

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA – UFRGS  
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA**

**LASER DE RUBI:  
UMA ABORDAGEM EM UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVAS (UEPS)**

**DANIELA SCHITTLER**

**PORTO ALEGRE  
2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA – UFRGS  
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA**

**LASER DE RUBI:  
UMA ABORDAGEM EM UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVAS (UEPS)**

**DANIELA SCHITTLER**

**Tese de Doutorado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Ensino de Física da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, sob  
orientação do prof. Dr. Marco  
Antonio Moreira, como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Doutora em Ensino de Física.**

**PORTO ALEGRE**

**2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente:

- ao professor Marco Antonio Moreira por acreditar em mim, pela orientação, pela paciência, pela simplicidade, pelo entusiasmo e dedicação.
- ao professor Joecir Palandi pela amizade e incansáveis discussões.
- à minha família (Mãe, Pai, Oma, Opa, Liziane, Michele, Guilherme e Vitória) que se preocuparam e rezaram para que este trabalho fosse concluído o mais breve possível.
- ao Flávio que do seu jeito e com o seu amor sempre me apoiou e, principalmente, por cuidar da Ana Luiza nos corredores do Instituto de Física da UFRGS.
- às minhas filhas Andressa e Ana Luiza por serem as melhores filhas do mundo.
- aos meus colegas de trabalho e amigos – Adriane, Cláudio e Magali – pelas conversas e pela amizade que se consolida a cada dia.
- aos meus queridos alunos, que tornaram este trabalho possível.
- aos meus presentes e futuros alunos, que são a razão de tanto esforço para a realização desse trabalho.

## **RESUMO**

A Tese em Ensino de Física, “*Laser de Rubi: uma abordagem baseada em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)*”, possui como referencial teórico principalmente a Teoria da Assimilação e da Retenção Significativas de Ausubel sendo complementada com viéses da Teoria de Educação de Novak, do Modelo de Ensino de Gowin, da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Ao considerar a área e o tema abordado na tese foi escolhida a metodologia de Pesquisa Qualitativa considerando suas características principais, como por exemplo, interpretativa, detalhada, que constrói suposições e não visa generalizações. A escolha da metodologia de ensino, Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), ocorreu por conjugar do mesmo referencial teórico escolhido para a tese. O trabalho é uma pesquisa aplicada com o tema Laser de Rubi no primeiro ano do Ensino Médio. Para que se concretizasse esta pretensão foi elaborada a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o tema Laser de Rubi que contemplou o total de 16 horas aula. Entende-se que a Física Moderna e Contemporânea deve pertencer ao currículo dos três anos do Ensino Médio. É claro que o desafio é maior no 1º ano comparado com o 3º ano, porém, o reconhecimento e a motivação dos alunos também são maiores. A UEPS foi aplicada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha - Câmpus Júlio de Castilhos, RS, Brasil, em dois momentos: em 2012 em duas turmas do Curso Técnico em Informática Integrado e, em 2013, em duas turmas do Curso Técnico em Informática Integrado e três turmas do Curso Técnico em Agropecuária Integrado, totalizando o público-alvo da pesquisa em 120 alunos. De acordo com a Teoria de Ausubel, existem duas condições que favorecem a aprendizagem significativa, o material ser potencialmente significativo e a predisposição do aprendiz em aprender significativamente. Para tornar o material potencialmente significativo utilizou-se a UEPS e de acordo com os resultados obtidos, as metodologias e abordagens diversificadas utilizadas na UEPS promoveram essa predisposição. Os resultados da aplicação refletem a característica da pesquisa qualitativa de não obter generalizações, pois mesmo envolvendo 7 turmas de 1º ano do Ensino Médio, em períodos diferentes e em turmas com diferentes perfis, as conclusões diferem e são apresentadas no decorrer do trabalho.

**Palavras chaves:** Aprendizagem Significativa; Ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Ensino Médio Técnico; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

## ***ABSTRACT***

This doctoral dissertation on the Teaching of Physics, “Ruby Laser: An approach based on the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTUs)”, has as theoretical framework Ausubel’s Assimilation and Retention Theory, complemented with biases from Novak’s Theory of Education, Gowin’s Teaching Model, Vergnaud’s Theory of Conceptual Fields, and Johnson-Laird’s Theory of Mental Models. Considering the area and the theme approached here, Qualitative Research became the chosen methodology because of its basic features, such as, for example, that it is interpretative and detailed, it encourages assumption construction, it does not aim at generalizing. The choice of the PMTUs as the methodological teaching support occurred due to the fact that it agrees with the same referential framework of this dissertation. The work is an applied research with Ruby Laser theme in the first year of high school. In order to materialize this claim a Potentially Meaningful Teaching Unit was elaborated with the Ruby Laser theme involving a total of 16 class hours. It is understood here that Modern and Contemporary Physics should be part of the three-year high school curriculum and that this challenge is bigger at the first year than at the third year of high school though students’ recognition and motivation are also bigger. This PMTU was applied in the *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Júlio de Castilhos, RS, Brasil*, at two different instances: in 2012 with two different classes/groups of the *Curso Técnico em Informática Integrado* and in 2013, in two different classes/groups of the *Curso Técnico em Informática Integrado* and in three different classes/groups of the *Curso Técnico em Agropecuária Integrado*, with a total amounting to 120 the number of students that constituted the target audience of this research. According to Ausubel’s theory, there are two conditions that favor meaningful learning, the instructional material must be potentially meaningful and the student predisposition to meaningfully learn. PMTUs were used to make materials potentially meaningful and, according to the learning outcomes, it seems possible to say that the varied methodologies and approaches used in the PMTUs promoted such a predisposition. Research findings reflect a characteristic of qualitative research according to which generalizations do not occur since, even in a research involving 7 (seven) first year high school classes/groups, in different instances and with groups with a different profile, conclusions differ and they are presented along this work.

**Keywords:** Meaningful Learning; Physics Teaching; Teaching of Modern and Contemporary Physics; Technical High School; Potentially Meaningful Teaching Units.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>13</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Teoria da Assimilação e da Retenção Significativas de Ausubel</b>	<b>31</b>
3.1.1. Aprendizagem Significativa	31
3.1.2. Retenção Significativa e Esquecimento	36
3.1.3. Implicações da Aprendizagem e da Retenção Significativas no Ensino	38
<b>3.2. Os Viéses da Teoria da Educação de Novak e do Modelo de Ensino-Aprendizagem de Gowin</b>	<b>39</b>
<b>3.3. O Viés da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud</b>	<b>41</b>
<b>3.4. O Viés da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird</b>	<b>41</b>
<b>3.5. Conteúdos de Física da UEPS</b>	<b>42</b>
3.5.1. Princípio da Conservação do Momento Angular	43
3.5.2. Leis de Kepler	44
3.5.3. Modelo do Átomo de Bohr	46
3.5.4. Quantização da Energia e Diagrama de Energia	49
3.5.5. Efeito Laser e Inversão de População	51
3.5.6. Laser de Rubi	52
<b>4. METODOLOGIAS</b>	<b>54</b>
<b>4.1. Metodologia de Pesquisa</b>	<b>55</b>
4.1.1. Pesquisa Qualitativa	55
<b>4.2. Metodologia de Ensino</b>	<b>57</b>
<b>5. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS</b>	<b>63</b>
<b>5.1. Estudo-Piloto</b>	<b>63</b>
<b>5.2. Turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013</b>	<b>86</b>
<b>5.3. Turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C</b>	<b>106</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>159</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>172</b>
<b>APÊNDICE F</b>	<b>173</b>
<b>APÊNDICE G</b>	<b>174</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>176</b>

## Capítulo 1

### INTRODUÇÃO

No século passado ocorreram grandes avanços científicos e tecnológicos, principalmente baseados em fenômenos na escala microscópica. Crianças e adolescentes parecem possuir maior habilidade e facilidade em usar os novos dispositivos eletrônicos, possivelmente, por ter contato quase que imediato com as novas tecnologias. Assim sendo, os professores não podem continuar ignorando esta realidade, em particular os de Física, que ainda abordam principalmente conteúdos do século XIX.

Existem na literatura inúmeros trabalhos salientando a importância da introdução de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio (EM): Terrazzan (1992); Valadares e Moreira (1998), Pinto e Zanetic (1999), Ostermann e Ricci (2004), Ostermann e Moreira (2000) e Pereira e Ostermann (2009), entre outros. Os autores defendem a introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no EM, pois os professores, por exemplo, não podem continuar ensinando apenas Cinemática no Primeiro Ano do EM, deixando muitas vezes de lado a Dinâmica e nem imaginando a possibilidade de discutir alguns conceitos ou tópicos de Física Moderna (FM).

No entanto, a proposta de inserir tópicos de FMC apresenta alguns problemas apontados na literatura, dos quais os principais são: (1) a maior parte dos professores de Física do Ensino Médio não está preparada para discutir os conceitos básicos de FMC; (2) os programas de Física do EM, a serem cumpridos, são extensos e passam a ser não compatíveis com a carga horária oferecida nas escolas públicas brasileiras; (3) os livros didáticos quando abordam temas de FMC o fazem de maneira superficial e, em sua maioria, apresentam de maneira isolada no último capítulo do 3º ano do EM.

Em contrapartida, estudantes de pós-graduação na área de pesquisa em Ensino de Física, por exemplo, realizam vários estudos para introduzir a Física Moderna (FM) com novas metodologias e abordagens no EM, elaboram textos de apoio aos professores, realizam cursos de extensão para alunos de Física da Licenciatura e para professores atuantes na área como tentativa de começar uma mudança no programa e na postura do professor da disciplina

de Física no EM. No caso específico desses estudantes de pós-graduação, detectam-se alguns problemas, dos quais citam-se os principais: (1) quando o pesquisador insere-se na escola para aplicar sua proposta de pesquisa o professor regente muitas vezes não participa e nem toma conhecimento do trabalho realizado. Assim, no ano seguinte o professor continua atuando em sala de aula sem alterar a sua prática; (2) o estudante de pós-graduação apresenta em seu trabalho diferentes metodologias e abordagens de Física, porém, ao se inserir como professor não utiliza as metodologias do próprio trabalho; (3) os trabalhos de pesquisa estão distantes da realidade das escolas públicas brasileiras.

Porém, tem-se muito a fazer. As pesquisas realizadas precisam chegar e permanecer nas escolas, e não pertencer ao domínio de uma minoria de pesquisadores. Além disso, a pesquisa deve estar mais próxima da realidade da escola, ou seja, a pesquisa deve ser viável para a realidade das escolas públicas brasileiras. Para isso, precisa-se instigar o professor de EM a assumir como problema dele a FM, a reconhecer que este conhecimento é uma necessidade do aluno e, ainda, a modificar sua proposta de trabalho. Assim como, de acordo com a Teoria de Ausubel (2000), o aluno precisa apresentar pré-disposição para aprender, o professor também deve demonstrar pré-disposição para ensinar de maneira nova e novos conteúdos.

Nesse contexto insere-se o presente trabalho, que propõe introduzir conceitos fundamentais de Física Clássica, Física Moderna e Física Contemporânea no primeiro ano do Ensino Médio através de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (Moreira, 2011), explorando os limites da Física Clássica (FC). O tema Laser de Rubi, especificamente, permite discutir:

- (1) a inserção de um tópico de FMC no primeiro ano do EM;
- (2) a inserção no EM de um princípio fundamental da FC que é o Princípio da Conservação do Momento Angular;
- (3) a inserção de um modelo semi-clássico da Física, que permite debater alguns aspectos da estrutura da matéria, que é o Modelo do Átomo de Bohr;
- (4) o próprio efeito Laser, níveis de energia, quantização da energia, inversão de população, emissão estimulada e o caso específico Laser de Rubi. Define-se o Laser de Rubi

como uma radiação eletromagnética emitida na frequência da cor vermelha devido à presença de impurezas na proporção de 1% de cromo no óxido de alumínio  $Al_2O_3$  e é nelas que ocorre a inversão de população que origina o laser (Palandi, 2010);

(5) com (1) e (2) consegue-se, por argumentação, discutir o Efeito Laser e o dispositivo Laser que aparece em muitos equipamentos modernos;

(6) a aplicação tecnológica do Laser: leitores de CD, substituir velas em motores de carros, sistemas de escutas, dispositivos anticoagulantes, canetas, aparelhos cirúrgicos, entre outros;

(7) a inserção de Tópicos de FMC no programa de Vestibular e de Provas Seriadas da Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, a partir 2013;

(8) a viabilidade do projeto em relação ao número de aulas necessárias frente ao extenso programa do primeiro ano do EM.

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o tema Laser de Rubi foi aplicada em dois momentos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF-Farroupilha) – Câmpus Júlio de Castilhos, RS, Brasil. No primeiro momento, no ano de 2012, aplicou-se um estudo-piloto em duas turmas de 1º ano do Curso Técnico em Informática Integrado. No segundo momento, 2013, reaplicou-se a UEPS em duas turmas de 1º ano do Curso Técnico em Informática Integrado e em três turmas de 1º ano do Curso Técnico em Agropecuária Integrado. A escolha por implementar o estudo no IF-Farroupilha – Câmpus Júlio de Castilhos deve-se ao fato da pesquisadora estar atuando nesta instituição de ensino como professora.

O estudo-piloto foi realizado com as turmas denominadas Info-1A e Info-1B, sendo que elas possuíam o total de trinta e dois alunos, sendo dezesseis em cada turma. As duas turmas foram divididas em oito grupos de quatro integrantes. Como forma de identificação, motivação e preservação da identidade dos componentes, cada grupo foi identificado por uma cor:

1)Turma Info 1A: Grupo Azul, Grupo Amarelo, Grupo Roxo e Grupo Rosa.

2)Turma Info 1B: Grupo Vermelho, Grupo Verde, Grupo Preto e Grupo Laranja.

Em 2013, dez meses após a conclusão do projeto-piloto, os alunos das turmas Info-1A e Info-1B responderam um questionário para verificar evidências de aprendizagem e de retenção significativas. Esses alunos em 2013 constituíram a Turma Info-2A, sendo que, do total de 32 alunos em 2012, 7 reprovaram e 10 efetivaram transferência para outra instituição de ensino. Assim, havia 15 alunos do estudo-piloto de 2013 para reavaliar a UEPS que pertenciam a 5 grupos (Verde, Amarelo, Roxo, Rosa e Preto).

No ano de 2013, a UEPS foi novamente aplicada em cinco turmas. As duas turmas do Curso Técnico em Informática Integrado foram denominadas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 e possuíam o total de vinte e quatro alunos, divididas em 7 grupos:

- 1) Info-1A-2013: Grupo Verde, Grupo Preto e Grupo Vermelho.
- 2) Info-1B-2013: Grupo Preto, Grupo Laranja, Grupo Marrom e Grupo Amarelo.

As turmas do Curso Técnico em Agropecuária foram denominadas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C tendo o total de sessenta e quatro alunos. Estas três turmas foram divididas em 12 grupos que novamente foram identificados por cores:

- 1) Agro-1A: Grupo Verde, Grupo Laranja, Grupo Amarelo e Grupo Vermelho.
- 2) Agro-1B: Grupo Verde, Grupo Laranja, Grupo Marrom e Grupo Vermelho.
- 3) Agro-1C: Grupo Preto, Grupo Amarelo, Grupo Marrom e Grupo Vermelho.

Os perfis de alunos que ingressam nos Cursos Técnicos em Informática e Agropecuária são extremamente diferentes. Sendo que, de modo geral, as turmas do Curso Técnico em Informática Integrado possuem alunos que apresentam facilidade na aprendizagem das disciplinas de Física, Química e Matemática, alunos concentrados, individualistas, introspectivos e que conversam menos em sala de aula, quando comparados com os alunos do curso de Agropecuária. A maioria dos alunos reside na zona urbana e possui condições financeiras melhores que os alunos do curso de Agropecuária. Em contrapartida, o perfil da turma do Curso Técnico em Agropecuária Integrado, de modo geral, possui alunos que apresentam maiores dificuldades na aprendizagem das disciplinas de Física, Química e Matemática, são alunos dispersos, gostam de realizar atividades em grupo, extrovertidos, companheiros, solidários e que conversam mais em sala de aula, quando comparados com os

alunos do curso de Informática. A maioria dos alunos do curso de Agropecuária reside na zona rural e possui condições financeiras inferiores do que os do curso de Informática. A maioria dos alunos dos cursos integrados residem num percentual de 50% no município de Júlio de Castilhos e 49,9% no município de Tupanciretã, tendo um aluno do município de Itaara e um do município de Ivorá.

Este trabalho foi estruturado de modo a apresentar no Capítulo 2 uma revisão da literatura envolvendo as principais revistas de Ensino de Física ou Ciências em um período de doze anos, de janeiro de 2002 a dezembro de 2013. Os artigos relacionados nesse capítulo envolvem temas da FMC no contexto do EM.

No Capítulo 3 apresenta-se o marco teórico utilizado: a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, 2000), sendo utilizados alguns vieses da Teoria da Educação de Gowin (1981), da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e da Teoria dos Modelos de Johnson-Laird (1983). Não é objetivo do trabalho aprofundar cada uma das teorias citadas, mas sim, de complementar a Teoria da Aprendizagem Significativa e isso será esclarecido no decorrer do texto. Além de descrever a Fundamentação Teórica, o capítulo também aborda os conteúdos de Física envolvidos na UEPS Laser de Rubi.

No Capítulo 4, descreve-se a Metodologia de Pesquisa Qualitativa utilizada, bem como, a Metodologia de Ensino escolhida, que é a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (Moreira, 2011).

No Capítulo 5 apresentam-se os resultados e as respectivas análises com base nos capítulos anteriores.

E, por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais.

Com o objetivo de facilitar o entendimento da pesquisa realizada, apresenta-se na Figura 1 o Diagrama Vê com o problema de pesquisa abordado na tese sob a perspectiva da pesquisadora.

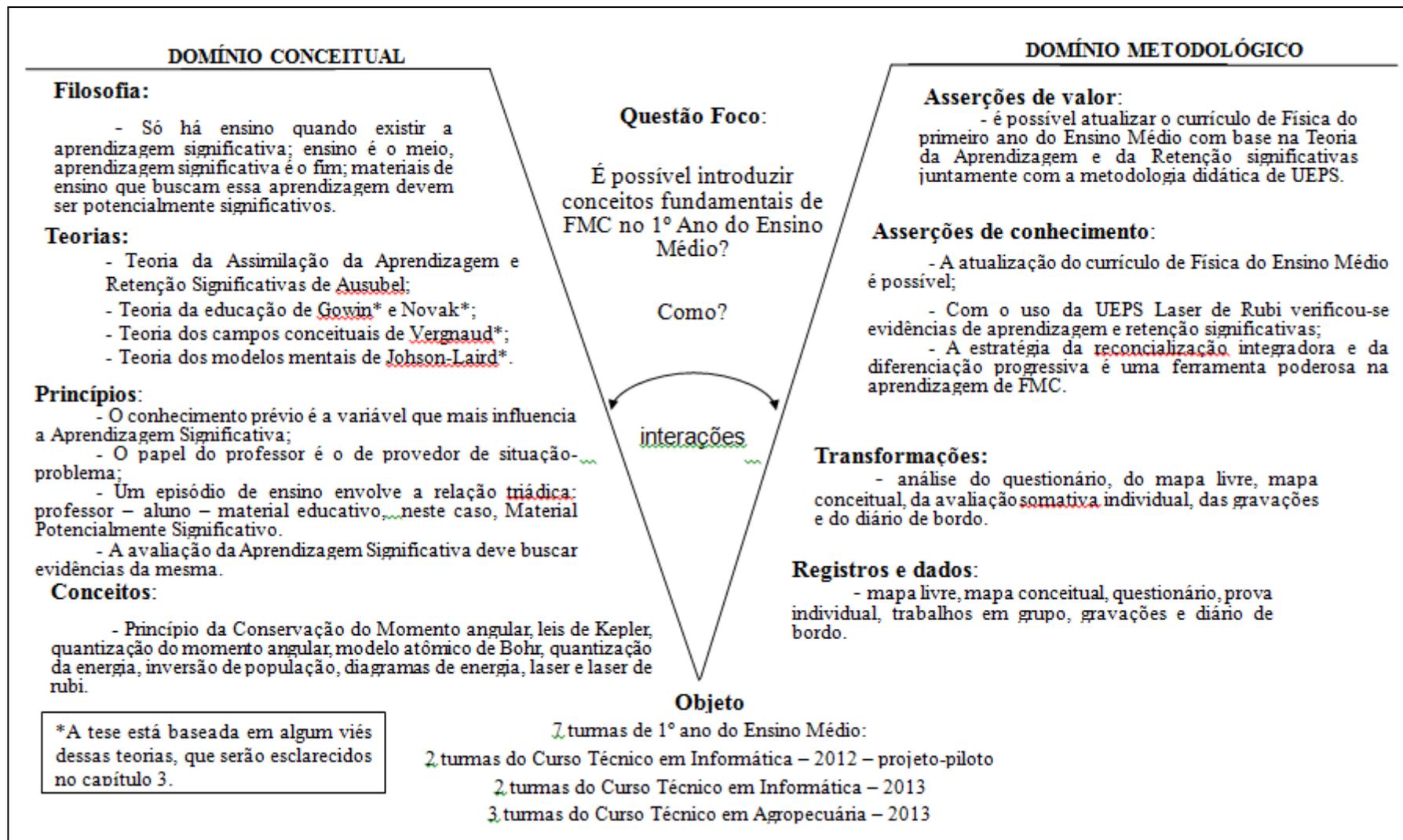


Figura 1. Diagrama Vê da Tese “Laser de Rubi: uma abordagem em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)”, na perspectiva da pesquisadora.

## Capítulo 2

### REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica foi realizada nas principais revistas da área, com Qualis A1, A2 e B1, conforme consta na Tabela 1. Essa pesquisa foi realizada no período de janeiro de 2002 a dezembro 2013, exceto as revistas LAPJE (Latin-American Journal of Physics Education), REIEC (Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias) e REEC (Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias), cujos seus primeiros volumes foram editados posteriormente em, 2007, 2006 e 2003, respectivamente. Os artigos foram selecionados com base em dois critérios:

- (1) contemplar o tema de Física Moderna e Contemporânea;
- (2) discutir o tema no contexto do Ensino Médio.

Com esses critérios, quarenta e nove artigos foram relacionados.

Tabela 1 – Revistas da revisão de literatura, sigla usada nesse trabalho, Qualis e o número de artigos.

Revista	Sigla usada nesse trabalho	Qualis	Número de artigos relacionados com a tese
Ciência & Educação	C&E	A1	3
Journal of Research in Science Teaching	JRST	A1	-
Science Education	SE	A1	1
Revista Brasileira de Ensino de Física	RBEF	A1	11
American Journal of Physics	AJP	A1	1
International Journal of Science Education	IJSE	A1	6
Investigações em Ensino de Ciências	IENCI	A2	4
Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	REIEC	A2	4
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	REEC	A2	3
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	CBEF	B1	13
Latin-American Journal of Physics Education	LAPJE	B1	3
Total de artigos			49

Os artigos foram classificados em quatro categorias:

- Categoria A – são incluídos os artigos que apresentam uma proposta de intervenção didática e a aplicação da mesma no EM.
- Categoria B – são incluídos os artigos que apresentam uma proposta de intervenção didática, porém implementada com professores ou não implementada.
- Categoria C – são incluídos os artigos que apresentam trabalhos de revisão da literatura sobre o tema de FMC no EM.
- Categoria D – são incluídos os artigos que não são classificados nas categorias A, B e C.

A Tabela 2 apresenta a classificação dos artigos de acordo com as categorias consideradas.

Tabela 2 – Relação entre o número total de artigos selecionados e suas classificações nas categorias.

Revista	Número total de artigos	Número de artigos na categoria			
		A	B	C	D
C&E	3	-	-	-	3
JRST	-	-	-	-	-
SE	1	-	1	-	-
RBEF	11	7	3	1	-
AJP	1	1	-	-	-
IJSE	6	6	-	-	-
IENCI	4	2	1	1	-
REIEC	4	2	-	-	2
REEC	3	1	2	-	-
CBEF	13	2	8	3	-
LAPJE	3	2	-	-	1
Total		23	15	5	6

A seguir, as quatro categorias são apresentadas com os respectivos artigos.

#### • Categoria A

De acordo com a Tabela 2 do total de artigos selecionados, vinte e três foram classificados na categoria A. O maior número de publicações na categoria A está na RBEF (7)

e no IJSE (6). O IJSE e o AJP possuem todos os artigos publicados e relacionados ao tema classificados na categoria A. A Tabela 3 apresenta o periódico, o ano de publicação, os autores, os conceitos envolvidos e a turma contemplada no projeto.

Tabela 3 – Revistas, ano, autores, tema e turma de aplicação.

