em todas as cores do espectro. Isso acontece porque a luz branca é formada por todas as cores. Quando a luz branca passa pelo prisma ela se divide em todas as cores do espectro.

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

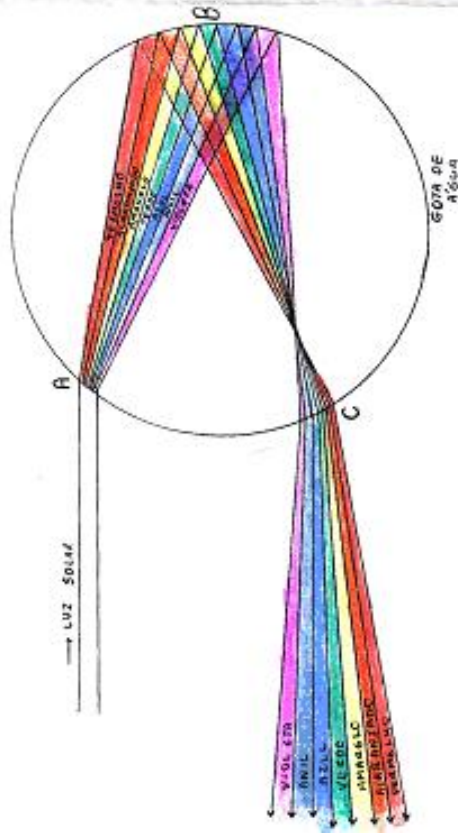


Nome: [Redacted]
 Data: 30/10/06
 Idade: 10 anos

ANEXO MM – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: A luz entra na gota e se divide em 7 cores.

Ponto B: A luz reflete na parte de cima da gota.

Ponto C: As cores saem da gota.

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

Não digamos na sala onde fizemos a experiência, a professora disse que dois potes de vidro cheios de água. Não fizemos vários arco-íris.

Aluno: _____

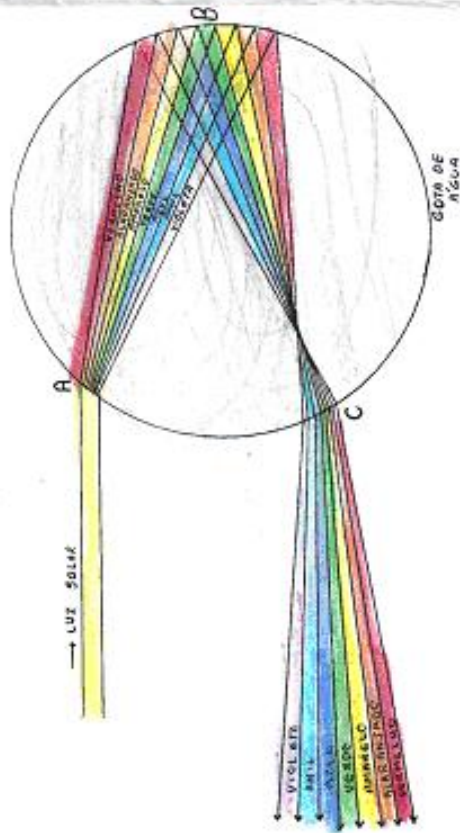
Data: 11/11/06

Idade: 10 anos

ANEXO NN – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

- Ponto A: faz a luz entrar na gota de água.
- Ponto B: Reflete a luz para fora da gota de água.
- Ponto C: com a saída da luz forma o arco-íris.

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

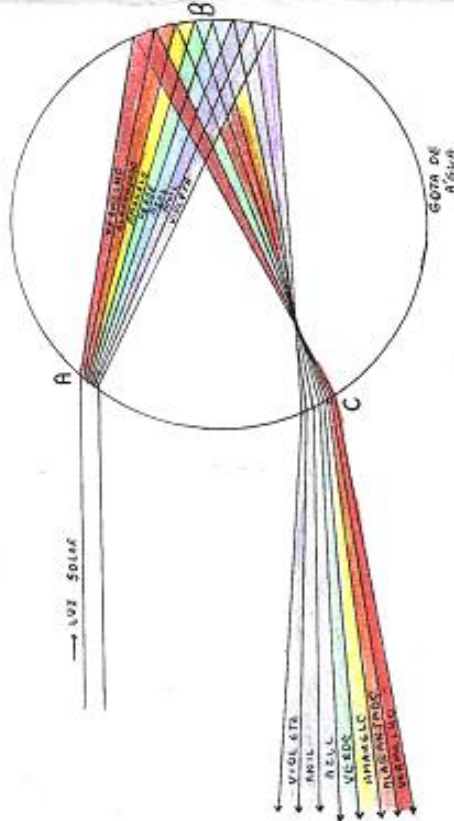
A experiência foi muito legal eu adorei foi sobre o mesmo assunto das outras experiências sobre o arco-íris, agente colocou uma luz artificial atrás de uma tábua grande com um pequeno boracheiro que de lá passava a luz e em frente da luz nós colocamos uma grande gota de água que formou uma linda arco-íris na tábua.