Revista	Ano	Autores	Tema	Turma
RBEF	2006	Karam, R.A.S., Cruz, S.M.S.C.S. e Coimbra, D.	Relatividade do tempo.	1° EM
RBEF	2006	Machado, D.I. e Nardi, R.	Uso de hipermídia para a construção de conceitos de FM.	3° EM
RBEF	2007	Karam, R.A.S., Cruz, S. M.S.C.S. e Coimbra, D.	Princípio da relatividade.	1° EM
RBEF	2007	Guerra, A., Braga, M. e Reis, J.C.	Abordagem histórico-filosófica da Relatividade Restrita.	1° EM
RBEF	2008	Sales, G.L., Vasconcelos, F.H.L., Filho, J.A. de C. e Pequeno, M.C.	Modelagem exploratória do “Pato Quântico”.	32 alunos
RBEF	2013	Morais, A. e Guerra, A.	FM com o tema energia.	1° EM
RBEF	2013	Leite, I.S., Lourenço, A.B., Licio, J.G. e Hernandez S, A.C.	Nanociência e nanotecnologia.	80 alunos
AJP	2002	Zollman, D.A., Rebello, N.S. e, Hogg, K.	Uso de materiais diversos na Mecânica Quântica (MQ).	Alunos de 160 escolas
IJSE	2002	Olsen, R.V.	Dualidade onda-partícula.	Alunos da Noruega.
IJSE	2005	Ke, J.L., Monk, M. e Duschl, R., D.	Fenômenos subatômicos.	Alunos taiwaneses.
IJSE	2009	Adbo, K. e Taber R. K.	Modelos mentais de partículas.	18 alunos
IJSE	2009	Tsaparlis, G. e Papaphotis, G.	Química Quântica.	12°
IJSE	2012	Dimitriadi, K. e Halkia, K.	Teoria da Relatividade Especial (TER).	10°
IJSE	2013	Velentzas, A. e Halkia, K.	Experimentos mentais: “o elevador e o trem de Einstein”.	40 alunos
IENCI	2006	Arriassecq, I. e Greca, I.M.	TER: espaço, tempo, sistema de referência, observador, simultaneidade, postulado e teoria científica.	3° EM

IENCI	2009	Neto, R.A.C., Júnior,O.F., e Silva, J.L.P.B.	Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula e M.Q. de 1925-1927.	3º EM
REIEC	2004	Ostermann, F.; Moreira, M.A.	Supercondutividade.	1º e 3º EM
REIEC	2009	Otero, M.R; Fanaro, M.A.; e Arlego, M.	Experiência de fenda dupla, princípios da superposição e da correspondência, constante de Plank e interferência.	3º EM
REEC	2012	Hilger, T.R.; Moreira, M.A.	Detectar representações sociais de M.Q.	238 alunos <sup>1</sup>
CBEF	2005	Köhnlein, J.F.K. e Peduzzi, L.O.Q.	Relatividade Restrita.	3º EM
CBEF	2012	Cardoso, S.O.O. e Dickman, A.G.	Efeito fotoelétrico.	3º EM
LAPJE	2009	Fanaro, M.A.; Otero, M.R.	Aspectos fundamentais da M.Q.	3º EM
LAPJE	2010	Moreno, H., Guarín, E.D.	Relatividade do comprimento, dualidade onda-partícula e o princípio da superposição de estados.	15 alunos convidados.

Desta tabela, pode-se inferir que dos 23 artigos da categoria A, 5 foram aplicados em turmas de 1º ano, 8 em turmas de 3º ano, 1 teve como público-alvo alunos de 1º e 2º anos, 1 possui a amostra de alunos dos três anos do EM e 8 artigos usaram turmas formadas por alunos convidados. Observa-se que o ano de 2009 apresentou o maior número de publicações na categoria A, 5 artigos; a publicação de 3 artigos nos anos de 2012 e 2013; 2 artigos em 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 1 artigo publicado em 2008 e 2010; e nenhum artigo publicado na categoria A em 2003 e 2011.

Também com os dados da Tabela 3, verifica-se que os autores Karam, R.A.S., Cruz, S.M.S.C.S. e Coimbra, D. publicaram dois artigos na RBEF em 2006 e 2007. O autor Guerra, A. participou de dois artigos da RBEF em 2007 e 2013. Moreira, M.A. também participou de dois artigos, nas revistas REIEC e REEC em 2004 e 2012, respectivamente. Otero, M.R. e Fanaro, M.A. trabalharam juntos em dois artigos da REIEC e da LAJPE em 2009.

---

<sup>1</sup> A pesquisa foi realizada com o uso de questionário viabilizado na internet, sendo que dos 238 alunos que responderam: 87 eram do 1º ano, 72 do 2º ano e 79 do 3º ano do Ensino Médio, todos da região de Porto Alegre-RS.

Os temas abordados na categoria A dos artigos podem ser classificados nos grupo de: 7 artigos abordam temas da Relatividade; 4 tratam de metodologias diversas ou hipermídia; 4 aspectos gerais da FMC; 3 dualidade onda-partícula; 3 focalizam temas relacionados à Química Quântica ou Partículas Elementares; 1 Supercondutividade; e 1 Nanociência e Nanotecnologia.

A Tabela 4 apresenta a relação entre o nome da revista, autores(ano) e conclusões relevantes sob a perspectiva dos autores.

Tabela 4 – Revistas classificadas na categoria A e as conclusões relevantes sob a perspectiva dos autores.

Revista	Autores (ano)	Conclusões relevantes
RBEF	Karam, R.A.S., Cruz, S.M.S.C.S. e Coimbra, D. (2006)	A inserção da FM no EM, como apresentado pelos autores, foi efetivamente positiva (profícua).
RBEF	Machado, D.I. e Nardi, R. (2006)	(1) O computador atuou como fator motivador para os alunos; (2) os recursos visuais fizeram com que os alunos ficassem mais atentos, visualizassem os fenômenos, facilitando assim o raciocínio; e (3) os materiais de hipermídia (hipertexto) devem ser utilizados efetivamente no ensino médio.
RBEF	Karam, R.A.S., Cruz, S.M.S.C.S. e Coimbra, D. (2007)	(1) Momentos de debate na aula foram produtivos para o conteúdo ser gradativamente assimilado pelos alunos; (2) temas de FMC devem ser incorporados de forma orgânica à apresentação e ao desenvolvimento de teorias clássicas.
RBEF	Guerra, A., Braga, M. e Reis, J.C. (2007)	(1) Os temas de FMC devem integrar o currículo ao contrário de ser um apêndice; (2) o trabalho interdisciplinar pode dar ao aluno os pré-requisitos necessários; (3) o tema foi motivador para os alunos.
RBEF	Sales, G.L., Vasconcelos, F.H.L., Filho, J.A. de C. e Pequeno, M.C. (2008)	(1) O uso do recurso “Pato Quântico” tornou a sala de aula um espaço motivador e tornou a aprendizagem de Física facilitada; (2) este recurso também pode auxiliar na construção de novos modelos.
RBEF	Morais, A. e Guerra, A. (2013)	(1) A utilização da História e Filosofia da Ciência tornou possível a inserção de tópicos de FM; (2) este recurso não é apenas motivador, mas sim um objeto transformador capaz de trazer as discussões sobre ciência; (3) o tempo previsto no projeto foi insuficiente.
RBEF	Leite, I.S., Lourenço, A.B., Licio, J.G. e Hernandez S, A.C. (2013)	(1) Os alunos compreenderam diferentes conceitos relacionados a nanotecnologia e nanociência; (2) os alunos formaram e ampliaram sua base conceitual de maneira cooperativa entre os sujeitos envolvidos.

AJP	Zollman, D.A., Rebello, N.S. e, Hogg, K. (2002)	(1) A combinação de atividades práticas, a resolução de exercícios, e a interação com visualizações computacionais demonstrou funcionar bem no ambiente da sala de aula onde ocorrem as interações professor-aluno e aluno-aluno; e (2) os autores acreditam ter formado o alicerce para os aspectos mais importantes da Física do século XX para alunos do século XXI.
IJSE	Olsen, R.V. (2002)	A Física contida na escola deveria ter um foco mais explícito para o desafio que a Física Quântica apresenta à visão de mundo clássica, introduzindo assim a importância de uma dimensão afetiva na aprendizagem e no ensino da FQ.
IJSE	Ke, J.L., Monk, M. e Duschl, R., D. (2005)	Percebeu-se com o trabalho a necessidade de incluir atividades práticas sobre uma série de fenômenos precursores de forma a ampliar os modelos mentais dos alunos.
IJSE	Adbo, K. e Taber R. K. (2009)	Os resultados indicam que as mudanças nas abordagens de ensino são necessárias para apoiar o desenvolvimento de modelos mentais que refletem o conhecimento do aluno.
IJSE	Tsaparlis, G. e Papaphotis, G.(2009)	A abordagem de mudança conceitual empregando formas ativa e cooperativa de aprendizagem, mostrou-se eficaz em alguns casos e ineficaz em outros. No entanto, a metodologia utilizada pode ser utilizada para todos os tipos de estudante, independentemente do seu desempenho.
IJSE	Dimitriadi, K. e Halkia, K. (2012)	Os resultados mostram que os alunos do EM são capazes de compreender as ideias básicas da TER, mas existem algumas dificuldades causadas pelas concepções de absoluto.
IJSE	Velentzas, A. e Halkia, K. (2013)	Os resultados do trabalho revelam que o uso de experimentos mentais para ensinar a TR pode ajudar os alunos a perceber as situações que se referem a um mundo além de sua experiência cotidiana e desenvolver significados de acordo com a teoria; os alunos podem compreender as leis da Física e os princípios que exigem um alto grau de pensamento abstrato.
IENCI	Arriasecq, I. e Greca, I.M. (2006)	O trabalho permitiu detectar obstáculos que podem ser superados com o uso de revisões dos conceitos abordados desde a MC para em seguida serem abordados do ponto de vista relativista sob a perspectiva da contextualização histórica e epistemológica.
IENCI	Neto, R.A.C., Júnior,O.F. e Silva, J.L.P.B. (2009)	A maioria dos alunos entendeu que a utilização de probabilidade em MQ não é o reflexo da ignorância humana numa escala macroscópica.

REIEC	Ostermann, F. e Moreira, M.A. (2004)	(1) A aprendizagem de conceitos contemporâneos de física por estudantes do ensino médio não só é possível, mas também pode gerar um maior interesse em física; (2) os alunos podem melhorar a sua compreensão sobre os conceitos clássicos, bem como aprender novos conceitos através de analogias.
REIEC	Otero, M.R; Fanaro, M.A. e Arlego, M. (2009)	Os alunos do EM conseguem aprender noções de FM mesmo considerando pouco o número de horas aula de Física na Argentina (2 horas/semanais).
REEC	Hilger, T.R. e Moreira, M.A. (2012)	As representações sociais de conceitos quânticos estão sendo construídos e podem funcionar como fortes obstáculos epistemológicos para a apreensão de significados cientificamente aceitos nesta área; torna-se relevante compreender o universo dos alunos como um meio para obter melhoria na prática pedagógica; e as representações integram com o conhecimento prévio do aluno e se constituem subsunçores, que terão papel fundamental, não necessariamente no sentido de contribuir, para a ocorrência de aprendizagem significativa da FQ.
CBEF	Köhnlein, J.F.K. e Peduzzi, L.O.Q. (2005)	O módulo didático com o enfoque histórico-filosófico mostrou-se uma estratégia positiva capaz de envolver o aluno promovendo seu interesse e mudou significativamente as concepções dos alunos sobre ciência.
CBEF	Cardoso, S.O.O. e Dickman, A.G. (2012)	Houve entendimento dos alunos sobre o efeito fotoelétrico; no teste final os alunos alcançaram acerto acima de 67% para a maioria das questões; com base nestes resultados consideram a sequência elaborada é um material potencialmente significativo.
LAPJE	Fanaro, M.A. e Otero, M.R. (2009)	(1) O professor deve considerar e provocar o surgimento das ideias dos estudantes em situações e questões que permitam que os conceitos emergjam, em vez de ignorar ou bloqueá-los; e (2) o essencial é a negociação de significados entre professor-aluno e aluno-aluno, pois sem o diálogo (linguagem + emoção) não é possível a conceituação.
LAPJE	Moreno, H., Guarín, E.D. (2010)	(1) É possível fazer aulas diferentes com temas de FM; (2) o professor e o aluno tornam-se agentes da atividade científica, mesmo considerando-a em constante construção; a Física Moderna é instrumento para entender e compreender o mundo; é necessário considerar os conhecimentos prévios para garantir o desenvolvimento e a qualificação do indivíduo; deve-se tomar extremo cuidado com as analogias, pois estas podem gerar equívocos; (3) os alunos do EM têm capacidade em aprender tópicos de FM.

Esta tabela mostra que: (1) as experiências de inserção de FM no EM foram positivas; (2) elas atuam como fator motivador na sala de aula; (3) todos os autores defendem a ideia de que é necessário inserir tópicos FMC no currículo do EM e ainda, que os alunos são capazes

de compreendê-las; (4) as diferentes metodologias, estratégias e abordagens facilitam a aprendizagem de FMC; e, (5) ao inserir FMC alguns autores destacam como principais dificuldades apresentadas pelos alunos a Matemática, a ideia de conceitos absolutos, as representações sociais e as analogias, as quais, podem tornarem-se obstáculos epistemológicos.

### • Categoria B

A Tabela 2 mostra que, do total de artigos relacionados com o tema da tese, quinze foram classificados na categoria B. Percebe-se que o CBEF apresenta o maior número de publicações da categoria B (7), a RBEF (4), a SE (1), a IENCI (1), a REEC (1) e a LAJPE (1), no período de 2002 a 2013. A Tabela 5 relaciona a revista de divulgação científica em que foram publicados os trabalhos e classificados na categoria B, o ano da publicação, os autores, conceitos envolvidos e se a proposta didática foi validada.

Tabela 5 – Revistas, ano, autores, tema e implementação da intervenção didática.

Revista	Ano	Autores	Tema	Implementação
SE	2003	Kalkanis, G., Hadzidaki, P., Stavrou, D.	Visão qualitativa do mundo da Mecânica Quântica.	Sim, 3 grupos de futuros professores da Grécia, sendo 1 grupo de controle.
RBEF	2005	Peduzzi, L.O.Q. e Basso, A.C.	O átomo de Bohr.	Sim, 9 professores de Física atuantes no EM com diferentes níveis de formação.
RBEF	2007	Oliveira, F.F. de, Vianna, D.M. e Gerbassi, R.S.	Raios-X sob o enfoque CTS.	Sim, 10 professores da rede pública e privada do Rio de Janeiro.
RBEF	2012	Melhorato, R.L. e Nicoli, G.T.	Um experimento para desenvolver a aprendizagem de quantização de energia, modelo corpuscular da luz e condução elétrica.	Não.
IENCI	2005	Brockington, G., e Pietrocola, M.	Requisitos básicos para a inserção da Teoria Quântica no EM.	Não.
REEC	2005	Rosado, L. e Carmona, A.G.	Semicondutores.	Não.

REEC	2007	Machado, D.I. e Nardi, R.	Sistema de hipermídia sobre temas de FMC relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.	Sim, 17 estudantes do curso de Física Licenciatura e 5 pesquisadores da área de Ensino de Ciências.
CBEF	2004	Valadares, E.C. e Moreira, A.M.	Efeito fotoelétrico, laser e corpo negro.	Não.
CBEF	2004	Cavalcante, M.A. e Tavolaro, C.R.C.	Comportamento dual, fenômenos de interferência, difração, comportamento corpuscular da radiação, princípio da dualidade.	Não.
CBEF	2004	Arruda, S.M. e Filho, D.O.T.	Atividades experimentais de FM: bobina de Tesla, redes de difração e o efeito fotoelétrico.	Não.
CBEF	2006	Santos, R.P.B.	Uso de diagramas para a Teoria da Relatividade Restrita - “pêndulo equivalente”.	Não.
CBEF	2009	Caruso, F. e Freitas, N.	Tópicos de FM é apresentada na forma de tirinhas.	Não.
CBEF	2010	Souza, M.A.M.	Inserção conceitual da fenomenologia conceitual de Física Nuclear.	Não.
CBEF	2012	Silva, L.F. e Assis, A.	Um experimento para abordar o efeito fotoelétrico.	Não.
CBEF	2007	Fanaro, M.A., Arlego, M. e Otero, M.R.	Introduzir conceitos quânticos a partir da formulação de múltiplos caminhos de Feynman.	Não.

Do total, quinze artigos que sugerem alguma intervenção didática, várias não foram aplicadas em sala de aula, ou seja, apenas quatro apresentam a implementação. Assim, onze artigos apresentam uma sugestão de proposta sem a avaliação de professor, aluno ou pesquisador. A Tabela 6 apresenta algumas conclusões relevantes do ponto de vista dos autores.

Tabela 6 – Revistas, autores(ano) e conclusões relevantes.

Revista	Autores(ano)	Conclusões relevantes
SE	Kalkanis, G., Hadzidaki, P. e Stavrou, D. (2003)	(1) Quando conteúdos de FMC são introduzidos precocemente podem ocorrer equívocos graves; o trabalho permitiu ao educando entrar em contato com uma realidade construída e com a ideia de construção do conhecimento científico; impedindo que os alunos, ao ingressar ao ensino superior, tenham acesso apenas a um modelo ou formulação matemática; (2) o fator motivacional pode ser um ponto negativo, quando existe pouco interesse do aluno impedindo a mudança conceitual; com a MQ apresentada na forma conceitual a aprendizagem enriquece os conhecimentos adquiridos.
RBEF	Peduzzi, L.O.Q. e Basso, A.C. (2005)	(1) O trabalho oferece ao professor de Física do Ensino Médio uma alternativa não empirista para o tema átomo de Bohr na Física Moderna; (2) a contextualização histórica foi criticada e classificada como insatisfatória, pois consideraram baixo o grau de aprofundamento dos conteúdos (Planck e a radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico, as experiências e o modelo de Rutherford e as séries de Balmer e Paschen); (3) por outro lado, o tema foi considerado “pesado” e sugerem que o texto poderia ser mais atraente para o aluno, por exemplo, contendo mais figuras e ilustrações; as considerações críticas revelam a resistência da amostra de professores em inserir temas de FMC no Ensino Médio, mesmo havendo consenso em sua inserção.
RBEF	Oliveira, F.F. de, Vianna, D.M. e Gerbassi, R.S. (2007)	(1) Ao introduzir temas de FMC consideram importante priorizar o fenômeno e não o formalismo matemático; (2) houve unanimidade em relação à parte histórica, pois contextualizou o tema; (3) no ensino privado os professores consideram impossível trabalhar o tópico por não ser contemplado nas provas de vestibular; (4) os professores concordam que deveria ser promovida uma capacitação/atualização para que possam trabalhar o material em sala de aula e sugerem que seja incluído ao material outros recursos pedagógicos como vídeos, por exemplo. Os autores consideram o material uma ferramenta importante para a atualização do currículo, além de servir como agente motivador por estar mais próximo da realidade do aluno.
RBEF	Melhorato, R.L. e Nicoli, G.T. (2012)	Os autores esperam que a proposta seja um facilitador no ensino de Física e contribua para os que desejam e se comprometem a qualificar a educação no país.
IENCI	Brockington, G. e Pietrocola, M. (2005)	<i>“...parece possível introduzir conteúdos modernos através de uma transposição didática centrada em atividades que tenham uma maior ênfase na argumentação de cunho filosófico, privilegiando o debate e as características mais qualitativas do conhecimento.”</i>

REEC	Rosado, L. e Carmona, A.G. (2005)	(1) É uma necessidade educacional fornecer formação básica e abrangente nesta disciplina, a partir de níveis básicos de educação; (2) é possível trabalhar no Ensino Médio o tema Física de Semicondutores integrando os conteúdos de eletricidade (Física) e estrutura da matéria (Química); (3) os professores apresentam resistência à mudança curricular, bem como os livros didáticos apresentam pouca mudança nos temas abordados.
REEC	Machado, D.I. e Nardi, R. (2007)	(1) A diversidade de elementos de mídia favoreceu a visualização e interpretação dos fenômenos; (2) o hipertexto estruturado em conformidade com princípios ausubelianos contribuiu para a percepção da relação entre os conceitos e ajudou no desenvolvimento de subsunçores para apoiar a aprendizagem subsequente; (3) os autores obtiveram evidências de que a proposta didática trouxe benefícios para a aprendizagem de conteúdos procedimentais e atitudinais; (4) é necessário incluir análise de sistemas de hipermídias em cursos de formação de professores para que os mesmos entendam as suas potencialidades e passem a utilizá-los em seu planejamento de ensino.
CBEF	Valadares, E.C. e Moreira, A.M. (2004)	A proposta sugere experiências de baixo custo que permitem a vivência direta de alguns dos princípios relacionados à tecnologia atual.
CBEF	Cavalcante, M.A. e Tavolaro, C.R.C. (2004)	Os autores consideram que a proposta de uma oficina que permite a discussão de fundamentos da FM no EM pode instigar uma atualização no currículo.
CBEF	Arruda, S.M. e Filho, D.O.T. (2004)	Os experimentos apresentados têm caráter demonstrativo e pretendem viabilizar uma proposta de inserção de FM no EM.
CBEF	Santos, R.P.B. (2006)	Os autores acreditam que a proposta é muito útil para os professores que queiram introduzir as abstrações da FM.
CBEF	Caruso, F. e Freitas, N. (2009)	Os autores consideram que seu trabalho: pode motivar os alunos a estudar Física; é uma abordagem lúdica e divertida da FM; é viável traduzir a FM para a linguagem de história em quadrinhos.
CBEF	Souza, M.A.M. (2010)	Com este trabalho os autores consideram que: (1) o trabalho explorou os aspectos conceituais deixando a formulação matemática de lado; (2) esclarece a importância da intervenção do professor como ponte entre o saber teórico, conhecimento prático e contextual; (3) uma sugestão importante é o uso de vídeos da internet; (4) a ciência deve ser divulgada entre os jovens com o objetivo de despertá-los para a realidade da sociedade tecnológica, servindo como veículo de inclusão e estímulo para a formação de novos cientistas.

CBEF	Silva, L.F. e Assis, A. (2012)	Os autores consideram que o experimento de baixo custo pode ser desenvolvido de forma contextualizada com as aplicações tecnológicas vivenciadas pelo professor e que a interação social através do diálogo em sala de aula pode despertar a curiosidade e a motivação dos alunos em aprender Física.
CBEF	Fanaro, M.A., Arlego, M. e Otero, M.R. (2007)	Os autores pretendem promover a aprendizagem significativa de conceitos quânticos a partir da formulação de múltiplos caminhos de Feynman do tema abordado.

Os dados da Tabela 6 mostram que as conclusões dos autores estão limitadas a expectativas de uma futura aplicação para os onze artigos ou dos professores envolvidos em sua implementação para os quatro artigos. Assim, os autores consideram que a FMC deve ser inserida no currículo do EM e acreditam que as propostas são viáveis.

#### • Categoria C

De acordo com a Tabela 2, cinco artigos foram classificados na categoria C e distribuem-se três artigos no CBEF, um na RBEF e um artigo na IENCI. A Tabela 7 relaciona as revistas cujos trabalhos estão contemplados na categoria C, o ano de publicação, seus autores e o tipo de literatura revisada no artigo.

Tabela 7 – Revistas classificadas na categoria C, ano, autores e literatura revisada.

Revista	Ano	Autores	Literatura revisada
RBEF	2012	Dominguini, L.	Livros didáticos disponibilizados pelo Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLDEM) e analisa a opinião dos autores sobre a inserção de FM no EM.
IENCI	2009	Pereira, A.P. e Ostemann, F.	Os autores apresentam a revisão de literatura de 102 artigos sobre o ensino de FMC nas principais revistas de 2001 a 2006.
CBEF	2002	Ostermann, F. e Ricci, T.F.	Revisa os livros de EM (Gonçalves e Toscano; Anjos, Ramalho et al.; Bonjorno et al.; e Paraná) para verificar o assunto contração de Lorentz-Fitzgerald e a aparência visual de objetos relativísticos no contexto da introdução de tópicos sobre Relatividade Restrita.
CBEF	2004	Ostermann, F. e Ricci, T.F.	Os autores analisam a abordagem dos conceitos de massa relativística e da equivalência massa-energia em livros didáticos do EM - Carron e Guimarães; Gaspar; Máximo e Alvarenga; Bonjorno; Cabral e Lago; Amaldi; Nicolau, Penteado, Soares e Torres.

CBEF	2011	Silva, A.C. e Almeida, M.J.P.M.	Uma revisão bibliográfica de artigos científicos nacionais e internacionais (total de 23) foi realizada para verificar as contribuições da pesquisa em Ensino de Ciências e qual a natureza destas contribuições para a inserção de FQ no EM.
------	------	---------------------------------	---

Os dados da Tabela 7 mostram que três artigos apresentam revisão de livros didáticos utilizados no EM e dois revisam os artigos de Ensino de Ciências sobre o tema FMC no EM. A Tabela 8 relaciona o nome da revista, os autores/ano e as considerações relevantes dos autores.

Tabela 8 – Revista, autores(ano) e considerações relevantes.

Revista	Autores(ano)	Considerações relevantes
RBEF	Dominguini, L. (2012)	(1) Todos os livros didáticos do PNLEM apresentam conteúdos de FM; (2) o livro Gonçalves Filho e Toscano é o único que não traz uma unidade ou capítulo específico para FM; (3) o livro dos autores Luz e Álvares apresenta um capítulo específico e textos dispersos; (4) os autores Gonçalves e Filho, e Luz e Álvares entendem que a FM é um suplemento informativo e que deve ser ensinado quando houver tempo e disponibilidade no currículo (recomendam a leitura); (5) os autores Gaspar, Penteadó e Torres e Sampaio e Calçada consideram a FM um conteúdo essencial a ser ministrado no EM e o tema é desenvolvido no último capítulo do volume 3; (6) sobre os tópicos abordados temos: (a) Gaspar descreve tópicos sobre Mecânica Quântica, Teoria da Relatividade e Física Nuclear; (b) Gonçalves Filho e Toscano descrevem sobre Teoria da Relatividade, dualidade onda-partícula e modelos atômicos; (c) Luz e Álvares apresentam Teoria da Relatividade, relação massa-energia, física atômica/nuclear e astrofísica/cosmologia; (d) Penteadó e Torres abordam Teoria da Relatividade, MQ e Física Nuclear; e (e) Sampaio e Calçada descrevem sobre a Teoria da Relatividade, MQ e Física Nuclear; (7) a escolha do livro didático é do professor, mas o objetivo do trabalho é alertar os professores sobre as diferentes abordagens apresentadas nos livros.

IENCI	Pereira, A.P. e Ostemann, F. (2009)	O trabalho categoriza a revisão em: (1) propostas didáticas testadas em sala de aula – 22 trabalhos; (2) levantamento de concepções – 16 trabalhos; (3) bibliografia de consulta para professores – 52 trabalhos; e (4) análise curricular – 12 trabalhos. Os autores concluem que o aumento em publicações do tema FMC ocorreu principalmente na categoria da bibliografia de consulta para professores e consideram necessário o aumento nas investigações dos processos em sala de aula que constroem e conduzem a aprendizagem, pois quando isso ocorrer os envolvidos no processo compreenderão melhor os mecanismos utilizados tanto pelo professor quanto pelo aluno na construção de conhecimentos de FMC.
CBEF	Ostermann, F. e Ricci, T.F.	A maioria dos livros não aborda o tema e quando aborda é de forma superficial; os textos não promovem a ruptura necessária com o senso comum, comprometendo, assim, a correta aprendizagem dos conceitos envolvidos; a linguagem imprecisa pode reforçar as concepções espontâneas de alunos e professores; os autores reconhecem que o caminho é longo até que temas da Física do século XX sejam amplamente discutidos e tornando-os compatíveis com as novas tendências curriculares; os autores esperam ter contribuído com subsídios aos professores e alertar a necessidade de um maior rigor na linguagem empregada.
CBEF	Ostermann, F. e Ricci, T.F. (2004)	Os autores concluem que a abordagem confunde o leitor e não expressa o rigorismo necessário.
CBEF	Silva, A.C. e Almeida, M.J.P.M. (2011)	Os autores encontram apenas um trabalho que manifesta as concepções dos professores sobre FQ/FMC e concluem que, apesar de encontrarem vários artigos apresentando diferentes abordagens, é necessária a realização de mais trabalhos, a fim de apoiar o professor do EM, pois será ele ou ela quem irá mediar a inserção da FQ na escola.

Os dados da Tabela 8 permitem concluir que o livro didático, considerado o instrumento mais utilizado pelo professor para a busca e divulgação dos conteúdos abordados em sala de aula, é um instrumento precário na abordagem de temas de FMC no EM, sendo que alguns livros não abordam o tema e outros que o abordam não apresentam o rigor necessário. Considerando os dois trabalhos que revisam os artigos publicados sobre FMC no EM pode-se inferir que a maioria dos artigos apresenta materiais instrucionais para professores e poucos trabalhos relatam sobre o processo de aprendizagem na sala de aula. Também, considera-se necessário um maior número de pesquisas na área para dar apoio aos professores do EM.

• **Categoria D**

Nesta categoria foram incluídos os artigos classificados como *diversos* que contemplam o tema FMC no EM. A Tabela 2 evidencia seis artigos classificados na categoria D, 3 artigos publicados na C&E, 2 na REIEC e 1 artigo na revista LAPJE. A Tabela 9 apresenta os artigos classificados na categoria D, o ano, os autores e a descrição do trabalho realizado.

Tabela 9 – Revistas, ano, autores e literatura revisada.

Revista	Ano	Autores	Descrição do trabalho realizado
C&E	2002	Arriassecq, I. e Greca, I.M.	O artigo apresenta uma série de considerações emergentes de História da Ciência, Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências, sobre o tema TER para o EM.
C&E	2005	Lobato, T. e Greca, I.M.	As autoras relatam um estudo acerca dos currículos de Física de alguns países, sobretudo no que diz respeito à Teoria Quântica, a grande invenção do século XX, tentando identificar os conteúdos selecionados e a maneira como estes se integram nas orientações curriculares gerais.
C&E	2009	Monteiro, A.M., Nardi, R. e Filho, J.B.B.	Os autores investigaram, em 2007, o discurso de cinco professores de Física de um município da região Nordeste, visando compreender a possibilidade destes introduzirem a FMC em suas aulas de Física e em que medida estas possibilidades estão associadas às suas formações profissionais.
REIEC	2004	Arriassecq, I. e Greca, I.M.	As autoras investigam as dificuldades enfrentadas por aqueles que têm abordado em sala de aula o tema TER, os conceitos prévios considerados necessários para o aluno e textos geralmente consultados para preparar suas aulas e recomendados aos seus alunos.
REIEC	2012	Monteiro, A.M., Nardi, R. e Filho, J.B.B.	Apresenta a investigação de natureza qualitativa: entrevistam dez professores de Física atuantes na educação básica brasileira para avaliar as formações iniciais, em relação ao tema FMC. Os professores que participaram, na época, haviam concluído a formação básica há menos de cinco anos.
LAPJE	2011	Rodrigues, C.M. e Sauerwein, I.P.S.	As autoras analisam os conteúdos abordados nas disciplinas que compõem a área das ciências da natureza e suas tecnologias: Biologia, Física e Química, com as perspectivas das relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e a inserção de FMC no Ensino Médio.

A Tabela 9 evidencia a diversidade dos temas envolvidos na categoria D. Na Tabela 10 são apresentadas as revistas cujos trabalhos elencados estão classificados na categoria D, autores/ano e considerações relevantes apresentadas por seus autores.

Tabela 10 – Revistas, autores/ano e considerações relevantes.

Revista	Autores(ano)	Considerações relevantes
C&E	Arriassecq, I. e Greca, I.M. (2002)	O trabalho tem como objetivo: (1) servir como uma contribuição para os professores, apresentando a TER contextualizada em termos de visão histórica, epistemológica e didática; (2) contribuir para a incorporação de conteúdo mais recente no currículo de ciências no nível médio e politécnico; (3) evitar uma imagem distorcida da metodologia científica de que cientistas são “super gênios”; e (4) avaliar as contribuições de várias figuras históricas na gênese de uma concepção científica.
C&E	Lobato, T. e Greca, I.M. (2005)	As conclusões foram: (1) A <i>abordagem tradicional</i> (via histórica – final do ano letivo) encontra-se nos currículos de Portugal, Espanha, Itália e Finlândia. Introduce a TQ através da hipótese de Planck e efeito fotoelétrico, princípio da incerteza e da dualidade onda-partícula. Nos demais países analisados (Reino Unido, Dinamarca, Suécia Canadá e Austrália, esta abordagem tem sido que a TQ começa a ser estudada logo no início do ciclo de estudos do secundário, para ser posteriormente retomada, numa perspectiva de aprofundar os conhecimentos adquiridos. A estratégia de introdução já não está relacionada com a cronologia dos acontecimentos, mas com a lógica dos temas escolhidos para organizar o currículo. Considerando os conteúdos de TQ, questiona-se: qual será a melhor maneira de abordá-los? As autoras indicam que não se pode ignorar a necessidade de organizar trabalhos de investigação com o objetivo de melhorar a preparação científica de professores que venham a dedicar-se ao ensino da TQ.
C&E	Monteiro, A.M., Nardi, R. e Filho, J.B.B. (2009)	Os autores concluem que: (1) apesar do crescente número de pesquisas, com justificativas diversas, advogando a introdução da FMC no EM não se observa tal entusiasmo entre os professores de Física que fazem parte da presente pesquisa mas sim, uma racionalidade técnica; (2) conforme o perfil de formação de professores, mencionado acima, está distante dos professores planejarem estratégias de ensino contemplando a FMC; (3) para a FMC ser introduzida no EM é imprescindível se discutirem, urgentemente, outras perspectivas para a formação de professores de Física.

REIEC	Arriassecq, I. e Greca, I.M. (2006)	As autoras concluem que: (1) os professores concordam sobre a importância da inserção do tema TER no EM; (2) os professores não tiveram a oportunidade de aprofundar e refletir sobre os conceitos centrais envolvidos na TER, pois é geralmente tratado no nível de graduação; (3) o livro didático parece ser o principal recurso utilizado para a preparação das aulas; (4) para preparar as aulas os professores, em sua maioria, recorrem apenas a livros de nível médio; (5) os professores deveriam ter a oportunidade de realizar cursos de aperfeiçoamento e atualização, bem como, cursos para analisar as contribuições da pesquisa no ensino e para utilizar de maneira crítica a literatura em geral; (6) ainda se faz necessário o desenvolvimento de materiais para professores e alunos utilizarem.
REIEC	Monteiro, A.M., Nardi, R. e Filho, J.B.B. (2012)	A interpretação dos discursos evidencia que: (1) a formação dos professores, no tocante ao ensino da FMC, mostra-se basicamente fundamentada nos preceitos da racionalidade técnico-instrumental; (2) a perspectiva técnica não contribuiu para a construção da autonomia e emancipação dos professores; (3) o estudo evidencia a necessidade de os professores formados revisarem suas práticas de ensino, como também estudarem outras possibilidades de estruturação curricular do ensino da FMC; (4) para os conteúdos de FMC serem contemplados nos programas de EM este tópico deve ter uma abordagem com metodologias de ensino diferenciadas, sugestões e orientações didáticas para o professor construir sua autonomia; e (5) o maior obstáculo do cotidiano escolar para o professor transitar com o novo é o fato de o mesmo não apoiar a reconstrução da prática dos professores entrevistados.
LAPJE	Rodrigues, C.M. e Sauerwein, I.P.S. (2011)	As autoras concluem que: (1) é relevante o número de pesquisadores que defendem que o ensino deve abordar assuntos da vida cotidiana do aluno, no entanto, isso se constitui num desafio; (2) o professor aborda apenas assuntos tratados no livro didático e/ou nos programas de ingresso ao ensino superior; (3) quando o professor tenta levar um assunto contemporâneo se depara com uma linguagem densa que exige dedicação e tempo de estudo; (4) deve haver diálogo entre os professores para compartilhar e discutir suas ideias; (5) deve ser disponibilizado tempo para os professores discutirem suas ideias; (6) professores e autoridades devem questionar que sujeito pretendem formar no EM.

A revisão da literatura realizada nos permite concluir que existem muitas publicações com o tema FMC no EM; algumas são vagas e pouco contribuem para a realidade do professor de Física do EM, mas em sua maioria apresentam contribuições significativas para a

prática em sala de aula, e permitem a discussão de problemas enfrentados pelos professores do EM (formação inicial e continuada precária, currículo defasado). As informações obtidas nos artigos muitas vezes não estão ao alcance do professor do EM, ainda que, muitas publicações sejam realizadas no âmbito de cursos de mestrado e ou doutorado para professores. De acordo com esta revisão da literatura, acredita-se que as pesquisas na área de Ensino e em Física no tema FMC devam continuar para que, gradativamente, consiga-se despertar o interesse de um maior número de pesquisadores e professores. O presente trabalho pretende contribuir de forma significativa nos estudos realizados até o momento, com o desenvolvimento de uma intervenção didática utilizando a UEPS Laser de Rubi.

O próximo capítulo tem como foco a fundamentação teórica, em termos de aprendizagem, e os conteúdos físicos abordados na UEPS.

## Capítulo 3

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na primeira parte desse capítulo são apresentadas as teorias de aprendizagem que dão suporte para a análise e compreensão dos resultados obtidos no trabalho: a Teoria da Assimilação da Aprendizagem e da Retenção Significativas de Ausubel (2000), com alguns vieses da Teoria da Educação de Gowin (1981), da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983). Na segunda parte desse capítulo, são abordados os conhecimentos físicos envolvidos: princípio da conservação do momento angular, leis de Kepler, quantização do momento angular, modelo atômico de Bohr, quantização da energia, diagramas de energia, inversão de população e laser de rubi.

#### 3.1. Teoria da Assimilação e da Retenção Significativas de Ausubel

A obra *“Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva Cognitiva”* de David Ausubel consiste em uma resposta mais sucinta comparada com sua obra anterior, à questão-foco, “Como o aprendiz adquire aprendizagem significativa em uma situação formal de ensino?”

A teoria de Ausubel é uma teoria cognitivista que descreve o processo de assimilação<sup>2</sup> na aprendizagem e na retenção significativas, sendo a Aprendizagem Significativa a primeira fase do processo e, na sequência a Retenção e o Esquecimento.

##### 3.1.1. Aprendizagem Significativa

A maior contribuição de Ausubel para as teorias de aprendizagem é o conceito de *Aprendizagem Significativa* que, para ele, é um processo pelo qual uma nova informação se

---

<sup>2</sup>Refere-se ao significado da palavra Assimilação atribuído por Ausubel, definido no decorrer do texto.

relaciona de maneira não arbitrária e não literal com algum conhecimento especificamente relevante da estrutura cognitiva do indivíduo chamado de subsunçor ou conceito subsunçor (Moreira, 2001). Destaca-se como fator mais importante para a aprendizagem significativa aquilo que o aprendiz já sabe, ou seja, precisa-se *descobrir isso para ensinar significativamente*. Considerar o que o aprendiz já sabe requer ao professor conhecer a estrutura cognitiva do aprendiz na área relevante à aquisição de novos conhecimentos e desenvolver estratégias para que o aluno externalize o seu conhecimento prévio, como por exemplo, utilizando os mapas conceituais de Novak (2000).

Na aprendizagem significativa é utilizada a metáfora que o novo conhecimento ancora-se nos subsunçores e assim adquirem significados. Porém, a aprendizagem significativa é um processo dinâmico em que ocorre a interação substantiva (não-literal, não ao pé-da-letra) e não-arbitrária (não é com qualquer conhecimento, é com um conhecimento relevante) da nova informação e os subsunçores do aprendiz. Assim, a metáfora conduz a ideia de processo estático por parte do subsunçor, o que não é verdade. Quando ocorre o processo da aprendizagem significativa tanto as novas informações quanto os subsunçores são modificados e adquirem novos significados. O sentido da palavra assimilação atribuído por Ausubel pode ser entendido definindo **a** como a nova informação potencialmente significativa que é relacionada e assimilada por um conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva do aprendiz, denominado **A**, que possui como produto interacional o subsunçor modificado **A'a'**, ou seja, no processo de assimilação tanto a nova informação como o subsunçor são modificados pela interação e permanecem co-participantes de uma nova unidade **A'a'** que nada mais é do que o subsunçor modificado, (Moreira, 2001, p.25). Também, ilustra-se o processo de assimilação com a interação única entre **a** e **A**, de modo a facilitar o entendimento, porém, uma nova informação interage também com outros subsunçores e o grau de assimilação depende da importância de cada subsunçor.

Segundo Ausubel, a estrutura cognitiva do aprendiz é única, por isso o significado adquirido também é único. Pode-se então, distinguir o significado lógico do significado psicológico. O primeiro depende apenas do “material”, por si só, utilizado para promover a aprendizagem significativa, e o segundo depende do “material” e suas relações interativas com a estrutura cognitiva do aprendiz. Quando um professor apresenta ao aluno um texto

(com significado lógico), diz-se que ocorreu aprendizagem significativa deste texto quando o significado lógico transformou-se em significado psicológico para o aluno.

Mas são duas as condições que favorecem a aprendizagem significativa:

- o material de aprendizagem ser potencialmente significativo;
- a predisposição do aprendiz de aprender significativamente.

Considera-se um material potencialmente significativo quando tem significado lógico e o aprendiz tem subsunçores adequados; e, a pré-disposição do aprendiz pressupõe uma intencionalidade, em querer aprender, de modo que possa relacionar o novo material com seus conhecimentos prévios. Sabe-se que aprendizagem significativa não é sinônimo de material significativo, como já mencionado anteriormente, ele é potencialmente significativo e depende do significado atribuído pelo aprendiz (significado psicológico), pois o material potencialmente significativo pode também ser apreendido de forma mecânica. Neste trabalho utilizou-se a metodologia didática da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (Moreira, 2011) com o objetivo de construir um material potencialmente significativo.

O material potencialmente significativo segue os princípios da:

- diferenciação progressiva – que reconhece a natureza hierárquica da dinâmica da estrutura cognitiva, da retenção e da organização dos conteúdos;
- reconciliação integradora – é a retomada das unidades conceituais de forma a relacionar ideias, explicitando semelhanças e diferenças entre as novas informações e os subsunçores, podendo ser facilitada se o professor antecipar ao aluno aspectos gerais dos conteúdos a serem trabalhados.

Ausubel propôs estes dois princípios com base em duas hipóteses:

- a aprendizagem de ideias diferenciadas é facilitada se o aprendiz reconhece o todo ao qual a ideia foi diferenciada;

- a estrutura cognitiva é hierárquica e as ideias mais amplas estão no topo da estrutura e, progressivamente incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos (Moreira, 2001).

Existem três tipos de aprendizagem significativa, a representacional, a conceitual e a proposicional, que abrangem representações, conceitos e proposições, respectivamente. A aprendizagem significativa representacional é o tipo mais básico comparado com as outras, porém as demais dependem dela. Pode-se definir que é a identificação de significados (palavras) com os respectivos objetos. A aprendizagem significativa conceitual é a identificação de generalizações, regularidades e categorias com os respectivos objetos. A aprendizagem proposicional é o tipo de aprendizagem de nível superior em que o aprendiz adquire o significado de ideias em forma de proposições.

A aprendizagem significativa também subdivide-se em três formas, subordinada, superordenada e combinatória. Na aprendizagem significativa subordinada, também conhecida como aprendizagem por subsunção, o novo conhecimento relaciona-se significativamente com conceitos ou proposições subordinantes específicos existentes na estrutura cognitiva do aluno e pode ser considerada derivativa, se o material apenas exemplifica ou apoia a ideia já existente na estrutura cognitiva do aprendiz ou, correlativa se o material implica a qualificação de conhecimentos anteriormente apreendidos. A aprendizagem superordenada é a aprendizagem que ocorre quando um novo conceito ou proposição relaciona-se de modo hierarquicamente superior com ideias subordinadas da estrutura cognitiva existente do aprendiz. A aprendizagem significativa combinatória ocorre quando o conhecimento potencialmente significativo relaciona-se a uma combinação de conteúdos existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2000).

A aprendizagem significativa requer ligações interativas substantivas e não-arbitrárias com a estrutura cognitiva do aprendiz, porém na aprendizagem por simples memorização, ou mecânica, não ocorrem ligações significativas e integradoras com a estrutura cognitiva existente. No entanto, a relação entre a aprendizagem mecânica e significativa estabelecida por Ausubel não é dicotômica, mas sim, como um contínuo (Moreira, 2011). Na perspectiva de Ausubel, a aprendizagem por memorização é definida como a aprendizagem de novas informações de maneira arbitrária e literal com pouca ou nenhuma interação com a estrutura cognitiva existente. Quer dizer, a diferença fundamental entre os processos de aprendizagem

por memorização e significativa é o tipo de relação estabelecida com a estrutura cognitiva: arbitrária e literal ou não arbitrária e não literal.

Retomando o processo de assimilação, pode-se destacar sua importância não somente no processo de aquisição e retenção de significados, mas também no mecanismo de esquecimento. A aprendizagem significativa e o esquecimento dependem da relação entre a estrutura cognitiva do aprendiz (subsunçores) e o material potencialmente significativo, bem como, da subsunção obliteradora (perda gradual e espontânea dos novos significados obtidos por essa relação). O estágio obliterador do processo de assimilação ocorre quando o significado das novas ideias, no decorrer do tempo, tende a ser reduzido ou assimilado pelos significados mais estáveis e mais amplos. Este estágio pode ser entendido como a redução da memória ao menor denominador comum em que as novas informações e o conceito subsunçor não são mais reconhecidos como unidades e, sim, como parte integrante da estrutura cognitiva dissociada, ou ainda,  $A'a'$  torna-se  $A'$ . Portanto, o esquecimento na perspectiva ausubeliana é a continuação temporal do processo de assimilação que facilita a aprendizagem e a retenção de novas informações, (Moreira, 2001, p.27).

Assim, reafirma-se que a aprendizagem significativa depende do conceito subsunçor  $A$  existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Porém, questiona-se: o que poderá ser feito, caso o aluno não possua o subsunçor  $A$  necessário para “ancorar” a nova informação? A pergunta possui duas respostas, segundo Ausubel, utilizar a memorização como construção de um subsunçor ou utilizar os organizadores prévios. Os organizadores prévios são definidos como materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido. Para Ausubel, a principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa, (Moreira, 2001, p.21). Ausubel propõe o organizador prévio como uma estratégia para manipular a estrutura cognitiva do aprendiz e, em consequência, promover a aprendizagem significativa.

O organizador prévio ou organizador avançado pode, em princípio, ser utilizado para tornar possível o processo de obtenção de subsunçores, ainda que provisórios, para que as novas informações sejam apreendidas significativamente. Assim, o processo de ancoragem torna-se mais estável e com a vantagem de fornecer ideias gerais e inclusivas como ideias-

âncora, além de tentar identificar informações relevantes da estrutura cognitiva e relacioná-las ao novo material de aprendizagem.

### **3.1.2. Retenção Significativa e Esquecimento**

Existem três processos de assimilação na fase da aprendizagem significativa, a ancoragem seletiva da nova informação aos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, a assimilação obliteradora e a retenção. A aprendizagem significativa não é concluída com a aquisição de novos significados, mas sim é seguida da retenção e do esquecimento, que são considerados os próprios resultados e sequelas naturais do processo de assimilação.

A terceira fase do processo de assimilação é denominada retenção-esquecimento. A retenção que é compreendida como o armazenamento de significados das novas ideias ancoradas que por um certo intervalo de tempo limitado podem ser dissociadas. Porém, quando a força de dissociabilidade está abaixo do limiar da dissociabilidade, a nova informação cai no esquecimento ou na redução gradual das informações (obliteração). Geralmente, a força de dissociabilidade do novo significado adquirido sofre um decréscimo com o passar do tempo, podendo ficar reduzida a zero. Isto acontece porque para a estrutura cognitiva do aprendiz é menos oneroso recordar um significado geral do que um significado específico.

Essas duas fases da assimilação, que são aprendizagem significativa e retenção-esquecimento, conjugam que as ideias estáveis e estabelecidas na estrutura cognitiva interagem de forma seletiva com as novas informações resultando na aquisição de novos significados. Estes sofrem uma estabilização, através do armazenamento da nova informação junto às informações já existentes na estrutura cognitiva, sendo que, neste período, a dissociabilidade é máxima. Porém, com o tempo ocorre a redução gradual gerada por tensões cognitivas, como por exemplos particularidades, qualificações, entre outros fatores. Existem variáveis cognitivas e sociais que podem influenciar tanto a aprendizagem significativa quanto a retenção e o esquecimento (Ausubel, 2000).

Considerando que a estrutura cognitiva é uma variável relevante e crucial para a aprendizagem significativa pode-se inferir que todas as experiências de aprendizagem influenciam de forma positiva ou negativa sobre a nova ideia a ser adquirida na aprendizagem significativa e na retenção. Assim, toda aprendizagem significativa envolve, necessariamente a transferência, ou melhor, toda aprendizagem significativa é influenciada pela estrutura cognitiva do aprendiz. Considera-se que, se a estrutura cognitiva do aprendiz for clara, organizada e estável a tendência é reter a força de dissociabilidade; na situação contrária, a tendência é inibir a aprendizagem significativa e a retenção. Estas duas fases podem ser facilitadas com o fortalecimento de significados relevantes da estrutura cognitiva. Na perspectiva ausubeliana a estrutura cognitiva pode ser influenciada de forma:

- substantiva, com as propriedades integradoras dos conceitos e princípios unificadores utilizados com o aprendiz;
- sistemática, com o uso de material instrucional adequado, da manipulação de variáveis cognitivas e sociais de motivação da personalidade (Ausubel, 2000).

Ausubel elege três variáveis mais importantes da estrutura cognitiva, que são:

- subsunçores para a nova informação, ou seja, ideias relevantes para a aprendizagem de novas informações;
- o limite para discriminar as ideias dos conceitos e princípios, ou seja, a capacidade de discriminar semelhanças e diferenças entre a nova informação e o subsunçor;
- a clareza e a estabilidade das ideias ancoradas, que são determinadas em sua maioria, por terem sido bem aprendidas e bem consolidadas.

A capacidade intelectual do aprendiz na teoria de Ausubel é a capacidade de transformar ideias novas em ideias potencialmente significativas. Esta capacidade também denominada de prontidão aumenta com a idade e a experiência, ou seja, a prontidão cognitiva do aprendiz é determinada pela maturidade cognitiva. Esta prontidão não se desenvolve sem estímulos do ambiente, por exemplo, na casa e ou escola frequentados pelo aprendiz. Da mesma forma, as fases da maturidade cognitiva do indivíduo variam dependendo das

experiências culturais, subculturais, idiossincráticas, e de fatores como QI e a aptidão diferencial, (Ausubel, 2000).

### **3.1.3. Implicações da Aprendizagem e da Retenção Significativas no Ensino**

Atualmente existe um desencanto relacionado ao ensino expositivo e à aprendizagem por recepção. Isso acontece porque muitos professores apresentam uma matéria potencialmente significativa de modo literal fazendo com que o aluno só aprenda por memorização, e mais, que o aluno só aprende através de técnicas algorítmicas de resolução de problemas e de descoberta de respostas corretas. Outro problema, citado por Ausubel, é que por falta de informação, a aprendizagem por recepção é utilizada como sinônimo de aprendizagem por memorização sem significado. Exemplifica-se, que nos círculos educacionais a abordagem de ensino expositivo e de aprendizagem por recepção são vistas como baseadas em verbalismos vazios, desprovidos de qualquer significado e de compreensão. Por isso, ao conversar com professores de escolas os mesmos dizem optar pela aprendizagem por descoberta, ao invés da aprendizagem por recepção.

De acordo com Ausubel existem evidências empíricas que demonstram a superioridade ou a eficácia da aprendizagem e da retenção significativas comparada à aprendizagem e retenção por memorização mecânica. Apontam-se três razões:

- o processo de aprendizagem e retenção significativas ocorre entre o material não literal, não arbitrário e logicamente construído, entre professor e aluno ou, ainda, entre o material potencialmente significativo e a estrutura cognitiva do aprendiz;
- a aprendizagem e a retenção significativas de uma nova informação ancora-se no subsunçor do aprendiz causando maior tempo de retenção e maior quantidade de informações altamente estáveis na estrutura cognitiva do aprendiz;
- o contato inicial do aluno com o material potencialmente significativo tendo a visão geral do conteúdo a ser apreendido torna a aprendizagem agradável, familiar e pode aguçar a curiosidade intelectual.

O professor que pretende seguir a Teoria da Assimilação da Aprendizagem e Retenção Significativas possui quatro tarefas principais:

- identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino e organizá-la de forma hierárquica;
- identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o aluno deveria ter em sua estrutura cognitiva para aprender significativamente este conteúdo;
- diagnosticar aquilo que o aluno já sabe;
- auxiliar o aluno a assimilar a estrutura da matéria de ensino e organizar sua estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, através de conhecimentos estáveis, claros e transferíveis (Moreira, 2011).

Também, pode-se acrescentar que o professor possui ainda a tarefa de avaliar se o aluno aprendeu ou não significativamente. Ausubel propõe que o professor apresente uma nova situação-problema ao aluno, ou seja, uma situação a que o aluno não possui familiaridade e, assim, se o aluno conseguir resolver essa situação transferindo o conhecimento adquirido, admite-se que o aluno aprendeu significativamente. Por outro lado, Moreira propõe a ideia de que o professor busque evidências de uma aprendizagem significativa, não de forma radical como propõe Ausubel, mas sim que o professor apresente situações novas progressivamente, em graus diferentes e crescentes de dificuldades.