Aluno: _____
 Data: 23/11/2006.
 Idade: 10 anos

ANEXO OO – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

- Ponto A: o luz entra na água
- Ponto B: o luz se refrata
- Ponto C: o luz sai da água e surge o arco íris

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

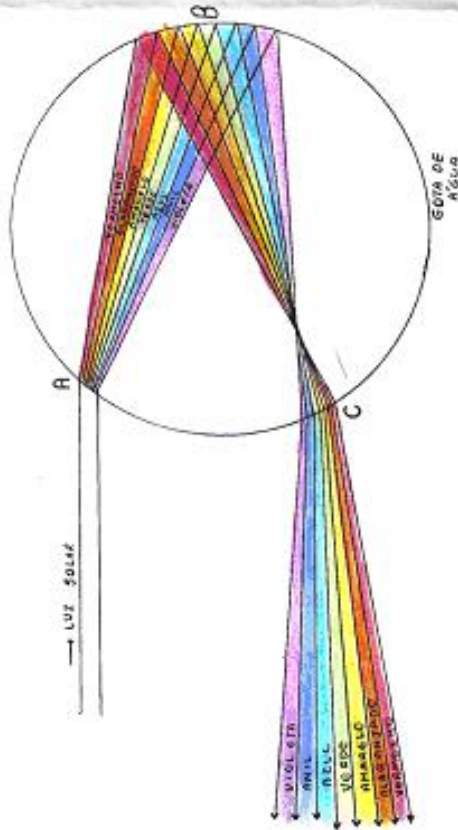
Foi muito legal a experiência e o arco íris que apareceu as cores e também refletiu um pouco formando as cores do arco íris.

Aluno: [Redacted]
 Data: 11/17
 Idade: 10 anos

ANEXO PP – Relatório da atividade 5

ATIVIDADE 5

O desenho abaixo representa a formação do Arco-Íris na gota de água. Pinte-o com as cores do Arco-Íris:



Escreva o que você acha que acontece em cada ponto:

Ponto A: A luz que era branca entrou na gota e as cores se separaram.

Ponto B: A luz colorida refletiu para o outro lado e as cores viraram.

Ponto C: Então a luz colorida saiu da gota.

No espaço abaixo, escreva contando como foi a experiência. Também faça um desenho representando como se formou o Arco-Íris durante a realização da experiência:

A experiência foi muito legal, mas pegamos a luz artificial, uma tábua branca com um buraco no meio para que a luz passe pelo buraco, quando a luz entrou na gota a branca se transformou em luz colorida e a luz colorida refletiu para o outro lado e apareceu no telão.

Aluno: _____

Data: 11/06

Idade: 10 anos

ANEXO QQ – Relatório da atividade 6

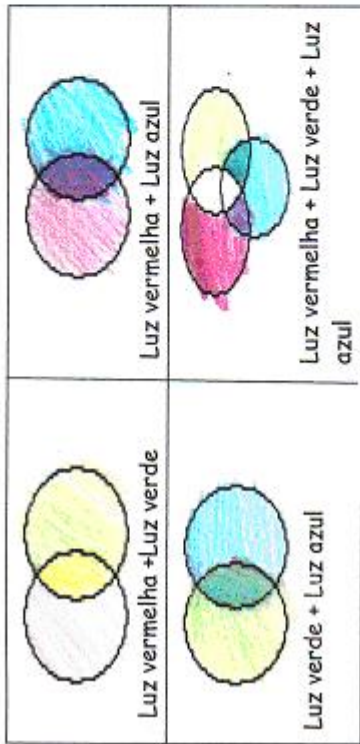
ATIVIDADE 6

Nesse se espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

Eu achei legal porque não sabia que existia cores de luzes primárias e que dava para misturar as cores nem que se misturam as cores vermelha, azul e verde fica uma luz branca e não laranja por que na cor de lapis de cor fica laranja.

Nome: [REDACTED]
 Data: 14/06
 Idade: 10 anos

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:



Complete o quadro com a cor da quando observada com a luz:

COR DA	Luz vermelha	Luz verde	Luz azul	Luz amarela	Luz branca
Vermelha	vermelha	verde	azul	amarela	branca
Verde	verde	verde	azul	amarela	branca
Azul	azul	verde	azul	amarela	branca
Amarela	amarela	amarela	amarela	amarela	branca
Branca	branca	branca	branca	branca	branca

ANEXO RR – Relatório da atividade 6

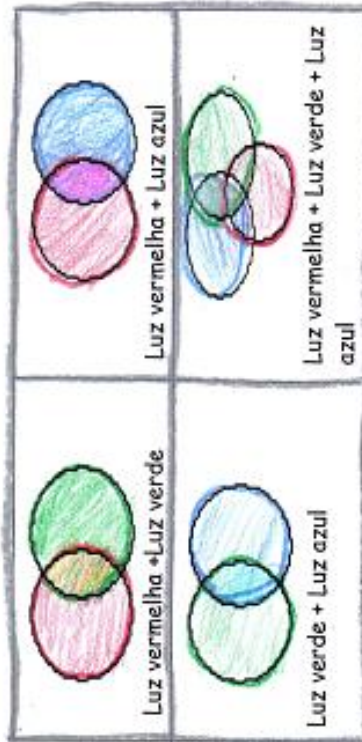
ATIVIDADE 6

Nesse se espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

A experiência foi muito interessante quando aprendemos as luzes. Verde, vermelho e azul são as cores primárias, por isso, quando misturadas juntas formam a cor branca. E a luz branca tem todas as cores.