### **3.2. Os Viéses da Teoria da Educação de Novak e do Modelo de Ensino-Aprendizagem de Gowin**

A teoria da educação de Novak (2000) possui a premissa de que o aluno pensa, sente e atua integradamente, e ainda considera que a educação é o conjunto de experiências que contribuem para o “*empowerment*” do ser humano. Sendo um evento educativo definido como uma ação de troca de significados e sentimentos entre professor e aluno. O sentido atribuído ao termo “*troca de significados*” é definido no modelo de Gowin, descrito adiante.

Na perspectiva de Novak, o evento educativo envolve cinco elementos: direta ou indiretamente *professor* e *conhecimento*, a troca de significados e sentimentos entre *professor* e *aluno* em algum lugar (*contexto*), sendo os quatro elementos interligados pela *avaliação*. Os cinco elementos visam um único objetivo, a aprendizagem significativa. Sugerem-se os

diagramas Vê e os mapas conceituais como possíveis estratégias de facilitação da aprendizagem significativa e avaliação dessa aprendizagem.

O modelo de ensino-aprendizagem de Gowin tem como conceito-chave o compartilhar significados, este é o viés que foi utilizado neste trabalho. Entende-se que o conceito de compartilhar significados, pode ser interpretado como negociar significados ou o uso da “dialogicidade”. Este é um conceito fundamental para o presente trabalho. Para Gowin existe uma relação tríade ente professor-aluno-materiais educativos que tem como objetivo o compartilhar significados. “*O ensino se consuma quando o significado do material que o aluno capta é o significado que o professor pretende que esse material tenha para o aluno*”, (Gowin, 1981, p.81). Interpreta-se, segundo Ausubel, que este material educativo é um material potencialmente significativo, ou seja, um material construído de forma não literal e não arbitrária. Pode-se inferir que a teoria de Ausubel é complementada com o modelo de Gowin por considerar o evento de aprendizagem um evento de troca de significados.

Gowin em seu modelo estabelece responsabilidades distintas no processo ensino-aprendizagem por parte do professor e do aluno. O professor possui a responsabilidade de:

- apresentar o conteúdo a ser trabalhado na forma de material educativo potencialmente significativo;
- promover em sala de aula o diálogo de modo a facilitar a troca de significados entre professor, aluno e material educativo;
- verificar se os significados que o aluno captou são os significados que o professor queria que ele captasse.

A responsabilidade do aluno é:

- decidir se quer ou não aprender significativamente;
- verificar se os significados captados são aqueles que o professor pretendia que ele captasse, os quais são aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino.

### **3.3. O Viés da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**

A teoria dos campos conceituais é uma teoria psicológica complexa por ter como princípio norteador a conceitualização. É uma teoria cognitivista neopiagetiana que estuda o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem de competências complexas. O conceito-chave desta teoria é o de campo conceitual.

Um campo conceitual possui uma dimensão que não é compreendida em alguns meses ou anos, o seu domínio é obtido progressivamente incorporando novos problemas e novas propriedades ao longo desse processo. Vergnaud define:

*“Campo conceitual é, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição. (Vergnaud, 1998, p. 181)”.*

Desse modo, define-se campo conceitual como sendo um conjunto de situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos. Porém, são as situações que dão sentido aos conceitos ou, ainda, são os esquemas evocados por certas situações que as tornam significantes para o indivíduo. Neste sentido, utilizou-se a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud para complementar a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel na elaboração das atividades da UEPS.

### **3.4. O Viés da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird**

A teoria de Johnson-Laird (1983) tem como base os modelos mentais. Entender como um evento é formulado, formado, influenciado, evitado, ou seja, é um análogo estrutural de mundo, ou melhor, compreender algo significa construir um modelo mental. Conforme Moreira, (2011, p. 203), “... modelo mental é uma representação de alto nível que está no cerne psicológico da compreensão”. Na perspectiva de Johnson-Laird, os seres humanos não captam o mundo diretamente, eles constroem modelos mentais.

Compreende-se que a teoria de Ausubel é complementada com a teoria de Johnson-Laird porque esta propõe que o primeiro passo na interação cognitiva que caracteriza a aprendizagem significativa é a construção de um modelo mental da situação. Sendo a construção deste modelo medida pela negociação de significados na relação tríade entre professor, aluno e material educativo, conforme Gowin (1981). Também, complementa-se com a teoria de Novak (2000), pois considera que o aluno pensa, sente e atua e que o evento educativo envolve o aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação.

### **3.5. Conteúdos de Física da UEPS**

A Figura 2 representa o diagrama de conteúdos abordados na UEPS do presente trabalho e considera-se que a proposta de pesquisa se insere naturalmente<sup>3</sup> no contexto do programa do primeiro ano do Ensino Médio. As aulas contemplam conteúdos que vão da Cinemática ao Princípio da Conservação da Energia e do Momento Linear. Na Figura 2 representa-se um retângulo amarelo para estabelecer o limite do conteúdo contemplado na maioria dos currículos do 1º ano do EM. A partir desse conteúdo inicia-se a aplicação da UEPS com a tarefa inicial, após, discute-se o Princípio da Conservação do Momento Angular e, na sequência, as Leis de Kepler. Quando a Segunda Lei de Kepler é abordada, explica-se o Princípio da Conservação do Momento Angular. Na sequência, inicia-se a exploração do Modelo do Átomo de Bohr fazendo a analogia entre o movimento dos elétrons e dos planetas em torno de um referencial fixo no núcleo, e no Sol. Aplica-se o Princípio da Conservação do Momento Angular para o modelo do Átomo de Bohr. No entanto, esclarecem-se as semelhanças e as limitações das Leis de Kepler para descrever o modelo atômico de Bohr. Para explorar o modelo, discute-se a Quantização da Energia e o Diagrama de Níveis de Energia para o átomo de hidrogênio é construído com os alunos. Através de argumentações transferem-se os assuntos debatidos para a aplicação que é o efeito Laser e Laser de Rubi, sendo complementado pela discussão de Inversão de População. Ratifica-se que os conteúdos contemplados na UEPS são os conteúdos contidos na ementa do 1º ano do Ensino Médio.

---

<sup>3</sup> A palavra naturalmente significa que a proposta de pesquisa considera os conhecimentos obtidos da Física Clássica e a utiliza na analogia entre o movimento dos elétrons em torno do núcleo (Modelo Atômico de Bohr) e o movimento dos planetas em torno do Sol (Leis de Kepler). Da mesma forma, que a pesquisadora salientará as diferenças e semelhanças entre os modelos, ou seja, esclarecerá os limites da analogia utilizada.

Após diferenciar progressivamente os conteúdos, aplicam-se os passos IV, V, VI e VI da UEPS. Esta UEPS foi aplicada num total de dezesseis horas/aula e é apresentada no capítulo 4.

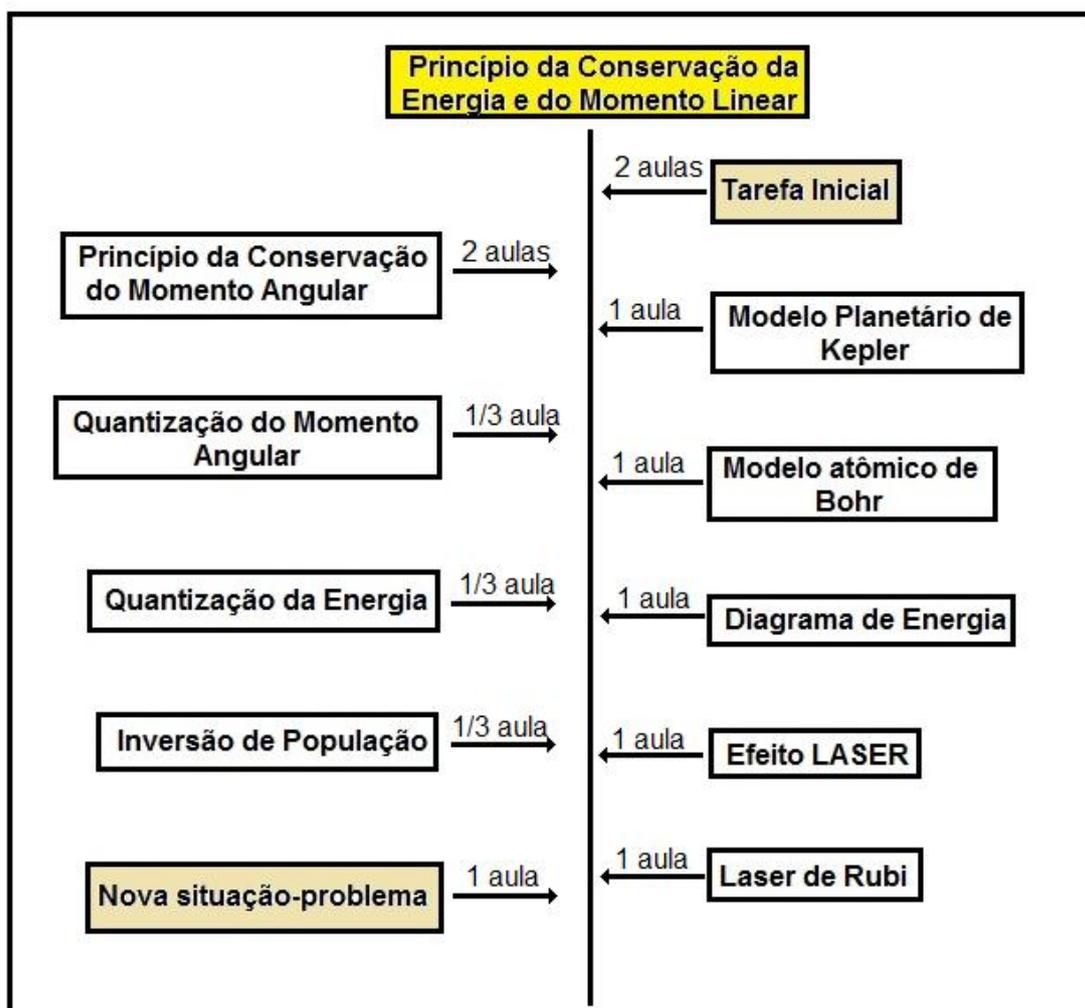


Figura 2. Diagrama dos conteúdos abordados na UEPS do presente projeto.

O desenvolvimento da UEPS Laser de Rubi baseia-se nos conteúdos de Física descritos no decorrer desse capítulo.

### 3.5.1. Princípio da Conservação do Momento Angular

Para discutir o Princípio da Conservação do Momento Angular, define-se a grandeza física vetorial Momento Angular, no caso particular de uma partícula. Lembra-se que a grandeza vetorial é caracterizada por módulo, direção e sentido. Considera-se na Figura 3, o caso particular da partícula de massa  $m$ , com momento linear  $\vec{p}$ , sendo  $\vec{p} = m \vec{v}$ . A partícula

passa pela posição  $A$  do plano  $xy$  em relação à origem das posições  $O$ , define-se  $\vec{r}$  como o vetor posição da partícula em relação ao referencial estabelecido.

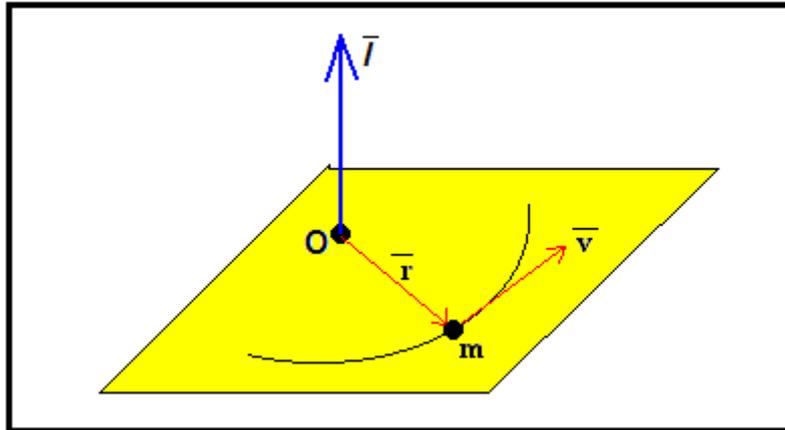


Figura 3 – Uma partícula em movimento em relação ao referencial fixo em  $O$ .

A grandeza vetorial momento angular  $\vec{l}$  em relação ao referencial  $O$  é definida, como

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (1)$$

e, ao substituir  $\vec{p}$  na equação (1), obtém-se a equação (2)

$$\vec{l} = m(\vec{r} \times \vec{v}) \quad (2)$$

A unidade do momento angular no Sistema Internacional de Unidades (SI) é  $\text{kgm}^2/\text{s}$ , que equivale a Js. A direção e o sentido do  $\vec{l}$  são definidos com a regra da mão direita, girando os dedos de  $\vec{r}$  para  $\vec{v}$ , sendo que, o dedo polegar indica a direção e o sentido de  $\vec{l}$ . Convenciona-se o sentido anti-horário com o sinal positivo e o sentido horário com o sinal negativo.

Pelo princípio da conservação do momento angular quando o torque das forças externas é nulo, o momento angular total de um sistema isolado é constante. A segunda lei de Kepler, expressa no contexto da Mecânica Celeste, este princípio.

### 3.5.2. Leis de Kepler

As leis de Kepler descrevem o movimento dos planetas a partir de um referencial fixo no Sol. Em geral, elas são válidas para qualquer corpo que gira ao redor de outro, considerando o referencial fixo num dos corpos, o outro “segue” as leis de Kepler.

A primeira lei de Kepler ou lei das órbitas, diz que, considerando um referencial fixo no Sol, os planetas giram em torno deste numa órbita com forma elíptica, sendo que o Sol ocupa um dos focos. A elipse pode ser considerada uma circunferência achatada e que este achatamento é determinado pela excentricidade. Da mesma forma, pode-se considerar que a circunferência é uma elipse em que os dois focos coincidem. Toma-se como exemplo os valores de 0,206 e 0,017 que correspondem aos valores das excentricidades de Mercúrio e Terra, respectivamente. De acordo com esses valores, que são considerados pequenos, pode-se dizer que as órbitas são quase circunferências. A Figura 4 (a) e (b) (Palandi et al., 2010, p.75) apresenta as elipses de Mercúrio e da Terra com os dois focos e em proporção do tamanho real.

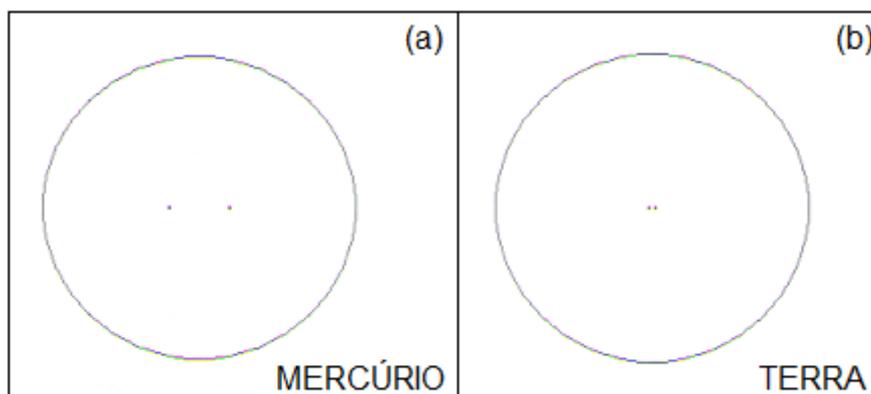


Figura 4. Órbitas elípticas em escala: (a) de Mercúrio e (b) da Terra.

Os livros didáticos, em geral, apresentam essas órbitas mais achatadas de forma ilustrativa, para que o aluno possa perceber a diferença entre elipse e circunferência, porém, não apresentam a forma elíptica em escala.

A segunda lei de Kepler ou lei das áreas, diz que, num referencial fixo no Sol, a reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. Esta lei implica que quanto mais próximo do Sol estiver o planeta maior será sua velocidade linear e, em consequência, quanto mais afastado do Sol estiver, menor será sua velocidade linear. A lei das áreas é uma consequência do princípio da conservação do momento angular, mencionado anteriormente.

A terceira lei de Kepler ou lei harmônica, diz que, num referencial fixo no Sol, a razão entre o quadrado do período de revolução do planeta ao redor do Sol e o cubo do semieixo maior da elipse que representa a órbita do planeta é constante. Pode-se expressar matematicamente a 3ª Lei de Kepler como:

$$\frac{T^2}{R^3} = k \quad (3)$$

em que **T** é o período de revolução do planeta ao redor do Sol, **R** é o semieixo maior da elipse que representa a órbita do planeta e **k** representa um valor constante.

### 3.5.3. Modelo do Átomo de Bohr

A origem do atomismo está na seguinte questão: existe um elemento primordial do qual os objetos visíveis derivam? Esta questão foi respondida por toda a humanidade em vários momentos históricos, porém, subdividiu-se em duas correntes filosóficas principais: os monistas e os pluralistas. Os monistas acreditavam que toda matéria deriva de um único elemento, por exemplo, Xenofones de Jônia elegeu o elemento terra e Heráclito de Éfeso acreditava que o fogo era o elemento primordial. Os pluralistas acreditavam que a matéria era uma porção única subdividida em partes cada vez menores, por exemplo, Aristóteles acreditava que existiam quatro elementos (quente, frio, seco e úmido) que unidos aos pares formavam a terra, água, fogo e ar. Leucipo de Demócrito foram os primeiros a pensarem sobre atomicidade, ou seja, a ideia de que tudo que existe é formado por pequenas partículas, os átomos. A mesma questão era respondida pelos orientais, sendo que os chineses acreditavam em cinco elementos (madeira, terra, água, fogo, metal) governados pela dualidade Yin-Yang. A influência que os hindus tiveram da Grécia e da Índia através da Pérsia levaram-nos a acreditar que o universo era formado por cinco elementos, éter-audição, terra-olfato, fogo-visão, água-paladar e ar-tato. Porém, em 1808 com John Dalton inicia-se o que foi denominado de “atomismo científico”. Dalton considera que toda a matéria é constituída por átomos e estes eram considerados permanentes e indivisíveis. O modelo atomístico de Dalton é chamado de modelo da *bola de bilhar*.

Em 1904, J.J. Thomson propôs um modelo atômico conhecido como *pudim de passas*, sendo este uma esfera em que a carga positiva é distribuída continuamente e as cargas negativas estão distribuídas uniformemente. Rutherford, em 1911, em experimentos com partículas  $\alpha$  verificou que as partículas de carga positiva se concentravam em uma pequena região denominada núcleo. Nessa região estava também concentrada praticamente toda a massa do átomo. O modelo de Rutherford é conhecido como *modelo planetário*. Este modelo apresenta o problema da estabilidade, pois de acordo com a Teoria Eletromagnética Clássica, uma partícula em movimento acelerado deveria emitir radiação eletromagnética e, dessa

forma, perder energia. Devido a isso, o elétron ao se movimentar ao redor do núcleo perderia energia e sua órbita não seria estável, e sim, o elétron espiralaria até o núcleo. Se assim fosse, o tempo de vida de um átomo seria de  $10^{-6}$ s, o que não é observado.

Em 1913, Bohr tenta unir as ideias de quantização de Planck e Einstein para resolver o problema da estabilidade do modelo atômico de Rutherford. Considerando um referencial fixo no núcleo, Bohr propôs quatro hipóteses:

- (1) As leis de Newton são válidas para o movimento dos elétrons ao redor do núcleo;
- (2) O elétron só ocupa órbitas especiais sob a condição de que o valor do momento angular do elétron ao redor do núcleo assume valores múltiplos de  $\hbar$ , em que  $\hbar$  é a constante de Planck dividida por  $2\pi$ .
- (3) As órbitas especiais são denominadas órbitas estacionárias, isto significa que os elétrons ao ocupar uma órbita especial não emitem radiação eletromagnética. Sendo o estado estacionário definido como o estado em que o elétron não ganha e nem perde energia espontaneamente.
- (4) O átomo pode passar de um estado estacionário a outro por emissão ou absorção de radiação eletromagnética, com frequência determinada pelo módulo da diferença de energia entre os estados estacionários envolvidos na transição.

De acordo com a primeira hipótese de Bohr e considerando um átomo com um elétron de carga negativa  $-e$ , e um núcleo com carga positiva  $Ze$ , tem-se

$$F_c = F_{el}, \quad (4)$$

em que,  $F_c$  é o módulo da força centrípeta e  $F_{el}$  é o módulo da força eletrostática que atua sobre o elétron. Assim,

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{R^2}, \quad (5)$$

em que  $m$  é a massa do elétron,  $R$  é o raio da órbita do elétron,  $v$  é a velocidade do elétron em torno do núcleo,  $q$  é a carga positiva e  $Q$  a carga negativa do átomo. Isolando-se a velocidade da equação (5) e obtém-se:

$$v^2 = \frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 m R} \quad (6)$$

Da equação (2) pode-se obter o módulo do momento angular de uma partícula de massa  $m$ . Essa equação pode ser reescrita para representar o módulo do momento angular de um elétron de massa  $m$  que se movimenta na órbita circular  $n$ ,

$$L_n = m v_n R_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \infty). \quad (7)$$

Em que,  $n$  representa o número quântico da órbita do elétron,  $L_n$ ,  $v_n$  e  $R_n$  representam, respectivamente, o módulo do momento angular, da velocidade e do raio da órbita suposta circular  $n$  ocupada pelo elétron. A equação (8) representa a quantização do momento angular, ou seja, a equação do momento angular depende do número quântico  $n$ .

A segunda hipótese de Bohr pode ser expressa matematicamente por

$$L = \left(\frac{h}{2\pi}\right)n \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \infty). \quad (8)$$

Em que,  $h$  é a constante de Planck. Igualam-se as equações (7) e (8), isola-se a  $v_n$  e obtém-se

$$v_n = \left(\frac{h}{2\pi m R_n}\right)n. \quad (9)$$

Substitui-se a equação (9) em (6), isola-se a variável raio da órbita do elétron e obtém-se

$$R_n = \left(\frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2}\right)n^2. \quad (10)$$

De acordo com a terceira hipótese de Bohr,  $R_n$  representa o raio das órbitas especiais, denominadas órbitas. Estas são estacionárias e dependem de  $n$ , sendo que cada inteiro  $n$  identifica um estado estacionário. Ao substituir os valores das constantes na equação (10) e ao considerar  $Z$  e  $n=1$ , encontra-se o raio da órbita mais próxima do núcleo, também conhecido como raio de Bohr para o átomo de hidrogênio.

### 3.5.4. Quantização da Energia e Diagrama de Energia

A energia total do átomo é calculada pela soma da energia cinética ( $K$ ) e a energia potencial ( $U$ ). Para calcular a energia dos estados estacionários, por analogia com o Modelo de Kepler considera-se um referencial fixo no núcleo, assim a energia cinética do átomo corresponde à energia cinética do elétron nos estados estacionários, que pode ser expressa pela equação (11)

$$K_n = \frac{1}{2} m v_n^2. \quad (11)$$

Ao substituir a equação (6) na equação (11) tem-se

$$K_n = \frac{Z e^2}{8 \pi \varepsilon_0 R_n}. \quad (12)$$

Assim, a equação (12) representa a energia cinética do elétron ao se mover na órbita  $n$ . Para calcular a energia potencial do átomo, considera-se nula a energia potencial do elétron que está a uma distância infinita do núcleo e a energia potencial do átomo, quando o elétron está localizado na órbita  $n$ , é

$$U_n = -\frac{Z e^2}{4\pi \varepsilon_0 R_n}. \quad (13)$$

Somam-se as equações (12) e (13) para obter a energia total do átomo e obtém-se

$$E_n = -\frac{Z e^2}{8\pi \varepsilon_0 R_n}, \quad (14)$$

e, ao substituir a equação (10) na equação (14), obtém-se

$$E_n = -\left(\frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2}\right) \frac{1}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \infty). \quad (15)$$

A equação (15) é a expressão matemática que representa a energia total do átomo, quando o elétron ocupa a órbita  $n$  em função de parâmetros, também representa a quantização da energia, pois a energia é escrita em função do número quântico  $n$ . Assim, considerando o

átomo de hidrogênio ( $Z = 1$ ) e substituindo na equação (15) as constantes,  $m = 9,11 \times 10^{-31}$  kg,  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C,  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m e  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  Js, obtém-se,

$$E_n = - \frac{2,17 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J.} \quad (16)$$

Neste caso é conveniente utilizar a relação  $1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$ , assim, a equação (16) torna-se

$$E_n = - \frac{13,54}{n^2} \text{ eV.} \quad (17)$$

A tabela 11 relaciona os valores da energia dos estados estacionários aos números quânticos  $n = 1, 2, 3$  e  $4$ .

Tabela 11. Relação entre os valores da energia dos estados estacionários e os números quânticos, no modelo atômico de Bohr.

$n$	1	2	3	4
$E_n$ (eV)	- 13,54	- 3,39	- 1,50	- 0,85

Uma ferramenta muito utilizada para visualizar a relação apresentada nesta tabela e compreender os processos de emissão e absorção de energia pelo átomo, é o diagrama de energia. A Figura 4 (Palandi et al., 2010, p.57) apresenta o diagrama de níveis de energia para o átomo de hidrogênio no modelo de Bohr.

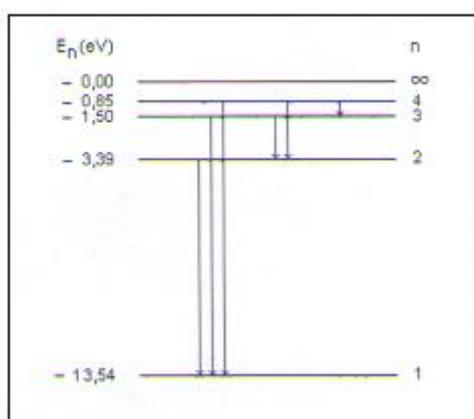


Figura 4 – Diagrama de níveis de energia para o átomo de hidrogênio no modelo atômico de Bohr.

O diagrama de energia utiliza uma dimensão vertical para representar o valor da energia do estado estacionário, que é representado por uma linha horizontal. A distância entre

duas linhas é proporcional à diferença entre as energias. A Figura 4 apresenta o valor zero para o estado estacionário  $n = \infty$ , que corresponde ao átomo de hidrogênio ionizado. Assim, quando o elétron e o próton estão ligados por uma distância finita o estado estacionário apresenta valores negativos para a energia. O valor correspondente a  $n = 1$  representa o estado  $n$  no qual o elétron ocupa a primeira órbita de Bohr e é denominado estado fundamental do átomo de hidrogênio. Chama-se a atenção que na Figura 4 apresentam-se apenas o estado fundamental e três estados estacionários, ou melhor, que os demais estados estacionários não estão mostrados.

### 3.5.5. Efeito Laser e Inversão de População

Com a ajuda do diagrama de níveis de energia pode-se entender mais facilmente o efeito LASER. A palavra laser tem origem na língua inglesa e significa “amplificação de luz por emissão estimulada de radiação”. *Emissão estimulada* é um dos três principais processos de interação entre fótons e elétrons. Os outros são *absorção* e *emissão espontânea*.

No processo de *absorção* o fóton é absorvido por um átomo e, por consequência, o elétron passa de um nível de energia menor para um nível de energia maior. De acordo com a quarta hipótese de Bohr, um fóton somente pode ser absorvido se a energia dele é idêntica à diferença entre as energias do estado final e inicial. O estado ocupado pelo elétron após a absorção do fóton é denominado estado excitado. Quando um elétron ocupa um estado excitado ele pode espontaneamente passar para um estado de menor energia; para isso, o átomo emite um fóton com energia igual a diferença de energia do estado final e inicial. Este processo é denominado *emissão espontânea*. Porém, um elétron pode ser estimulado por um fóton a passar de um estado de maior energia para um de menor energia, esse é o processo de *emissão estimulada*, que só ocorre quando existe coerência entre o fóton que estimulou a transição e o fóton emitido. Porém, a coerência do laser é consequência da emissão estimulada, não a causa. Este processo também pode ser entendido como a amplificação da radiação que origina o raio laser.

Quando uma amostra está sujeita a um banho de radiações eletromagnéticas com frequências diferentes os três processos de interação entre os fótons e os átomos ocorrem, os átomos são excitados e desexcitados continuamente. Se esta amostra está em equilíbrio térmico com o banho de radiações, o número de átomos no estado fundamental é maior que o

número de átomos no primeiro estado excitado. Porém, diz-se que ocorreu a inversão da população quando, por algum motivo, a amostra em equilíbrio térmico com as radiações eletromagnéticas possui o maior número de átomos no primeiro estado excitado do que no estado fundamental. Quando ocorre a inversão da população os processos de emissão tornam-se mais importantes do que o processo de absorção. O aparato que produz a luz laser reestabelece a inversão de população continuamente para que a emissão se torne contínua. O Laser de Rubi, por exemplo, não tem emissão contínua, emite pulsos.

Assim, pode-se dizer que a luz laser é gerada pela amplificação da radiação com a frequência apropriada, na qual o feixe de radiações eletromagnéticas atravessa a amostra, e provoca a emissão estimulada de uma radiação eletromagnética com um número maior de fótons comparada com a radiação eletromagnética incidente.

### 3.5.6. Laser de Rubi

O laser de rubi é formado a partir de uma amostra sólida, um cilindro da largura de um lápis de rubi artificial. O rubi é formado por óxido de alumínio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tendo impurezas de até 1% de íons de cromo no lugar de íons de alumínio. São estes íons de cromo os responsáveis pela cor avermelhada do rubi e, é neles que ocorre a inversão de população que origina o raio laser. A Figura 5 (Palandi et al., 2010, p.101) apresenta o diagrama simplificado de níveis de energia, de um íon de cromo no rubi.

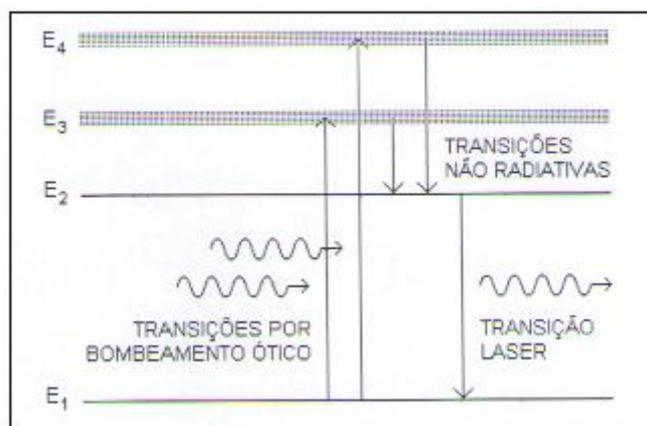


Figura 5 – Diagrama de níveis de energia para um íon de cromo que forma o rubi.

Ao sujeitar o rubi a um banho de radiações eletromagnéticas com luz branca de alta intensidade, os íons de cromo, em sua maioria, absorvem as componentes de cor verde e azul, e com isso seus elétrons passam de  $E_1$  para  $E_3$  e  $E_4$ . Após um brevíssimo intervalo de tempo,

estes elétrons decaem através de transições não radiativas para  $E_2$ , níveis de energia metaestáveis. As transições são ditas não radiativas por não serem acompanhadas de emissão de luz, mas produzem o aumento de energia interna e de temperatura. Na transição de  $E_2$  para  $E_1$  o íon de cromo libera um fóton com a frequência da cor vermelha percebida pelos seres humanos.

Conclui-se afirmando que este trabalho está fundamentado teoricamente na Teoria da Aprendizagem de Ausubel (2000), na Teoria da Educação de Gowin (1981), na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) e da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983), utilizando como base científica os conhecimentos físicos do princípio da conservação do momento angular, das leis de Kepler, da quantização do momento angular, do modelo atômico de Bohr, da quantização da energia, dos diagramas de energia, da inversão de população, do laser e do laser de rubi. No entanto, neste capítulo não são descritos as teorias e os conteúdos na íntegra, mas sim, apresentam-se os subsídios necessários para o entendimento do trabalho realizado. Passa-se agora às Metodologias de Pesquisa e de Ensino.

## Capítulo 4

### METODOLOGIAS

Este capítulo aborda a metodologia de pesquisa e a metodologia de ensino aplicada no trabalho “Laser de Rubi: uma abordagem baseada em Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)”. A UEPS Laser de Rubi foi aplicada em dois momentos.

No primeiro momento, no ano de 2012, o estudo-piloto foi realizado com as turmas denominadas Info-1A e Info-1B, sendo que elas possuíam o total de trinta e dois alunos, sendo dezesseis de cada turma. As duas turmas foram divididas em oito grupos de quatro integrantes. Como forma de identificação, motivação, e preservação da identidade dos componentes, cada grupo foi identificado por uma cor:

1) Turma Info 1A: Grupo Azul, Grupo Amarelo, Grupo Roxo e Grupo Rosa.

2) Turma Info 1B: Grupo Vermelho, Grupo Verde, Grupo Preto e Grupo Laranja.

Em 2013, dez meses após a conclusão do projeto-piloto os alunos das turmas Info-1A e Info-1B responderam um questionário para verificar evidências de aprendizagem e de retenção significativas. Esses alunos em 2013 constituíram a Turma Info-2A, sendo que, do total de 32 alunos de 2012, 7 reprovaram e 10 efetivaram transferência para outra instituição de ensino. Assim, haviam 15 alunos do estudo-piloto de 2013 para reavaliar a UEPS que pertenciam a 5 grupos (Verde, Amarelo, Roxo, Rosa e Preto).

Num segundo momento, no ano de 2013, a UEPS foi novamente aplicada em cinco turmas. As duas turmas do Curso Técnico em Informática Integrado foram denominadas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 e possuíam o total de vinte e quatro alunos, divididas em 7 grupos:

1) Info-1A-2013: Grupo Verde, Grupo Preto e Grupo Vermelho.

2) Info-1B-2013: Grupo Preto, Grupo Laranja, Grupo Marrom e Grupo Amarelo.

As turmas do Curso Técnico em Agropecuária foram denominadas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C tendo o total de sessenta e quatro alunos. As três turmas foram divididas em 12 grupos que novamente foram identificados por cores:

- 1) Agro-1A: Grupo Verde, Grupo Laranja, Grupo Amarelo e Grupo Vermelho.
- 2) Agro-1B: Grupo Verde, Grupo Laranja, Grupo Marrom e Grupo Vermelho.
- 3) Agro-1C: Grupo Preto, Grupo Amarelo, Grupo Marrom e Grupo Vermelho.

#### **4.1. Metodologia de Pesquisa**

Existem várias possibilidades metodológicas para o desenvolvimento de pesquisas em educação com os temas de ensino, aprendizagem, currículo, contexto educativo, formação docente e continuada, com enfoque epistemológico, teórico e metodológico. Destacam-se alguns tipos de pesquisa qualitativa como, por exemplo, pesquisa ação, pesquisa participante, estudo de caso e pesquisa etnográfica; a pesquisa quantitativa; e a triangulação ou pesquisa mista, além de existirem inúmeras subdivisões. Entende-se que o conhecimento e a definição da metodologia a ser empregada para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa são relevantes, implicando diretamente nos procedimentos e nos resultados. A partir do problema de estudo escolhe-se a metodologia mais apropriada. Neste trabalho foi escolhida a metodologia de Pesquisa Qualitativa de modo geral, por ser mais adequada diante do tema abordado (Laser de Rubi) e do contexto aplicado (meio escolar).

##### **4.1.1. Pesquisa Qualitativa**

Os pesquisadores da área de ensino demonstram cada vez mais interesse por metodologias qualitativas. As mesmas geram dúvidas sobre a objetividade e o rigorismo científico necessário a uma pesquisa científica. A pesquisa qualitativa envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto e preocupa-se em retratar a perspectiva dos participantes. A pesquisa qualitativa é chamada também de: (a) naturalista por estudar um fenômeno sem tratamento experimental; (b) fenomenológica por abordar aspectos subjetivos; e (c) interacionista simbólica por considerar que cada indivíduo atribui significados às interações.

A pesquisa qualitativa vem sendo utilizada por pesquisadores de uma forma acentuada nos últimos trinta anos. Compara-se a abordagem qualitativa e a abordagem quantitativa para facilitar a compreensão. Por exemplo, na pesquisa qualitativa o pesquisador fica imerso no fenômeno de interesse, o paradigma é a realidade construída socialmente, procura respostas com explicações interpretativas e utiliza a retórica persuasiva, descritiva e detalhada, enquanto que na pesquisa quantitativa o pesquisador é desprendido do fenômeno para evitar a interpretação subjetiva, o paradigma é a realidade objetiva, busca respostas através de medições e análises quantitativas e utiliza a retórica estatística, numérica e objetiva.

O termo pesquisa qualitativa tem sido usado, como foi mencionado anteriormente, para designar várias abordagens de pesquisa em ensino, porém, neste trabalho a abordagem será definida como Pesquisa Qualitativa, considerando suas características principais, tais como, interpretativa, detalhada, constrói suposições e não visa generalizações.

Menciona-se a característica interpretativa da pesquisa qualitativa por referir-se à capacidade do ser humano de criar interpretações significativas da parte física e do comportamento. De modo geral, o interesse central da pesquisa está na questão dos significados que as pessoas atribuem a eventos e objetos, em suas ações e interpretações dentro de um contexto social e na exposição desses significados pelo pesquisador. Assim, pode-se dizer que uma pesquisa é considerada interpretativa quando tem como objeto a ação e não o comportamento, considerando que o comportamento é o ato físico e a ação é o comportamento mais as interpretações de significados atribuídos.

A pesquisa qualitativa pode ser caracterizada como a tentativa de uma compreensão detalhada dos significados e características situacionais apresentadas pela pesquisa, em lugar da produção de medidas quantitativas de características de comportamentos. O pesquisador observa participativamente inserido no meio estudado, imerso no fenômeno e atento aos pormenores. Este tipo de pesquisa detém-se aos detalhes e, por isso, o pesquisador geralmente possui um diário de bordo, para anotar tudo o que for possível durante o estudo desenvolvido, e utiliza mais de uma ferramenta (questionário, provas, pré-teste, mapas livres, mapas conceituais entre outros) para coletar a maior quantidade de dados possíveis e, também, para minimizar o ensejo de uma interpretação equivocada.

Ao realizar-se uma pesquisa qualitativa constroem-se hipóteses preliminares, suposições, que se faz na tentativa de explicar o que se desconhece. Estas suposições têm por característica serem provisórias, podendo ser testadas ou não, podendo ser modificadas, ou não. Trata-se de antecipar um conhecimento na expectativa de que possa ser confirmado sem pretensões de generalização. Assim, ao estudar um problema de pesquisa qualitativamente o pesquisador cria suposições iniciais, as quais podem ser verdadeiras ou não, e que podem ser abandonadas em função de outras suposições geradas ao longo do processo. A resposta definitiva, muitas vezes, não é alcançada no final da pesquisa, e não é considerada como objetivo principal da pesquisa qualitativa.

Coerentemente a pesquisa qualitativa não possui a pretensão de generalizar dados, ou melhor, os resultados obtidos com a pesquisa não podem ser usados como um padrão ou uma possibilidade de transferência dos resultados encontrados para outros contextos. A principal preocupação da pesquisa qualitativa está na particularização e não na generalização. Cabe ao pesquisador, o estudo detalhado do fenômeno de interesse e compreender o que é generalizável a outras situações e o que é peculiar a esse. Os estudos qualitativos se encerram na interpretação arquitetada pelo pesquisador qualitativo que, nesse contexto, funciona mais como um intérprete de situações vivenciadas já elaboradas pelos interlocutores encontrados no estudo. Da mesma forma, que a amostra pesquisada de alunos, professores e gestores variam a cada ano. Portanto, o sentido da pesquisa qualitativa não está orientado para a generalização dos resultados e sim para a compreensão da realidade construída.

## **4.2. Metodologia de Ensino**

Neste trabalho utiliza-se uma UEPS, Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, (Moreira, 2011) como metodologia de ensino. Em termos gerais uma UEPS é desenvolvida conforme os seguintes passos:

1. Criar e/ou propor situações em forma de discussão, questionário, mapa conceitual ou situação-problema que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico em pauta.

2. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar; estas situações-problema ainda que introdutórias devem envolver, desde já, o tópico a ser ensinado; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, mas sempre de modo acessível e problemático, isto é, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo.
3. Apresentar o conhecimento a ser ensinado e/ou aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, isto é, começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando e abordando aspectos específicos. A estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos e da apresentação e discussão em grande grupo.
4. Retomar os aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação e em nível mais alto de complexidade. As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade com novos exemplos destacando semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados promovendo a reconciliação integradora. Então, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagirem socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador. Esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, e deve necessariamente envolver a negociação de significados e a mediação do professor.
5. Concluir a unidade dando continuidade ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa. Isso deve ser

feito através de nova apresentação dos significados que pode ser uma breve exposição oral, leitura de um texto, recurso computacional, áudio-visual, etc. O importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em nível mais alto de complexidade em relação às situações anteriores. Essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do professor.

6. A avaliação da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, anotando-se tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa. Além disso, deve haver uma avaliação somativa após o quinto passo, na qual deverão ser propostas questões e/ou situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. Tais questões e/ou situações deverão ser previamente validadas por especialistas. A avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá ser baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (registros do professor) como na avaliação somativa.
7. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

A UEPS desenvolvida nesse trabalho é apresentada no Apêndice A (p.154). A UEPS construída com o tema Laser foi desenvolvida como segue.

### **I) Tarefa inicial**

Inicialmente os grupos foram incentivados a elaborar um Mapa Livre<sup>4</sup> com o uso de fichas contendo as palavras e ou expressões Física, Princípio da Conservação do Momento Angular, Quantização da Energia, Modelo do Átomo de Bohr, Inversão de População, Diagramas de Energia, Laser, Laser de Rubi, Inovações, Cirurgias e Canetas. Depois, cada grupo filmou suas explicações individualmente para não interferir nas explicações dos outros grupos. O objetivo da primeira etapa é de criar uma situação para que os alunos externalizem os conhecimentos prévios do grupo sobre os conteúdos da UEPS. Por este motivo, a

---

<sup>4</sup>Denominam-se neste trabalho Mapas Livres como sendo diagramas nos quais os alunos podem associar livremente as palavras dadas com quaisquer outras segundo critérios de quem os faz.

pesquisadora selecionou a maioria das palavras para a construção do mapa livre como sendo os tópicos de Física que seriam estudados futuramente.

A atividade total envolveu duas horas/aula.

## **II) Situações-problema iniciais**

II.1) Os alunos responderam em seus grupos um questionário (Apêndice B, p.158). Esta atividade tem como objetivo identificar conhecimentos prévios sobre Física Moderna e Física Clássica e, ainda, especificamente sobre o tema laser.

II.2) Leitura coletiva do texto *Os Fundamentos da Luz Laser*, publicado na *Revista Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001 (Bagnato, 2001). O texto é apresentado no Anexo I (p.154). Nessa atividade os grupos destacaram as palavras do texto não compreendidas. A atividade teve a finalidade dos alunos, supostamente, construírem um modelo mental sobre laser e, obterem algumas informações que no decorrer das aulas foram diferenciadas progressivamente. Também, comparar a “linguagem” utilizada no texto e na UEPS com a “linguagem” que o aluno compreende.

As situações-problema iniciais envolveram três horas/aula.

Os passos I e II da UEPS foram desenvolvidos em grupo com o intuito de promover trocas de significados entre os alunos e disponibilizar situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente.

## **III) Aprofundando conhecimentos**

III.1) Com os dados coletados na atividade do mapa livre, nas respostas do questionário e nas palavras destacadas durante a leitura coletiva do texto, os conceitos propostos na UEPS foram trabalhados de forma ordenada e sistemática, através de filmes, slides, material disponível na internet, texto de apoio do GEF-UFSM (Grupo de Ensino da Física da Universidade Federal de Santa Maria) e aulas expositivas e dialogadas, sendo os alunos sempre estimulados a participar de todas as discussões.

O objetivo desta atividade foi “formalizar” o conteúdo proposto na UEPS e, assim, cada aluno pode, em princípio, reestruturar o modelo mental conforme sua necessidade.

III.2) Os grupos retomaram o texto *Os Fundamentos da Luz Laser* e, construíram um esquema ou um resumo para melhor entendê-lo. O objetivo da tarefa foi de reconciliar integrativamente o tema da UEPS com o material utilizado no passo (II.2) e detectar os conhecimentos considerados relevantes pelos grupos.

A etapa III da UEPS envolveu aproximadamente 6 horas/aula.

#### **IV) Nova Situação-Problema**

IV.1) Os alunos, em pequenos grupos, pesquisaram uma aplicação do Laser e a apresentaram aos colegas. A pesquisa foi realizada como tarefa de casa e a apresentação envolveu uma hora/aula.

IV.2) Os grupos construíram um mapa conceitual<sup>5</sup> da UEPS. Esta atividade ocupou 2 horas/aula.

Estes passos da UEPS tiveram como objetivo detectar evidências de aprendizagem significativa. Para isso, foram propostas duas novas situações-problema que pretendiam estimular a autonomia dos alunos e verificar se o grupo foi capaz de transferir os conhecimentos para uma nova situação-problema.

A etapa IV da UEPS envolveu o total de 3 horas/aula.

#### **V) Avaliação somativa individual**

Os alunos foram avisados com antecedência e lhes foram propostas as questões abertas da avaliação somativa individual apresentada no Apêndice E (p.172), para as turmas do projeto-piloto, e para as demais turmas, no Apêndice G (p.174). Esta etapa teve o objetivo principal de evidenciar se houve ou não aprendizagem significativa para cada aluno, bem como, verificar a aprendizagem de cada aprendiz envolvido na pesquisa.

Esta etapa envolveu 1 hora/aula.

#### **VI) Aula expositiva dialogada integradora final**

---

<sup>5</sup> Segundo Moreira, de um modo geral, mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos, (Moreira, 2010). No entanto, diferentemente dos mapas livres as associações entre conceitos devem ser aquelas aceitas no contexto do conhecimento mapeado.

A professora juntamente com os alunos retomou os conteúdos através de um mapa conceitual, salientando a importância do Laser, sua utilização, seus benefícios e seus malefícios, recordando as explicações de cada grupo. O objetivo dessa atividade foi de retomar os conteúdos abordados promovendo a reconciliação integradora e a diferenciação progressiva. Para isso, foi usado um mapa conceitual construído pela turma e assim, foi retomado os conteúdos abordados ao longo da UEPS.

Essa atividade envolveu 1 hora/aula.

### **VII) Avaliação da aprendizagem da UEPS**

A avaliação foi baseada nas atividades realizadas: na comparação entre o mapa livre e o mapa conceitual, na apresentação de uma aplicação do Laser, no material confeccionado para a apresentação e na avaliação somativa individual. Essa etapa teve o objetivo de avaliar de forma integral o aluno através de aspectos qualitativos e quantitativos, considerando todas as atividades desenvolvidas.

### **VIII) Avaliação da própria UEPS**

A professora avaliou a forma em que foi abordado o tema Laser de Rubi em função de seus resultados e da avaliação dos alunos, se necessário, seriam reformuladas algumas atividades. Essa etapa consistiu numa autoavaliação por parte da pesquisadora a partir dos resultados obtidos com a UEPS.

As atividades desenvolvidas na UEPS contabilizou o total de dezesseis horas/aula.

Portanto, este trabalho utilizou a metodologia de Pesquisa Qualitativa e a metodologia didática da UEPS para identificar evidências de aprendizagem significativa.

No capítulo seguinte serão apresentados os dados obtidos, sua análise e os resultados.

## Capítulo 5

### RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

#### 5.1. Estudo-Piloto

As turmas Info-1A e Info-1B são consideradas turmas pequenas (16 alunos) comparadas com a média nacional que é de 30 alunos por turma ou, ainda, comparadas com as turmas do Curso Técnico em Agropecuária Integrado, da mesma instituição de ensino. No início do ano letivo havia vinte e quatro alunos matriculados por turma. O grande número de desistências, segundo acompanhamento da Coordenação de Assistência Estudantil (CAE), ocorre devido a alguns fatores organizacionais do curso, como, por exemplo: estudar em dois turnos (manhã e tarde); alguns alunos menores de idade precisam morar longe dos pais, pela distância de sua cidade até o Câmpus; a maioria considera o curso difícil, principalmente as disciplinas da área técnica; elevado número de disciplinas no currículo; e, em poucos casos, o aluno não se identifica com o curso.

A análise dos resultados aqui apresentada segue os oito passos da UEPS no Apêndice A (p.154), (Schittler, e Moreira, 2014). Durante a realização da tarefa inicial, observou-se que todos os grupos sentiram dificuldade em construir os mapas livres por não saberem o significado da maioria das palavras recebidas. No entanto, no momento em que os alunos souberam que essa atividade não seria avaliada no sentido, de certo ou errado, realizaram-na com maior tranquilidade e de forma muito participativa. A atividade de construção dos mapas livres foi proposta e durou duas horas/aula, porém para concluir a atividade prevista na etapa I, as filmagens foram realizadas no turno inverso, ou seja, no turno da tarde. Assim, foi percebido que a etapa I pode requerer maior espaço de tempo do que originalmente previsto.

A filmagem foi uma ferramenta eficaz para detectar conhecimentos prévios de cada grupo. A seguir algumas transcrições da turma Info-1A são apresentadas:

- Grupo Azul – “[...] a gente não sabe nada [...] tudo iniciou da Física [...] mas o que seria esta Inversão de População? Seriam os elétrons que constituem o átomo...[...] e a Inversão de População não é a que vocês estão pensando. É a de elétrons”;
- Grupo Amarelo – “[...] o Modelo do átomo de Bohr diz que temos a divisão do átomo em cargas positivas e negativas [...] as inovações, que podem nos auxiliar nas cirurgias a laser, que antigamente era o laser de rubi e inovou para um laser normal que é com um tubo de gás [...]”;
- Grupo Roxo – “[...] a Física primeiramente por que ela engloba todas as fichas”. O grupo editou a filmagem, porém não alterou o conteúdo;
- Grupo Rosa – “[...] começamos com a palavra Física por que ela engloba tudo o que vai se ouvir falar aqui [...] Por que o Modelo do Átomo de Bohr foi criado por Bohr e a Quantização de Energia é a quantidade de energia que cada elétron tem e os Diagramas de Energia é uma forma de representação da menor até a maior energia do elétron”.

Algumas transcrições das filmagens dos grupos da turma Info-1B são apresentadas na sequência:

- Grupo Verde – “[...] e a inversão de população esta associada com a inversão de carga [...]”.
- Grupo Preto – “[...] começamos com a Física por que tudo sai da Física [...] o Princípio da Conservação do Momento Angular está logo abaixo da Física por que é um princípio [...] Quantização de Energia vem do Modelo do Átomo de Bohr por que ele fala sobre como os elétrons ficam em volta do núcleo do átomo [...] o Modelo do Átomo de Bohr também fala sobre Inversão da População por que aqui está se falando em inversão de população dos elétrons que giram ao redor do núcleo”.
- Grupo Vermelho - O grupo editou todo o texto acrescentando conceitos encontrados na internet e, assim, o objetivo da atividade não foi alcançado.

- Grupo Laranja – “[...] no Modelo do Átomo de Bohr o átomo é maciço [...] Porque a Inversão de População que exerce trabalho das forças e da energia”. Os alunos do grupo Laranja estavam ausentes na aula, por isso, realizaram a atividade de construção e filmagem do mapa livre no turno inverso.

As fotos dos mapas livres da turma Info-1A e Info-1B estão nas figuras: (6) Grupo Azul, (7) Grupo Amarelo, (8) Grupo Roxo, (9) Grupo Rosa, (10) Grupo Verde, (11) Grupo Preto, (12) Grupo Vermelho e (13) Grupo Laranja.