Nome: [Redacted]
 Data: 07/17/06
 Idade: 10

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:



Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:

COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha	vermelha	branca	amarelo	☆	branca
☆ Verde	amarelo	branca	verde	☆	branca
☆ Azul	branca	azul	branca	☆	branca
☆ Amarela	☆	☆	☆	☆	branca
☆ Branca	branca	branca	branca	☆	branca

ANEXO SS – Relatório da atividade 6

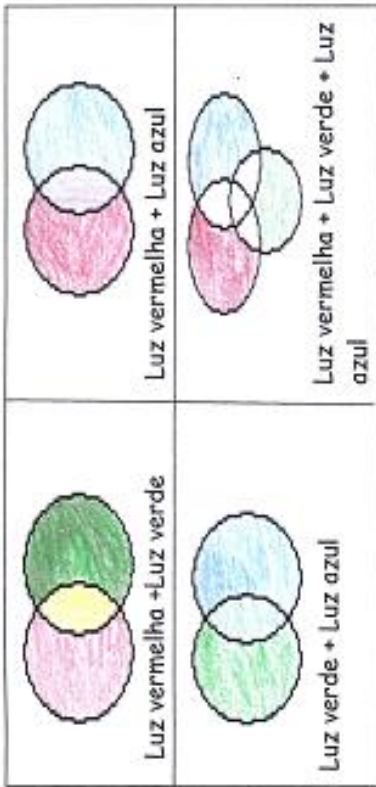
ATIVIDADE 6

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

Essa experiência de hoje foi legal e divertida.
 Eu gostei, porque aprendi as cores primárias e as misturas de cores.
 Aprendi que vermelho com verde forma amarelo, vermelho com azul forma violeta, azul com verde, forma azul turquesa. E todas as cores formam a luz branca.

Nome: _____
 Data: 07/11/2026
 Idade: 10 anos.

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:

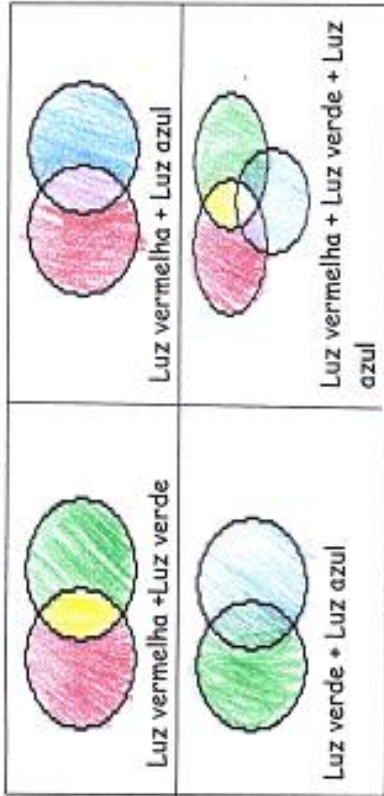


Complete o quadro com a cor da quando observada com a luz:

COR DA	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
Vermelha	vermelho	violeta	vermelho	vermelho amarelo	vermelho
Verde	verde	azul	verde	verde	verde
Azul	azul	azul	azul	azul	azul
Amarela	amarelo	violeta	azul	amarelo	amarelo
Branca	branco	branco	branco	branco	branco

ANEXO TT – Relatório da atividade 6

Ao misturarmos as cores primárias da luz obtemos outras cores. Responda as questões pintando os desenhos:



Complete o quadro com a cor da ☆ quando observada com a luz:

COR DA ☆	Luz vermelha	Luz azul	Luz verde	Luz amarela	Luz branca
☆ Vermelha	vermelha	vermelha	verde	vermelha	vermelha
☆ Verde	verde	verde	verde	verde	verde
☆ Azul	azul	azul	azul	azul	azul
☆ Amarela	amarela	amarelo	amarelo	amarelo	amarelo
☆ Branca	branca	branco	branca	branca	branca

ATIVIDADE 6

Nesse espaço, escreva contando como foi a experiência. Pode também fazer um desenho:

Logo a experiência foi muito legal porque a misturamos as cores de luz em: vermelho com verde = amarelo vermelho com azul = magenta verde com azul = igual turquesa vermelho com verde com azul deu branca

Nome: _____
 Data: 07-11-06
 Idade: 10 anos