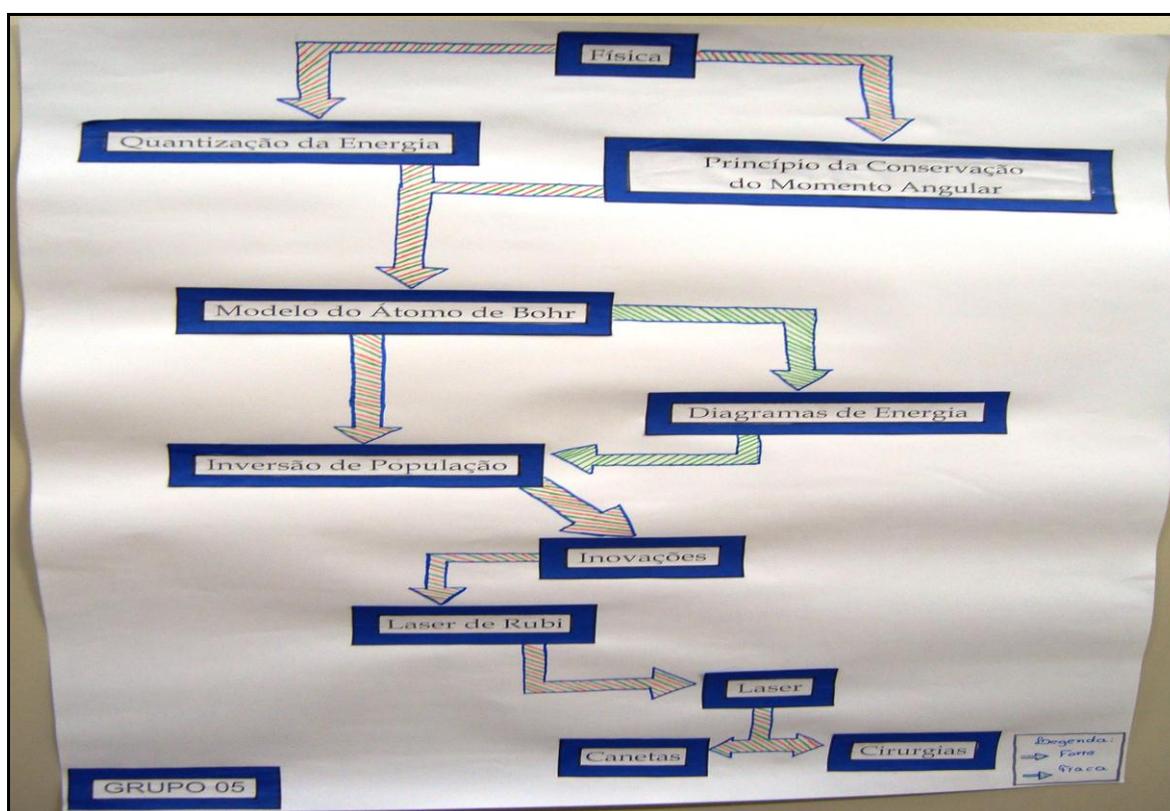


Figura 6- Mapa livre do Grupo Azul da turma Info-1A.

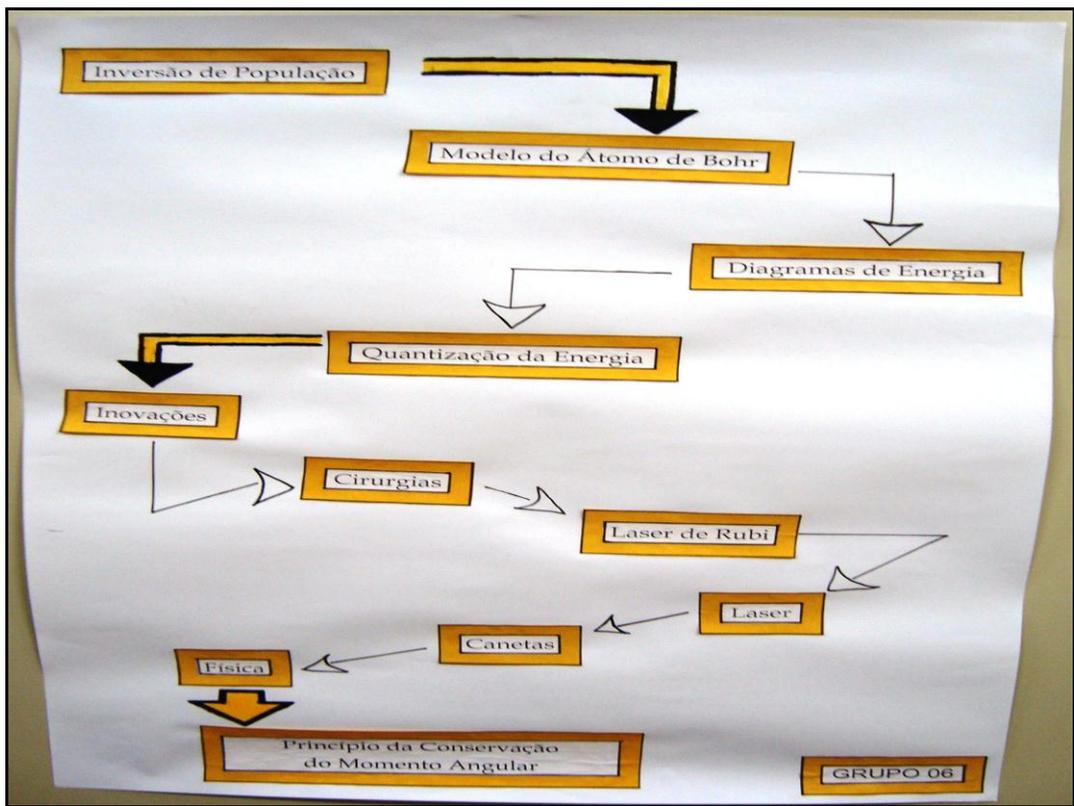


Figura 7- Mapa livre do Grupo Amarelo da turma Info-1A.

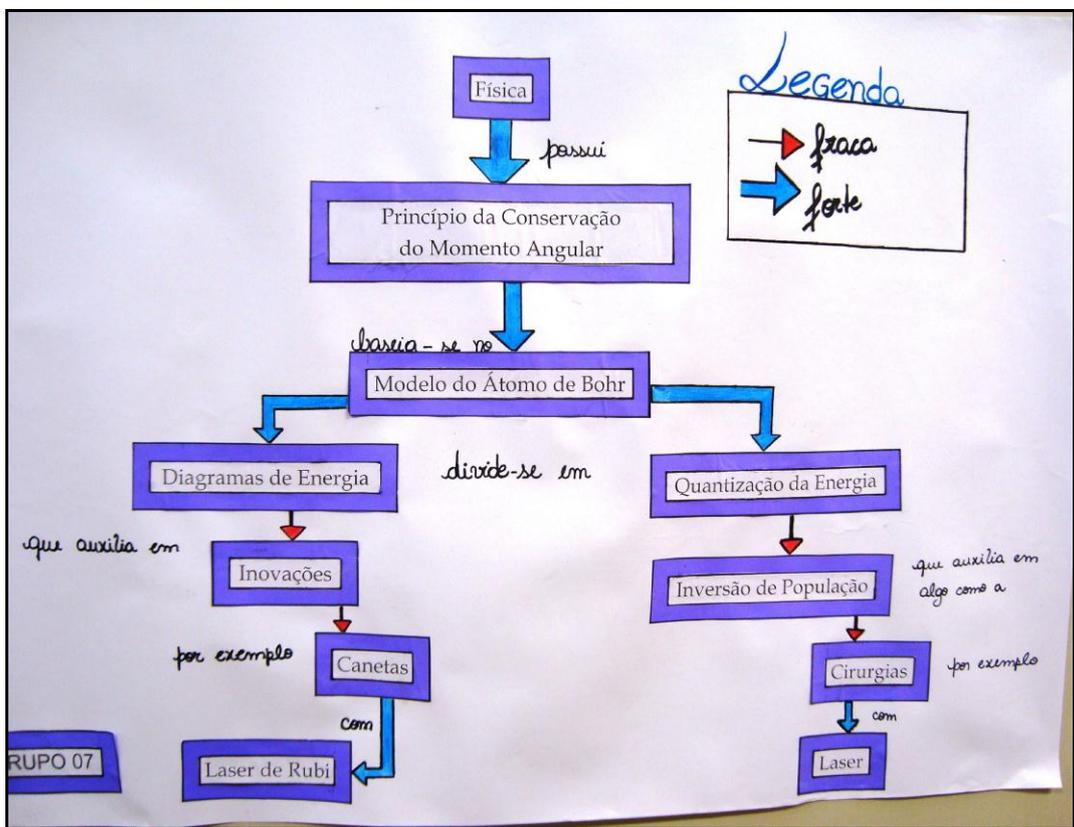


Figura 8- Mapa livre do Grupo Roxo da turma Info-1A.

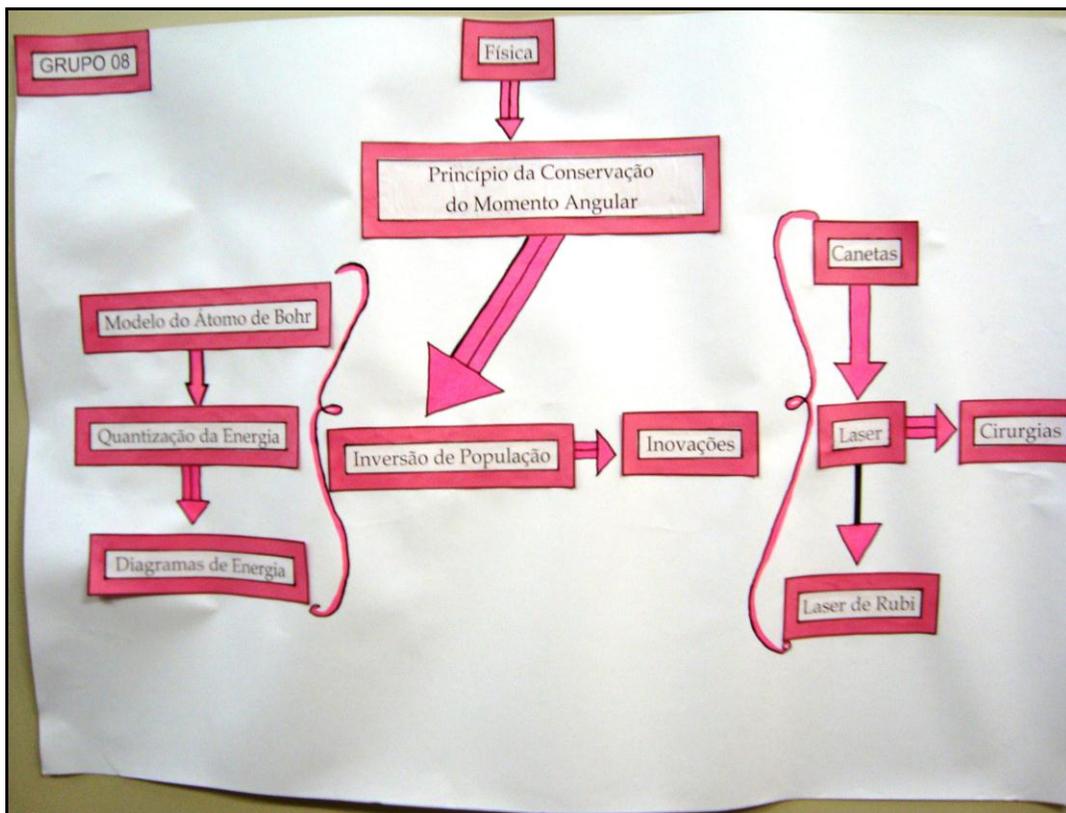


Figura 9- Mapa livre do Grupo Rosa da turma Info-1A.

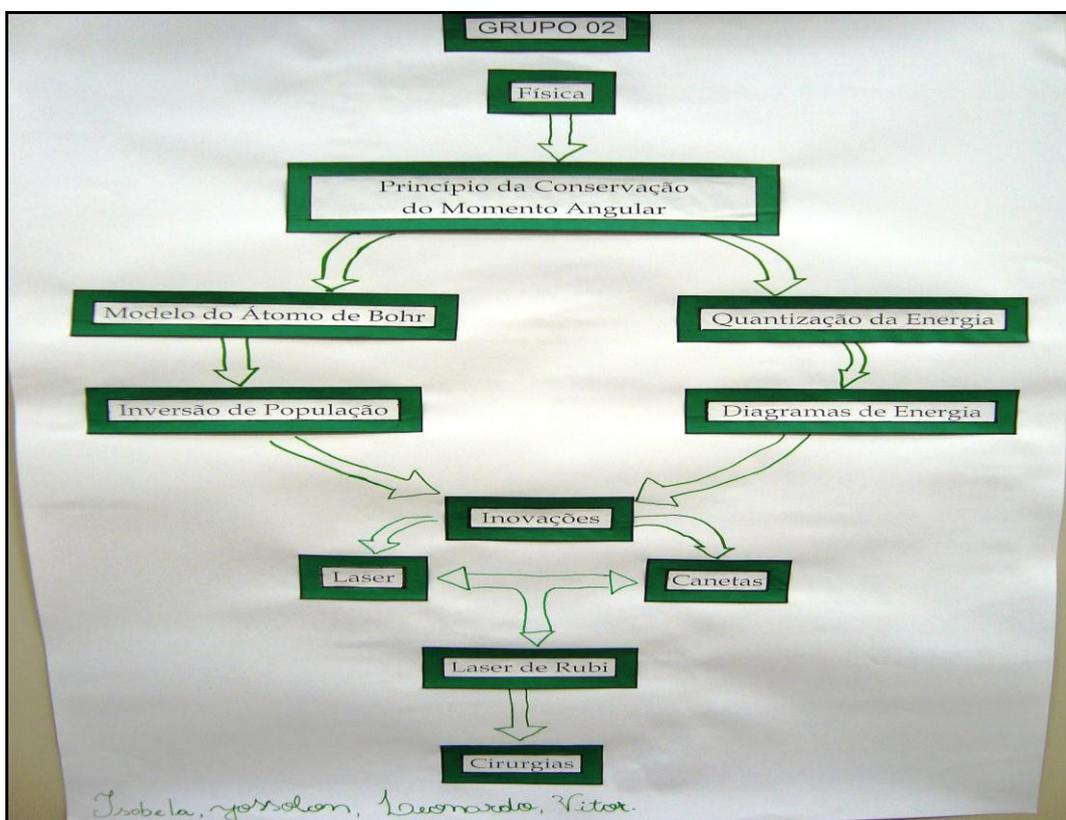


Figura 10- Mapa livre do Grupo Verde da turma Info-1B.

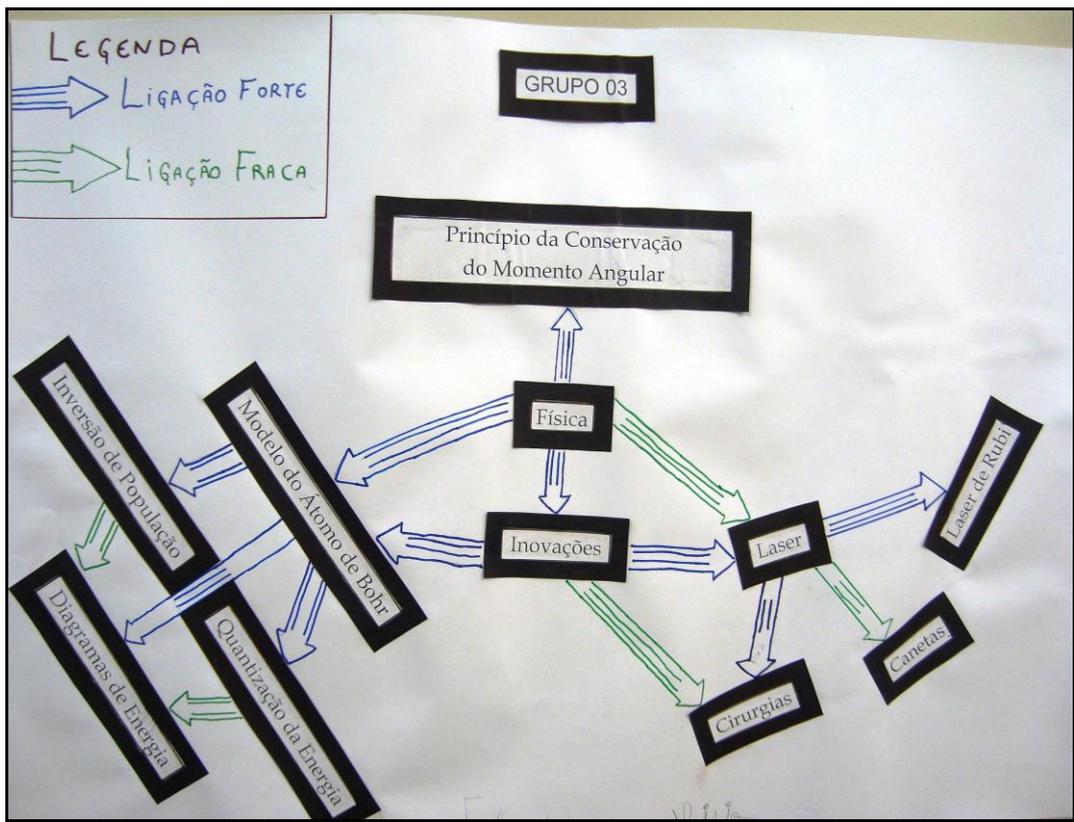


Figura 11- Mapa livre do Grupo Preto da turma Info-1B.

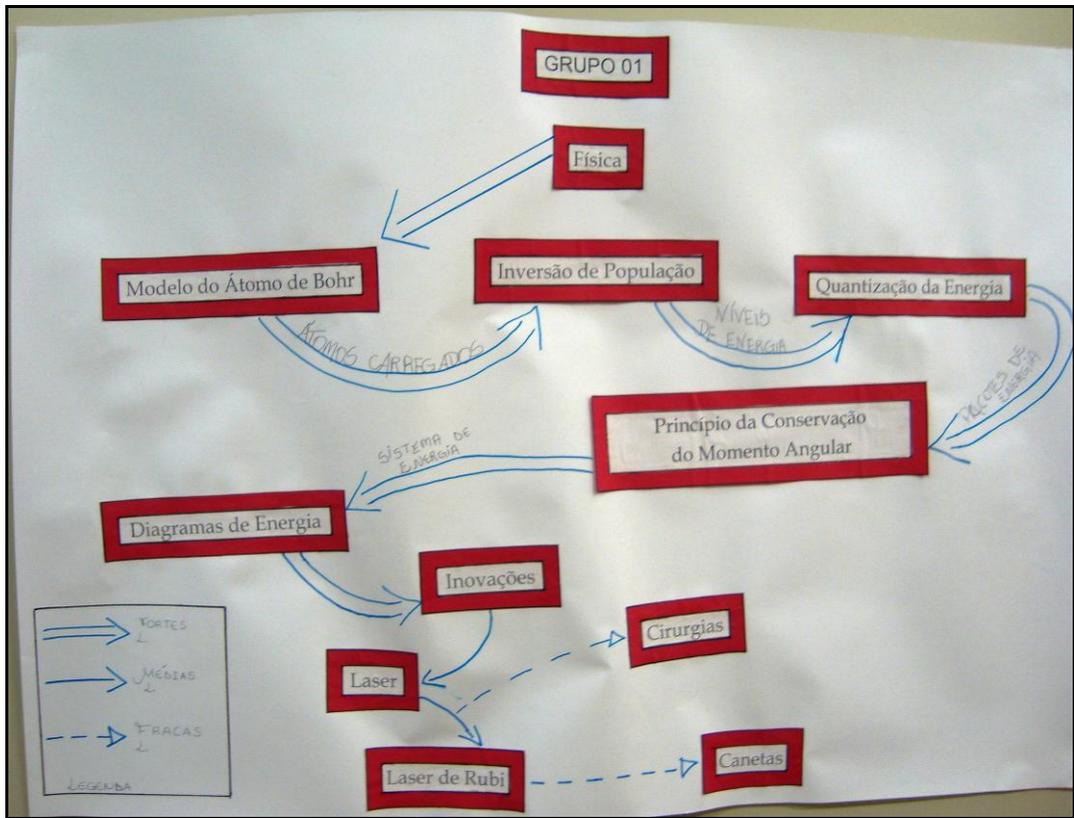


Figura 12 – Mapa livre do Grupo Vermelho da turma Info-1B.

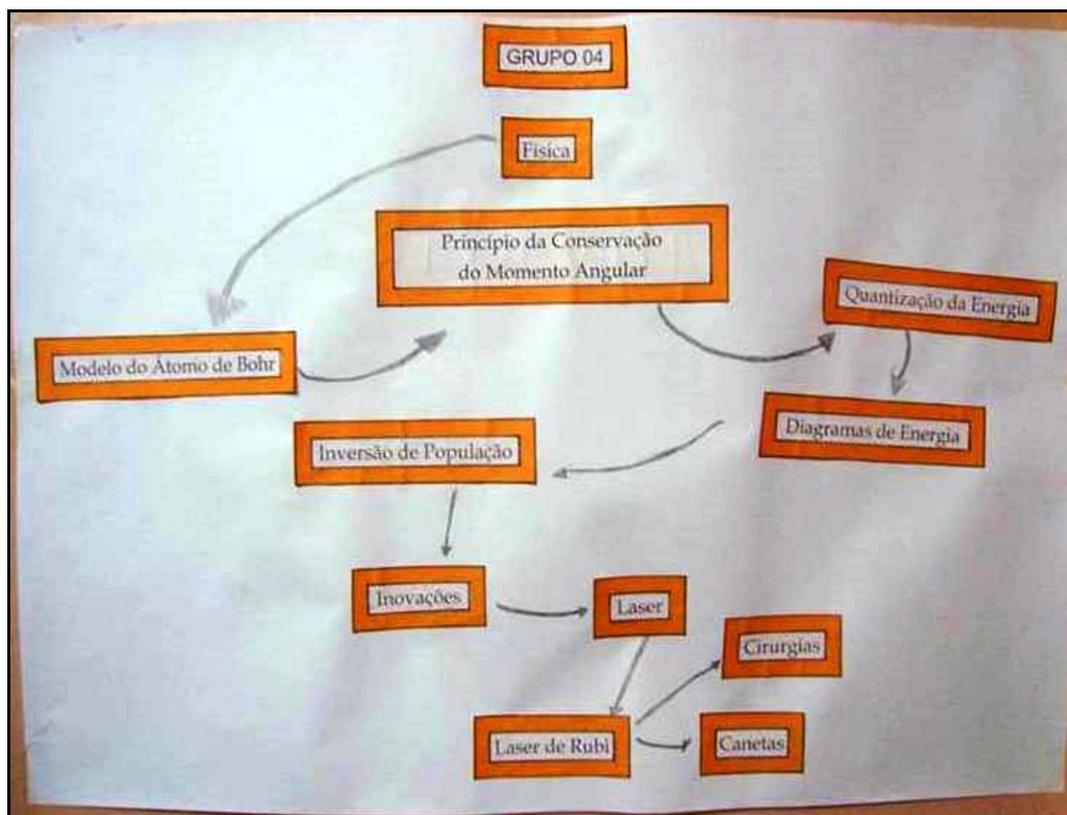


Figura 13 - Mapa livre do Grupo Laranja da turma Info-1B.

Com a construção dos mapas livres percebeu-se que os alunos tentaram dar significados às palavras recebidas, conhecimentos prévios foram externalizados e foram utilizados na etapa III da UEPS. Essa atividade foi desenvolvida em grupo, registrou-se no diário de bordo e evidenciou-se a troca de significados entre os componentes de cada grupo e os alunos também negociavam o posicionamento de cada ficha.

Na etapa II.1 os grupos da turma Info-1A responderam o questionário do Apêndice B (p.158) e obteve-se as respostas mostradas na Tabela 12.

Tabela 12. Fragmentos de respostas do questionário da Turma Info-1A.

Questão	Grupo Azul	Grupo Amarelo	Grupo Roxo	Grupo Rosa
(a)	... vários tipos de laser, usados em armamentos, e canetas e cirurgias.	Antigamente o laser era feito de rubi, e a luz era formada a partir desse rubi e hoje o laser é formado por um gás.	... raios laser, cirurgias a laser, armas com mira a laser.	... laser utilizado no som, laser para a luminosidade.
(b)	Física Moderna.	Física Moderna.	Física Moderna.	Física Moderna.
(c)	Até o presente momento a	Os dois tipos.	Física Clássica.	As duas.

	<i>Física Clássica.</i>			
(d)	<i>As duas.</i>	<i>Um pouco das duas.</i>	<i>Física Clássica.</i>	<i>As duas são importantes mas a Física Moderna tem uma maior participação na nossa vida.</i>
(e)	<i>Tudo. Gravidade, eletricidade, aceleração, etc.</i>	<i>O movimento dos corpos, as forças, e leis de Newton.</i>	<i>A velocidade média, aceleração do carro, a queda de um objeto, a força aplicada sobre um objeto.</i>	<i>Só de nos movermos já inclui física, movimento, carro, a queda de um objeto, a gravidade e o atrito.</i>

Os grupos da turma Info-1B, também responderam o questionário apresentado no Apêndice B (p.158) e obteve-se as respostas mostradas na Tabela 13.

Tabela 13. Fragmentos de respostas do questionário da Turma Info-1B.

Questão	Grupo Verde	Grupo Preto	Grupo Vermelho	Grupo Laranja
(a)	<i>... já ouvi falar sobre cirurgias, armas e sensores. É um importante componente da tecnologia moderna.</i>	<i>... cirurgias a laser, laser para as apresentações, e outros mais potentes...</i>	<i>... cirurgias, canetas, armas e sistemas de segurança... um desenvolvimento tecnológico que abrange diversos campos...</i>	<i>Cirurgias, luz laser, infravermelho.</i>
(b)	<i>Física Moderna.</i>	<i>Física Moderna.</i>	<i>Física Moderna.</i>	<i>Física Moderna.</i>
(c)	<i>Física Moderna.</i>	<i>As duas.</i>	<i>Ambas.</i>	<i>Ambas.</i>
(d)	<i>As duas.</i>	<i>Mais a moderna.</i>	<i>Leis de Newton, adaptações e inovações a partir da Física Clássica.</i>	<i>Ambas.</i>
(e)	<i>Movimento, trajetória, forças, lâmpada, entre outras.</i>	<i>O ônibus vindo para o colégio e os colegas na sala de aula.</i>	<i>Massa, peso, deslocamento, velocidade, forças, posição, entre outros...</i>	<i>... caminhar, ação/reação...</i>

Os dados das Tabelas 12 e 13 evidenciam que na questão: (a) detectou-se forte influência das fichas distribuídas para a construção do mapa livre; (b) unanimidade na afirmação de que o Laser é uma aplicação da Física Moderna; (c) a maioria dos grupos afirma que no Ensino Médio estuda-se tanto a Física Clássica quanto a Física Moderna, porém, o grupo roxo afirma que é a Física Clássica e o grupo verde afirma que é a Física Moderna; (d) idem, resposta da pergunta (c); (e) Os exemplos dados por todos os grupos são exemplos da

Física Clássica, ou seja, os alunos não conseguiam se desprender dos conhecimentos adquiridos até aquele momento em sala de aula.

Na etapa II.2 foi realizada a leitura e o destaque das palavras não compreendidas no texto. As palavras obtidas na turma Info-1A com essa atividade estão na Tabela 14.

Tabela 14. Palavras destacadas da Turma Info-1A.

Palavras	Grupo Azul	Grupo Amarelo	Grupo Roxo	Grupo Rosa
Monocromaticidade	X	X	X	X
Ampola de H / Espectro	X			X
Absorção de fóton / fóton	X	X		X
Atomística/ Colapsaria / espiral	X	X	X	X
Anteparo/ Cavidade ressonante			X	X
Astronomia convencional	X	X		X
Exaustão	X	X	X	X

A Tabela 15 apresenta os dados da etapa II.2 da turma Info-1B.

Tabela 15. Palavras destacadas da Turma Info-1B.

Palavras	Grupo Verde	Grupo Preto	Grupo Vermelho	Grupo Laranja
Monocromaticidade	X	X	X	X
Ampola de H / Espectro	X	X		X
Absorção de fóton / fóton	X	X		
Atomística/ Colapsaria / espiral			X	
Anteparo/ Cavidade ressonante			X	X
Astronomia convencional	X			
Exaustão		X	X	X
Cátodo/anodo			X	X

As Tabelas 14 e 15 evidenciam que os alunos das turmas Info-1A e Info-1B desconheciam o significado das palavras: monocromaticidade, espectroscopia, analíticos, laser, colapsaria, ressonante, astronomia convencional, fóton e exaustão, como era de se esperar. Até esse momento foram promovidas situações para que o aluno dê sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deveria percebê-las como problemas e seria capaz de modelá-las mentalmente, de acordo com Johson-Laird.

De acordo com o diário de bordo, ao final dessa etapa, alguns alunos relataram estar gostando muito mais das aulas de Física, pois cada dia eles tinham uma atividade diferente para realizar e, com isso, se sentiam mais envolvidos e, ainda, que estavam “aprendendo muito mais”.

Iniciou-se o aprofundamento dos conhecimentos (etapa III.1) considerando os dados obtidos nas etapas anteriores. Por meio dos conhecimentos prévios externalizados conseguiu-se envolver os alunos na formalização do conhecimento do campo conceitual envolvido na UEPS. Para obter maior aproveitamento do texto utilizado na etapa II.2, os alunos retomaram sua leitura (etapa III.2) e construíram um esquema ou resumo. Nos resumos foi observado que os alunos destacaram a definição de: laser, laser de rubi, inversão de população, astronomia convencional, modelo do átomo de Bohr, absorção estimulada, emissão estimulada, emissão espontânea e fóton. Pode-se ver que a maioria das palavras destacadas nos resumos coincidiam com as palavras que eles desconheciam o significado, na etapa II.2.

A quarta etapa da UEPS esteve composta de duas atividades. Na primeira, os grupos deveriam pesquisar e apresentar à turma uma aplicação do laser. Com essa atividade obteve-se os temas descritos na Tabela 16.

Tabela 16. Temas dos trabalhos das Turmas Info-1A e Info-1B.

Turma Info-1A	Depilação a Laser	Canetas e apontadores Laser	Aplicações do Laser na Oftalmologia	Principais aplicações do Laser
Turma Info-1B	Laser na medicina	Estudos atuais sobre laser	Curiosidades sobre o laser	Fatos históricos envolvendo Laser na medicina

Por meio dessa atividade, observou-se o envolvimento e a empolgação dos grupos nas atividades propostas.

Na segunda parte, os grupos reconstruíram os mapas livres que passam, então a ser chamados de mapas conceituais. As fotos dos mapas conceituais das turmas Info-1A e Info-1B são apresentadas nas figuras: (14) Grupo Azul, (15) Grupo Amarelo, (16) Grupo Roxo, (17) Grupo Rosa, (18) Grupo Verde, (19) Grupo Preto, (20) Grupo Vermelho e (21) Grupo Laranja.

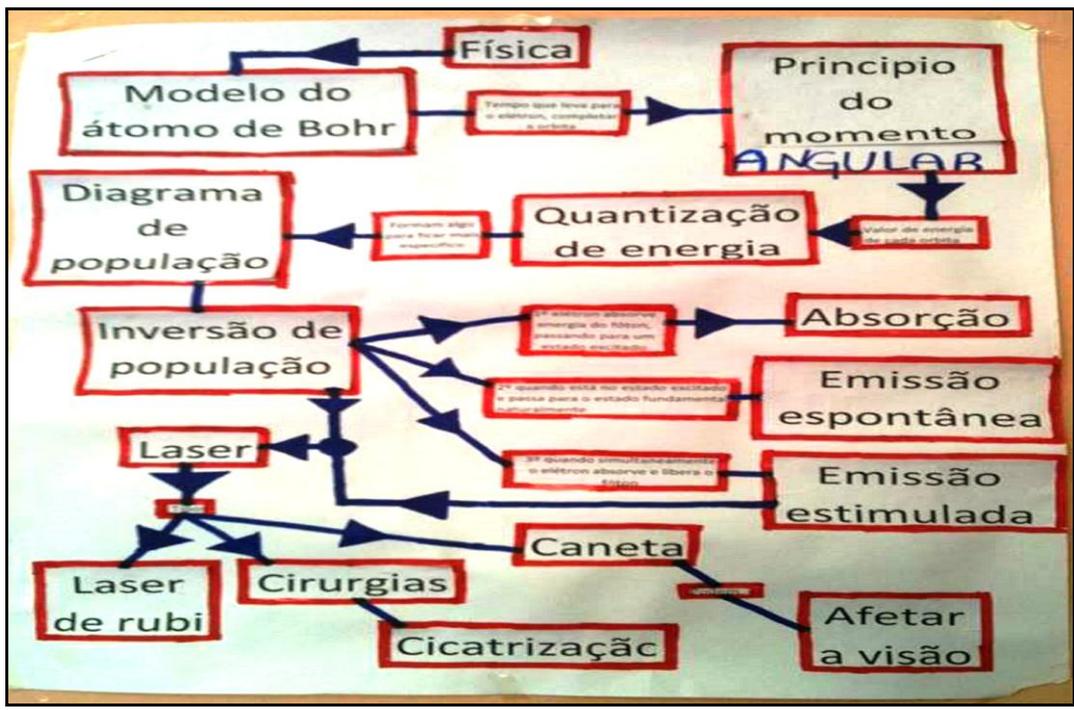


Figura 14- Mapa conceitual do Grupo Azul da turma Info-1A.



Figura 15 - Mapa conceitual do Grupo Amarelo da turma Info-1A.



Figura 16 - Mapa conceitual do Grupo Roxo da turma Info-1A.



Figura 17 - Mapa conceitual do Grupo Rosa da turma Info-1A.

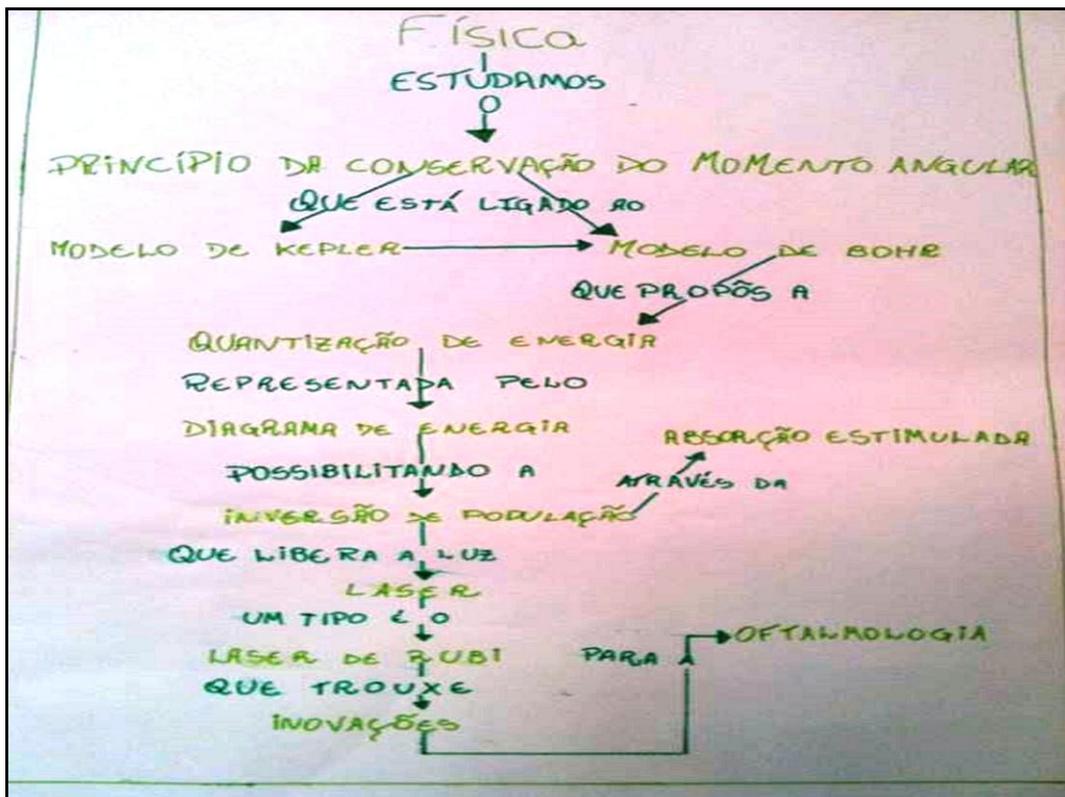


Figura 18 - Mapa conceitual do Grupo Verde da turma Info-1B.

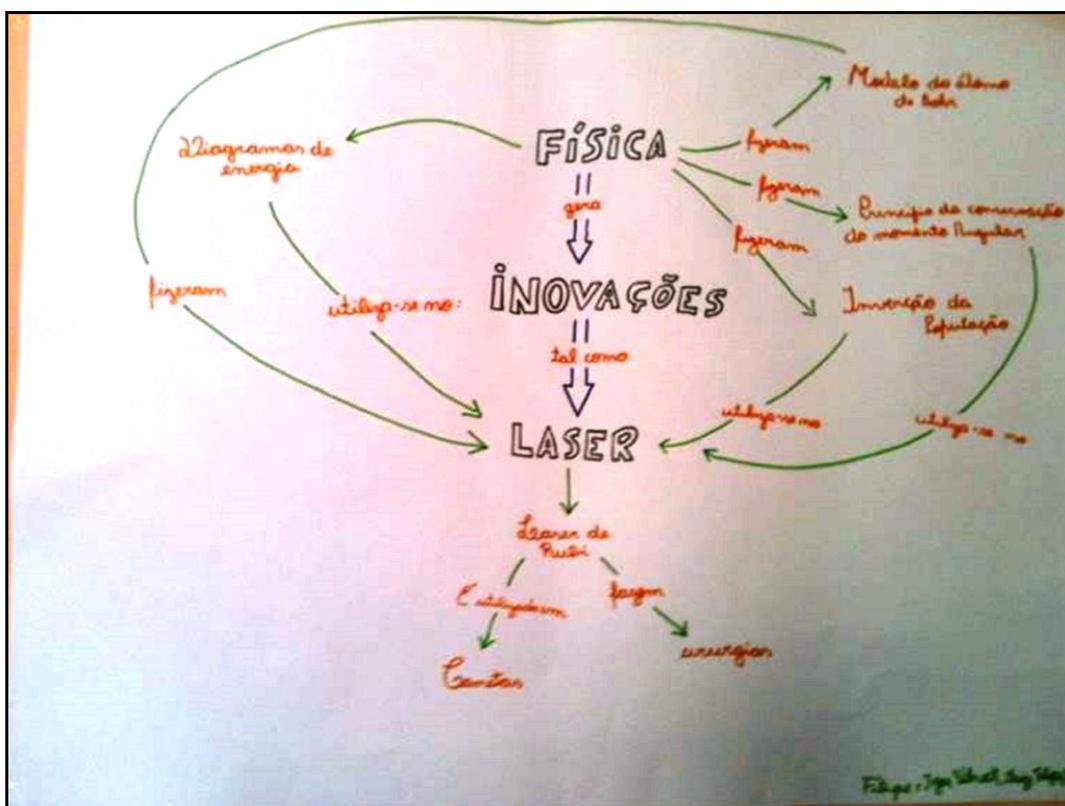


Figura 19 - Mapa conceitual do Grupo Preto da turma Info-1B.



Figura 20 - Mapa conceitual do Grupo Vermelho.

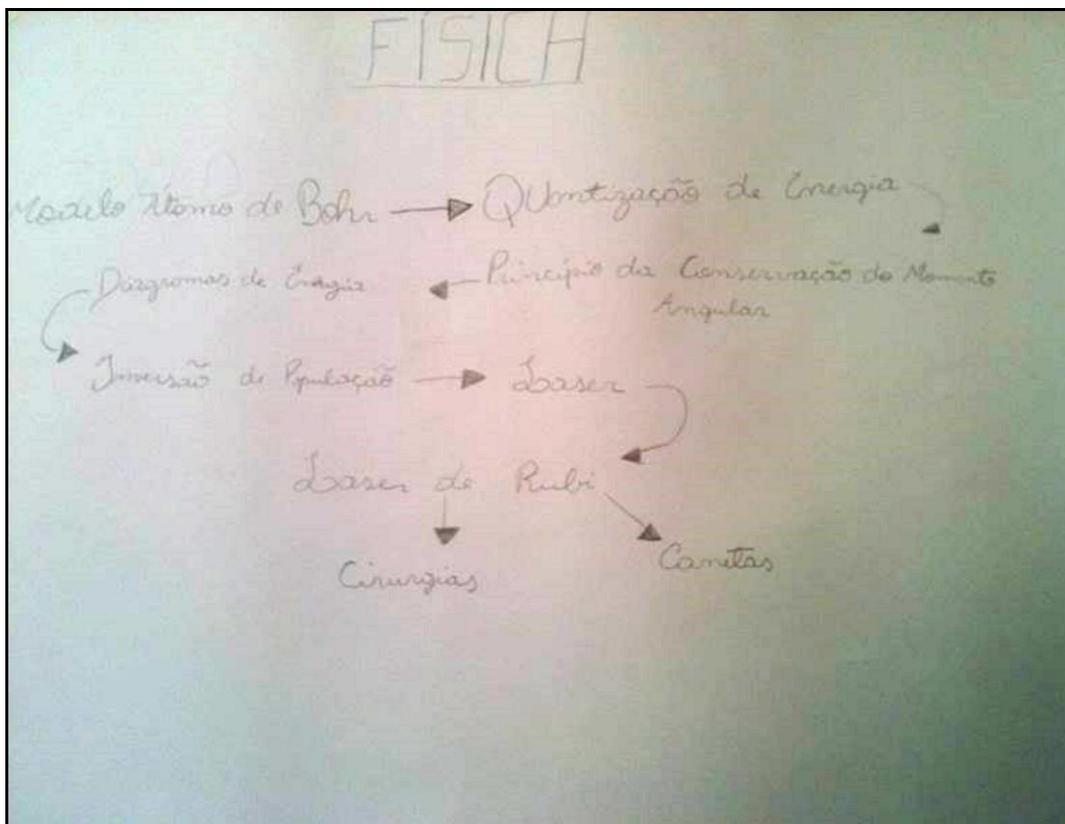


Figura 21- Mapa conceitual do Grupo Laranja da turma Info-1B.

As Tabelas 17 e 18 apresentam a avaliação comparativa entre o mapa livre e o mapa conceitual das turmas Info-1A e Info-1B sob a perspectiva da pesquisadora.

Tabela17. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e o mapa conceitual da turma Info-1A.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Azul	O mapa conceitual tornou-se mais interligado, o grupo acrescentou vários conectores. No mapa conceitual o grupo acrescentou as palavras “ <i>Absorção, Emissão Estimulada, Emissão Espontânea, Cicatrização e Afetar a visão</i> ”.	Nem todas as palavras acrescentadas são consideradas conceitos no contexto discutido.
Amarelo	O mapa conceitual apresentou mais ligações. O grupo acrescentou um conector e as palavras “ <i>Leis de Kepler, Dispositivos Eletrônicos, Medicina, Estética, Diversos Tratamentos, Depilação à Laser, Remoção de manchas da derme, Física Moderna</i> ”.	A maioria das palavras acrescentadas não representam conceitos relevantes no contexto físico mapeado. O grupo utilizou apenas um conector.
Roxo	O mapa conceitual apresentou um maior número de conectores. O grupo acrescentou ao mapa conceitual “ <i>Leis de Kepler</i> ”.	Os conceitos poderiam ser mais interligados.
Rosa	O grupo destacou-se por construir tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual com várias ramificações. Acrescentaram as palavras “ <i>Óptica, Feixe de Luz, Fóton, Cientista e Bohr</i> ”, também destacaram as palavras “ <i>Física, Princípio da Conservação do Momento Angular</i> ”.	O grupo não acrescentou conectores. Nem todas as palavras acrescentadas são consideradas conceitos no contexto discutido.

Tabela 18. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e o mapa conceitual da turma Info-1B.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Verde	O grupo acrescentou conectores em todas as ligações. Acrescentaram-se as palavras “ <i>Absorção Estimulada e Oftalmologia</i> ”.	Os conceitos poderiam ser mais interligados. Nem todas as palavras acrescentadas são consideradas conceitos no contexto discutido.
Preto	Foram acrescentados conectores no mapa conceitual. No mapa livre e no conceitual as palavras são conectadas por várias ligações, porém no mapa conceitual é mais evidente. No mapa conceitual são destacadas as palavras “ <i>Física, Inovações e Laser</i> ”.	O grupo não acrescentou novas palavras ou conceitos.

Vermelho	O mapa livre em linha passou a ser um mapa conceitual mais interligado. O grupo acrescentou vários conectores, explicações a cada conceito e a equação do momento angular. Destacaram o conceito “ <i>Física</i> ” e acrescentaram como conceitos “ <i>Depilação à Laser, Remoção de Tatuagem, Laser de Rubi e Bronzeamento Artificial</i> ”.	O grupo acrescentou explicações, a equação do momento angular e palavras que não são consideradas conceitos.
Laranja	O grupo apenas realizou a tarefa e não se envolveu nas aulas.	Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual são em linha, não acrescentam conectores. Ao desenvolver a atividade da construção do mapa livre e conceitual o grupo não demonstrou motivação.

De modo geral, os grupos realizaram a atividade com motivação e entusiasmo, acrescentaram conectores e novas palavras aos mapas conceituais, mesmo estas não sendo, muitas vezes, consideradas conceitos no contexto discutido. Verificaram-se dois motivos para a desmotivação do grupo laranja: (1) as atividades realizadas isoladas da turma pelo fato da ausência dos alunos na aula, e (2) os alunos estarem reprovados em outras disciplinas no momento da intervenção da pesquisadora. Observou-se ainda, que todos os grupos, exceto o grupo laranja, incluíram em seus mapas conceituais, como aplicação ou inovação, o tema do seu trabalho de pesquisa realizado na etapa IV-1 da UEPS. Este fato evidencia que a atividade foi realizada pelo grupo e provavelmente tornou-se significativa, ou pelo menos, passaram a fazer parte do seu vocabulário certos conceitos.

Segundo Ausubel, a estrutura cognitiva do aprendiz é única e por isso todos os significados adquiridos também serão únicos. Assim, pensando na unicidade de cada aprendiz foi proposta a avaliação somativa individual da etapa V da UEPS que contempla cinco questões abertas. A prova de avaliação somativa individual é apresentada na íntegra no Apêndice E (p.172).

Na sequência, segue a análise realizada das respostas obtidas nessa Avaliação. A resposta da questão 1 é considerada:

- C - correta quando o aluno citou as 4 características da luz laser - *monocromaticidade, coerência, direcional e alta intensidade*;

- M - ½ correta quando o aluno citou duas características;
- T - ¾ correta quando o aluno apresentou 3 características;
- P - ¼ correta quando apresentou apenas uma das características;
- E - errada quando o aluno não apresentou nenhuma das características;
- NF – quando o aluno não respondeu a questão.

A Tabela 19 apresenta os dados da questão 1 das turmas Info-1A e Info-1B.

Tabela 19. Questão 1 das turmas Info-1A e Info-1B.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A	C – 1* T – 1* M – 2*	C – 4*	C – 3* NF – 1*	C – 2* T – 1* E – 1*
Info-1B	C – 1* T – 1* M – 2*	C – 5*	C – 1* M – 2* E – 1*	T – 1* E – 2*

\* Número de alunos do grupo.

Com os dados da Tabela 19 pode-se verificar que: (a) todos os alunos do Grupo Amarelo e Grupo Preto acertaram as 4 características da luz laser; (b) dos vinte e quatro alunos apenas 3 apresentaram respostas incorretas, sendo dois alunos do grupo Laranja; (c) um aluno não fez a questão 1; e (d) dezessete alunos responderam corretamente. Com o resultado obtido na questão 1 pode-se ver que a maioria dos alunos citou as quatro características da luz laser.

A Tabela 20 apresenta os dados da questão 2 das turmas Info-1A e Info-1B, utilizou-se os mesmos critérios (C, M, T, E e NF).

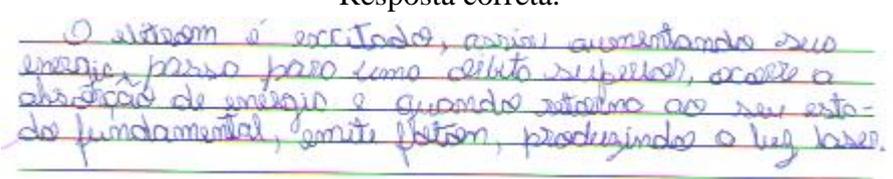
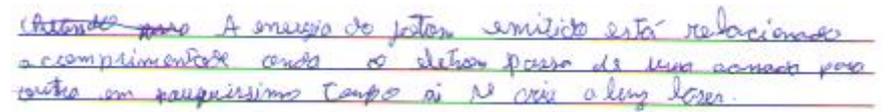
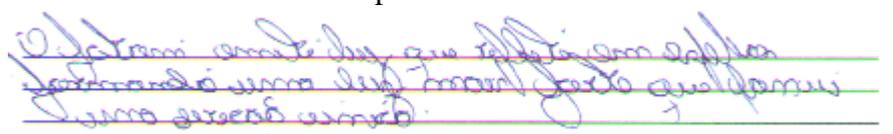
Tabela 20. Questão 2 das turmas Info-1A e Info-1B.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A	M – 4*	C – 3* M – 1*	C – 3* E – 1*	C – 1* M – 1* E – 1* NF – 1*
Info-1B	C – 4*	C – 3* M – 1* E – 1*	C – 4*	C – 1* M – 2*

\* Número de alunos do grupo.

Na questão 2, obteve-se 19 respostas corretas, 9 parcialmente corretas, 3 incorretas e apenas um aluno não respondeu a questão. A Tabela 21 exemplifica as respostas correta, parcialmente correta e incorreta.

Tabela 21. Questão 2.

<p>Resposta correta.</p>  <p><i>O elétron é excitado, assim aumentando sua energia passa para uma órbita superior, ocorre a absorção de energia e quando retorna ao seu estado fundamental, emite fóton, produzindo luz laser.</i></p> <p>O elétron é excitado, assim aumentando sua energia passa para uma órbita superior, ocorre a absorção de energia e quando retorna ao seu estado fundamental, emite fóton, produzindo luz laser.</p>
<p>Resposta parcialmente correta.</p>  <p><del>Quando esse</del> A energia do fóton emitido está relacionada a comprimentos de onda, o elétron passa de uma camada para outra com pouquíssimo tempo, aí cria a luz laser.</p> <p>Quando esse A energia do fóton emitido está relacionada a comprimentos de onda, o elétron passa de uma camada para outra com pouquíssimo tempo, aí cria a luz laser.</p>
<p>Resposta incorreta.</p>  <p>O fóton emite uma luz que reflete em um espelho formando uma luz mais forte formando uma direção única.</p> <p>O fóton emite uma luz que reflete em um espelho formando uma luz mais forte formando uma direção única.</p>

A Tabela 22 apresenta os dados da questão 3, considerando os mesmos critérios C, M, E, para as turmas Info-1A e Info-1B.

Tabela 22. Questão 3 das turmas Info-1A e Info-1B.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A	C - 2*	M - 3*	C - 4*	C - 2*
	M - 1*	E - 1*		M - 1*
	NF - 1*			E - 1*
Info-1B	C - 3*	M - 4*	C - 2*	C - 2*
	M - 1*	E - 1*	M - 1*	M - 1*
			E - 1*	

\* Número de alunos do grupo.

Os resultados obtidos na questão 3 revelam 15 respostas corretas, 12 parcialmente corretas, 4 incorretas e um aluno não respondeu à questão 3. Na Tabela 23 exemplificam-se respostas correta, parcialmente correta e incorreta.

Tabela 23. Questão 3.

<p>Resposta correta.</p> <p><i>É um laser feito de rubi (<math>Al_2O_3</math>), em que 1% dos íons de Al são substituídos por cromo, que é responsável pela cor avermelhada, cor que é do rubi.</i></p> <p>É um laser feito de rubi (<math>Al_2O_3</math>), em que 1% dos íons de Al são substituídos por cromo, que é responsável pela cor avermelhada, cor que é o rubi.</p>
<p>Resposta parcialmente correta.</p> <p><i>Que é feito com uma pequeníssima quantidade de rubi, possui um comprimento de onda bem definido.</i></p> <p>Que é feito com uma pequeníssima quantidade de rubi, possui um comprimento de onda bem definido.</p>
<p>Resposta incorreta.</p> <p><i>O laser precisa de uma fonte, nesse caso utiliza-se o rubi, ficando com esse nome.</i></p> <p>O laser precisa de uma fonte, nesse caso utiliza-se o rubi, ficando com esse nome.</p>

Segundo Ausubel, uma evidência de aprendizagem significativa é quando o aluno consegue resolver uma nova situação problema com as novas informações. Os alunos ao pesquisarem e apresentarem os trabalhos sobre aplicações da luz laser tiveram que resolver essa situação-problema com as informações estudadas em sala de aula. Considerando também que, o processo de aprendizagem significativa não se encerra com a sua aquisição e sim faz parte de um processo mais amplo de assimilação que segue pela retenção ou esquecimento da nova informação, foi elaborada a questão 4 para verificar se a nova situação foi retida ou não. Na questão 4, obteve-se todas as respostas corretas, ou seja, todos os alunos descreveram um trabalho apresentado sobre as aplicações do laser, e 22 alunos descreveram o seu próprio trabalho. Este resultado foi interpretado como uma evidência de aprendizagem significativa. Exemplifica-se com a transcrição de uma resposta: “A depilação a laser, em que é feito por seções para a remoção de pêlos de maneira permanente, é eficaz em pêlos mais escuros, pois o mesmo age na melanina do pêlo. Geralmente são necessárias de 5 a 8 seções e é indolor.”. Verificou-se que os alunos construíram seus trabalhos e optaram por descrever o próprio trabalho. Assim, evidenciando que o aluno ao se envolver de forma ativa, lúdica e mais divertida no processo de construção da aprendizagem evoca maiores evidências de ser significativa e de sua retenção e, ainda ajuda a fixar os conceitos de FMC (Caruso e Freitas, 2009).

Destacam-se na Tabela 24, respostas individuais obtidas separadas por seus respectivos grupos para a questão 5.

Tabela 24. Fragmentos de respostas da questão 5 das turmas Info-1A e Info-1B.

Turma	Cor do Grupo
Info-1A	<p><i>O método da professora eu achei muito bom, pois fez eu aprender melhor as coisas, graças ao 1º mapa, fiquei curiosa para saber o modo “certo” para montá-lo...</i></p> <p><i>...também percebi a importância do laser na área da informática. Com este trabalho passamos a ver o laser com outros olhos.</i></p> <p><i>...não sabia o funcionamento do laser, agora sei e onde é usado...</i></p>
	<p><i>Aprendi bastante, confesso que estranhei o método de ensinar nas primeiras aulas mas é muito legal...</i></p> <p><i>Durante a construção do mapa livre eu não sabia absolutamente nada, ... depois aprendi bem, entendi a matéria e gostei muito a forma com que foi dado o conteúdo.</i></p> <p><i>Foi uma forma mais dinâmica de aprender, a qual facilita muito a aprendizagem, por não ser uma forma cansativa.</i></p>
	<p><i>Esse método de fazer mapas ajudou muito na aprendizagem, pois é mais fácil aprender um conteúdo discutindo ideias de forma dinâmica, do que a mesmice de provas.</i></p> <p><i>... maior facilidade de fixação da matéria por ter muitos meios de representação e imagens e também, pode ser um assunto mais contemporâneo fugindo um pouco da Física Clássica.</i></p> <p><i>... adorei o jeito dinâmico e não aprendemos de forma tradicional que é somente explicações.</i></p>
	<p><i>No começo era tudo confuso mas ao longo do tempo com as explicações tudo cada vez mais foi ficando fácil.</i></p> <p><i>...aumentou o conhecimento sobre laser, fótons e átomos.</i></p> <p><i>... Eu não sei por que mas não consegui aprender direito.</i></p>
Info-1B	<p><i>Eu aprendi mais sobre laser, como funciona e a física envolvida...</i></p> <p><i>As aulas de física se tornaram bem mais interessantes, trazendo uma forma mais fácil de aprender, mesmo a matéria não sendo tão boa.</i></p> <p><i>As aulas foram muito diversificadas e diferentes, sendo um meio melhor de pode aprender a matéria.</i></p> <p><i>... a parte de laser foi a que mais aprendi de todo o ano.</i></p>
	<p><i>... foram muito proveitosas.</i></p> <p><i>... achei mais interessante, com alguma coisa mais perto do nosso conhecimento e entender sobre isso.</i></p> <p><i>A minha aprendizagem foi 10. É um assunto muito interessante que fez nós alunos se dedicar para aprendermos. Foram aulas muito bem aproveitadas.</i></p> <p><i>...as aulas foram ótimas, aprendemos coisas do nosso dia a dia e que nunca tinha estudado dessa forma.</i></p>
	<p><i>Aprendi muito mais deste modo, pois fica mais interativo.</i></p> <p><i>... gostei de aprender sobre o assunto... e o mapa livre foi muito bom para ver nossos conhecimentos e depois saber tudo e refazer a atividade... os</i></p>

	<i>conceitos que tivemos estão TOTALMENTE relacionados.</i>
	<i>Achei muito interessante o conteúdo e vai ser muito útil.</i>
	<i>Aprendi que o laser possui muitas aplicações...</i>

Das falas dos alunos, infere-se que eles destacam a metodologia didática envolvida na UEPS como um meio facilitador da aprendizagem, ou seja, a UEPS Laser de Rubi pode ser considerada uma estratégia potencialmente significativa. Porém, de acordo com Ausubel não basta ter um material potencialmente significativo, também é necessário a predisposição do aluno em aprender. Através das respostas dos alunos à questão 5, entende-se que o desenvolvimento da UEPS também pode ser considerado um agente motivador, tornando o aluno pré-disposto a aprender provavelmente de forma significativa o tema Laser de Rubi.

Na sexta etapa da UEPS foi realizada a aula expositiva dialogada integradora final. Os conteúdos da UEPS foram discutidos usando um mapa conceitual de um dos grupos. Dessa maneira, realizou-se o processo dinâmico de reconciliação integradora e diferenciação progressiva dos conteúdos da UEPS Laser de Rubi. Nessa atividade, os alunos envolveram-se relatando como pensavam e como conseguiram “entender melhor” o conteúdo, acrescentando explicações e ajudando de forma participativa e motivadora.

A avaliação da aprendizagem da UEPS foi realizada em sua sétima etapa. Analisando os mapas livres e conceituais, a apresentação da aplicação do laser, a avaliação individual e a participação do aluno, concluiu-se que os alunos obtiveram um bom aproveitamento e um ótimo envolvimento. Percebeu-se com os depoimentos no final das aulas, que eles sentiram seus conhecimentos valorizados com o retorno imediato de todas as atividades da UEPS. Não se tem evidências conclusivas de aprendizagem significativa, mas certamente se conseguiu aumentar a predisposição dos alunos para aprender.

Na etapa VIII avaliaram-se as atividades propostas na UEPS. Algumas transcrições do diário de bordo são apresentadas a seguir, “...*agora sim, as aulas de Física são boas e estou aprendendo bem mais... bah!... nunca pensei que poderia aprender tanta coisa em tão pouco tempo, ...a professora usou a tática dos mapas e nós não sabíamos o que estávamos fazendo e depois a aprendizagem ia surgindo aos poucos, até que tudo ficou claro...*”. De acordo com a auto-avaliação dos alunos e com as transcrições do diário de bordo analisou-se a proposta e concluiu-se que foi positiva, pois os alunos obtiveram resultados satisfatórios no

desenvolvimento das atividades. E mais, a aplicação da UEPS em 2013 seria desenvolvida sem mudanças significativas.

Segundo Ausubel, o processo de aquisição da aprendizagem significativa não acaba com a aquisição de novos significados. A nova informação deve ser retida, ou esquecida. Com o intuito de verificar se ocorreu a retenção das novas informações adquiridas com a UEPS Laser de Rubi, aplicou-se um questionário, Apêndice F (p.173), após dez meses do término da UEPS. Os alunos responderam, nos grupos, o questionário utilizando os mapas livres e conceituais confeccionados no ano de 2012. Assim, nessa etapa do trabalho a avaliação foi realizada em grupo, pois foi fundamental a interação e a troca de significados entre os alunos dos grupos.

A questão 1 não foi modificada e por isso utilizou-se os mesmos critérios de avaliação. A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos com as respostas da questão 1 na Turma Info-2A. Na oportunidade os alunos responderam em grupo as questões e este fato justifica apenas uma resposta por grupo.

Tabela 25. Questão 1 da Turma Info-2A.

Turma	Cor do Grupo				
Info-2A	T	C	C	NF	M

Os dados da Tabela 25 evidenciam que a maioria dos grupos recorda as características da luz laser e que a informação foi assimilada e retida. As respostas obtidas na Turma Info-2A para a questão 2 são representadas na Tabela 26.

Tabela 26. Questão 2 da Turma Info-2A.

Turma	Cor do Grupo				
Info-2A	NF	C	C	M	C

Com os dados da Tabela 26 infere-se que, do total de 5 grupos, 3 responderam a questão 2 corretamente, que é exemplificada pela resposta, “... *precisa-se de uma fonte de energia para ocorrer a inversão de população assim ocorrendo a emissão do fóton (luz laser)*”; um grupo apresentou a resposta incompleta mas que pode ser considerada parcialmente correta, segue descrição, “...*com a agitação dos elétrons e visualizada no diagrama de energia gera-se a luz laser*”; e o grupo preto não respondeu a questão. Entende-se que os grupos, em sua maioria, estabeleceram consensos sobre a formação da luz laser.

A Tabela 27 traz os resultados obtidos com a questão 3 da Turma Info-2A.

Tabela 27. Questão 3 da Turma Info-2A.

Turma	Cor do Grupo				
Info-2A	C	M	C	M	M

A Tabela 27 mostra que os grupos roxo e preto responderam corretamente, por exemplo, “ *O rubi é o meio ativo para que a luz avermelhada se forme.*”, e os grupos verde, amarelo e rosa respondem parcialmente, por exemplo, “ *Porque é usado um rubi na sua composição por ter coloração avermelhada e ter maior capacidade de inversão de população.*” Concluiu-se que os grupos através da negociação de significados com os colegas estabeleceram a relação entre o rubi (vermelho) e a cor do laser (vermelha) como sendo o meio ativo para sua produção.

A questão 4, foi reelaborada da seguinte forma: 4. *O grupo lembra o tema do seu trabalho apresentado sobre as aplicações da luz laser? Descreva-o.* E as respostas obtidas são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28. Questão 4 da Turma Info-2A.

Turma Info-2A	Estudos atuais sobre laser	Canetas e apontadores Laser	Aplicações do Laser na Oftalmologia	Principais aplicações do Laser	Laser na medicina
---------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	--------------------------------	-------------------

A Tabela 28 demonstra que todos os grupos responderam a questão 4 corretamente. Assim, novamente conclui-se que a atividade de pesquisar e apresentar sua pesquisa aos colegas, atividade esta em que os alunos envolvem-se de forma participativa, coletiva e autônoma no processo de assimilação da nova informação, dá maiores evidências de uma aprendizagem significativa.

A Tabela 29 apresenta as respostas obtidas na questão 5 da Turma Info-2A.

Tabela 29. Fragmentos das respostas à questão 5 da Turmas Info-2A.

Turma	Cor do Grupo
Info-2A	“... o mapa foi uma tática que ajudou a lembrar agora sobre o laser.”
	“...aprendemos o suficiente para passar de ano. As aulas foram bem legais e divertidas.”
	“...foi possível aprender e pesquisar o conteúdo de uma forma simplificada e diferente.”
	“... com o passar do trabalho a aprendizagem surgia como resultado.”
	“...as aulas aumentaram a nossa convivência em grupo.”

As respostas da questão 5 evidencia, de acordo com Zoolman e colaboradores (2002), que os alunos gostam de trabalhar em grupo, que o professor faça uso de diferentes

metodologias de ensino e sentem que a aprendizagem é facilitada com o uso destas metodologias diversificadas e as aulas de Física se tornam “*menos chatas*”.

Acrescenta-se a questão 6: 6. *Escreva o que o grupo sentiu ao rever seus trabalhos. Que recordações vocês podem relatar?* As respostas obtidas foram semelhantes da questão 5, porém, o grupo preto acrescenta “...*uma recordação pequena, que com o tempo foi aumentando, e um momento significativo para o grupo foi a construção do mapa.*” Com esta respostas tem-se evidências da subsunção obliteradora, ou seja, perda gradual e espontânea dos novos significados sendo assimilados pelos significados mais estáveis e mais amplos.

Também, acrescenta-se a questão 7: 7. *Quando o grupo construiu seu mapa livre a ficha – “INVERSÃO DE POPULAÇÃO” gerou muita discussão. Vocês lembram o seu significado?* Os grupos verde, roxo, rosa e preto responderam corretamente, por exemplo, “...*De primeiro momento pensamos que se referia a uma população humana. Mas após as aulas, na construção do mapa conceitual descobrimos que se referia a uma inversão de população de elétrons de um nível de energia menor para outro nível de energia maior.*”; e o grupo amarelo respondeu incorretamente, “... *é que tem uma parte na formação do laser onde os elétrons são agitados e a parte positiva se inverte pra negativa e vice-versa.*”

Os resultados obtidos com a UEPS no estudo-piloto apresentaram evidências de aprendizagem significativa e, ainda, esta foi seguida pela retenção das novas informações. Assim, pode-se concluir que o uso da UEPS Laser de Rubi foi uma maneira eficaz para introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea no 1º ano do Ensino Médio.

A seguir apresenta-se a análise de dados e resultados das turmas do Curso Técnico em Informática Integrado de 2013.

## **5.2. Turmas Info-1A e Info-1B de 2013**

A turma Info-1A de 2013 iniciou com 21 alunos matriculados e apenas 12 terminaram o ano letivo na instituição, ou seja, foram efetivadas 9 transferências de alunos. A turma Info-1B de 2013 iniciou com 18 alunos matriculados e terminou o ano letivo com 12 alunos. Este dado foi levado em consideração pelo Instituto Federal Farroupilha e é por esse motivo que

**todos** os Projetos Pedagógicos de Curso foram reformulados para 2014, em todos os níveis de ensino.

Novamente, analisam-se os resultados na sequência adotada pela UEPS. Na etapa I da UEPS os alunos em grupo construíram um mapa livre e filmaram suas explicações. Com essa atividade detectaram-se conhecimentos prévios dos grupos e foram transcritos aspectos relevantes. Durante a realização da atividade percebeu-se as mesmas dificuldades encontradas no estudo-piloto. A atividade foi proposta e realizada em duas horas/aula.

As transcrições das filmagens da Turma Info-1A-2013 são:

- Grupo Verde - *“ O assunto do trabalho envolve a Física que contém os subtítulos Modelo Atômico de Bohr e Laser. O Modelo Atômico de Bohr tem consistência no Princípio da Conservação do Momento Angular que tem a Inversão de População que gera Inovações. A parte de Laser consiste na Quantização de Energia que passa a ser representada no Diagrama de Energia que tem como exemplo um tipo de Laser que é o Laser de Rubi, que podem ser feitas Canetas e também Cirurgias a Laser”*.
- Grupo Preto - *“O nosso trabalho começa com a Física porque todas as fichas são englobadas pela Física. A Física explica o Princípio da Conservação do Momento Angular que explica o Modelo do Átomo de Bohr consegue explicar a Inversão de População. A Inversão de População pode ser explicada no Diagrama de Energia que explica o Laser e exemplifica com o Laser de Rubi. Voltando à Inversão de População pode ser explicada com a Quantização de Energia que explica as Inovações que são as Canetas a Laser e as Cirurgias feitas com Laser”*.
- Grupo Vermelho - *“...colocamos a Física primeiro porque é a matéria que estuda o Princípio da Conservação do Momento Angular no Modelo Atômico de Bohr dividido na Quantização de Energia e nos Diagramas de Energia; os dois dependem da Inversão de População. Que geram Inovações a Laser, o Laser de Rubi é um exemplo, que geram as Canetas e as Cirurgias”*.

As transcrições das filmagens da Turma Info-1B-2013 são:

- Grupo Preto: *“O mapa começa com a Inversão de População que gera Cirurgias, que precisam de Inovações que podem ser as Canetas à Laser, ou melhor, Laser Rubi.*

*Voltando a Inversão de População é explicada pela Física que explica também o Modelo do Átomo de Bohr que utiliza o Princípio da Conservação do Momento Angular, a Quantização de Energia e o Diagrama de Energia”.*

- Grupo Laranja: *“O nosso trabalho é sobre o laser e suas utilidades. Primeiro colocamos a Física porque ela engloba tudo. O Princípio da conservação do Momento Angular é ligado com o Modelo do Átomo de Bohr que é o modelo utilizado para estudar o Laser e tal... O Modelo do Átomo de Bohr se liga a Quantização da Energia que pode ser mostrado no Diagrama de Energia e a Inversão de População tem a ver com os Diagramas de Energia e as Inovações, consideradas com o uso do Laser, que se liga ao Laser de Rubi. O Laser se liga às Canetas e o Laser de Rubi se liga com as Cirurgias. Estes tipos de Lasers podem ser encontrados também no controle remoto”.*
- Grupo Marrom: *“ A Física está relacionada com a Quantização da Energia e o Modelo do Átomo de Bohr. O Diagrama de Energia está relacionado com o Princípio da Conservação do Momento Angular e a Inversão de População está relacionada com as Inovações que tornam possível as Cirurgias com Laser de Rubi. Voltando no mapa as Inovações estão relacionadas às Canetas que são de Laser”.*
- Grupo Amarelo: *“A Física engloba o Princípio da Conservação do Momento Angular a Inversão da População e o Modelo do Átomo de Bohr. A Quantização da Energia está ligada a Diagramas de Energia e ao Laser de Rubi. O Modelo do Átomo de Bohr junto com o Laser de Rubi geram as Inovações que são Laser, Canetas e Cirurgias.”*

Os mapas livres das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 são apresentados nas figuras: (22) Grupo Verde, (23) Grupo Preto, (24) Grupo Vermelho, (25) Grupo Preto, (26) Grupo Laranja, (27) Grupo Marrom, e (28) Grupo Amarelo.

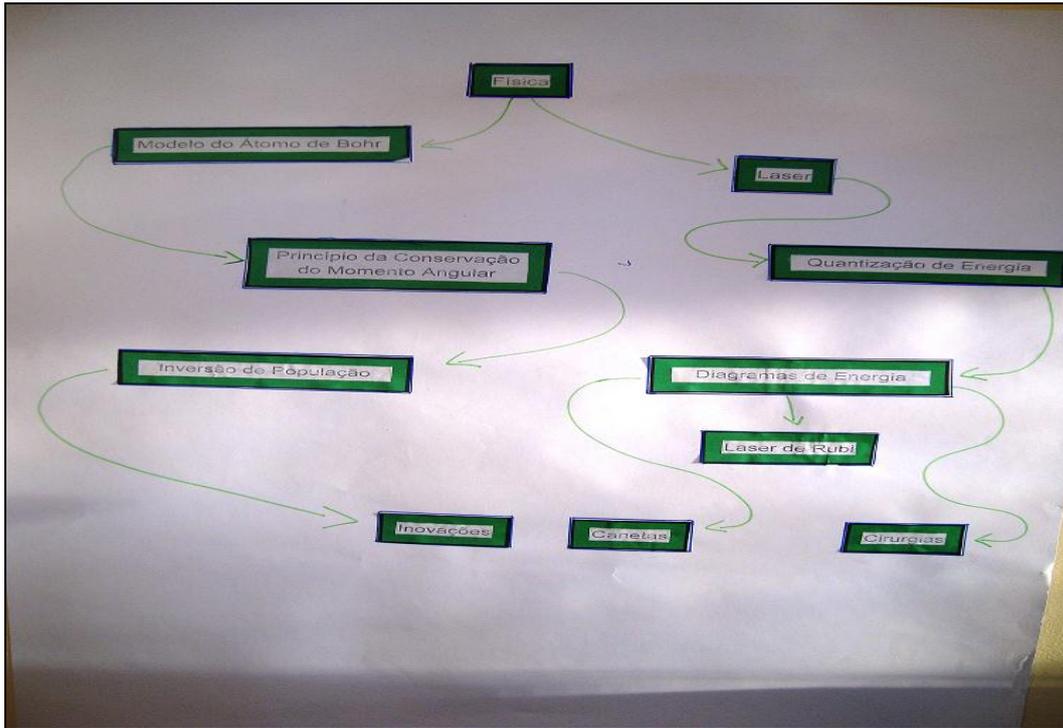


Figura 22. Mapa livre do grupo verde da turma Info-1A-2013.

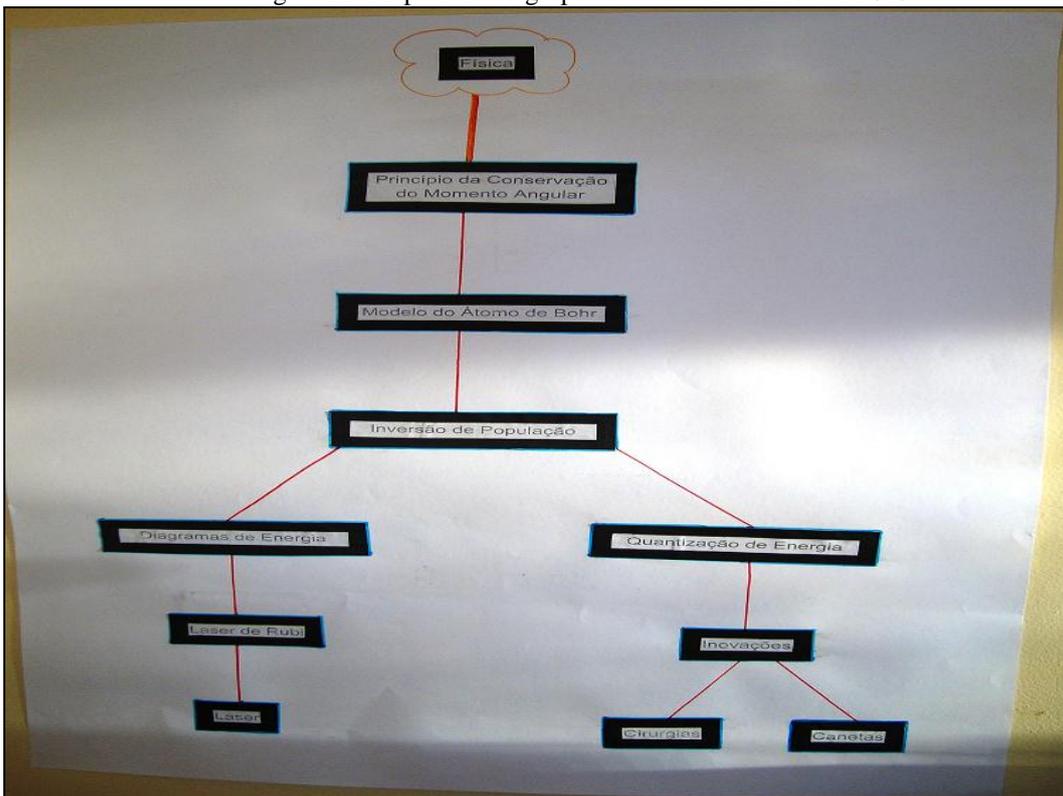


Figura 23. Mapa livre do Grupo Preto da Turma Info-1A-2013.

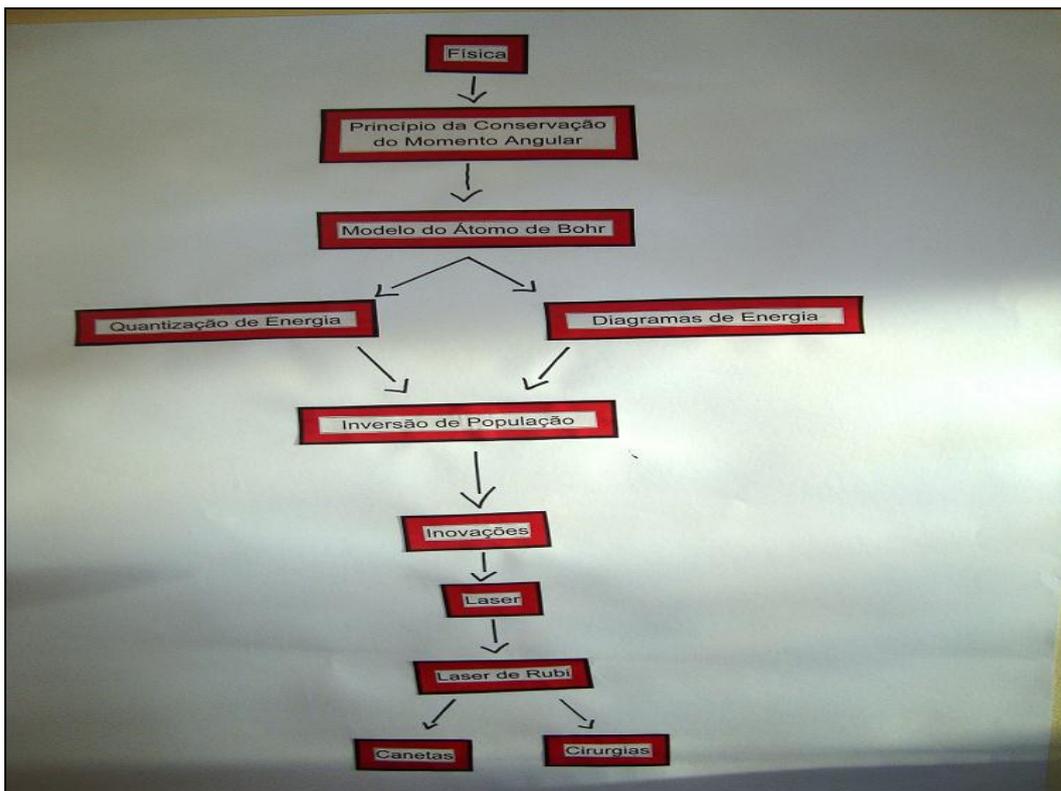


Figura 24. Mapa livre do grupo vermelho da turma Info-1A de 2013.

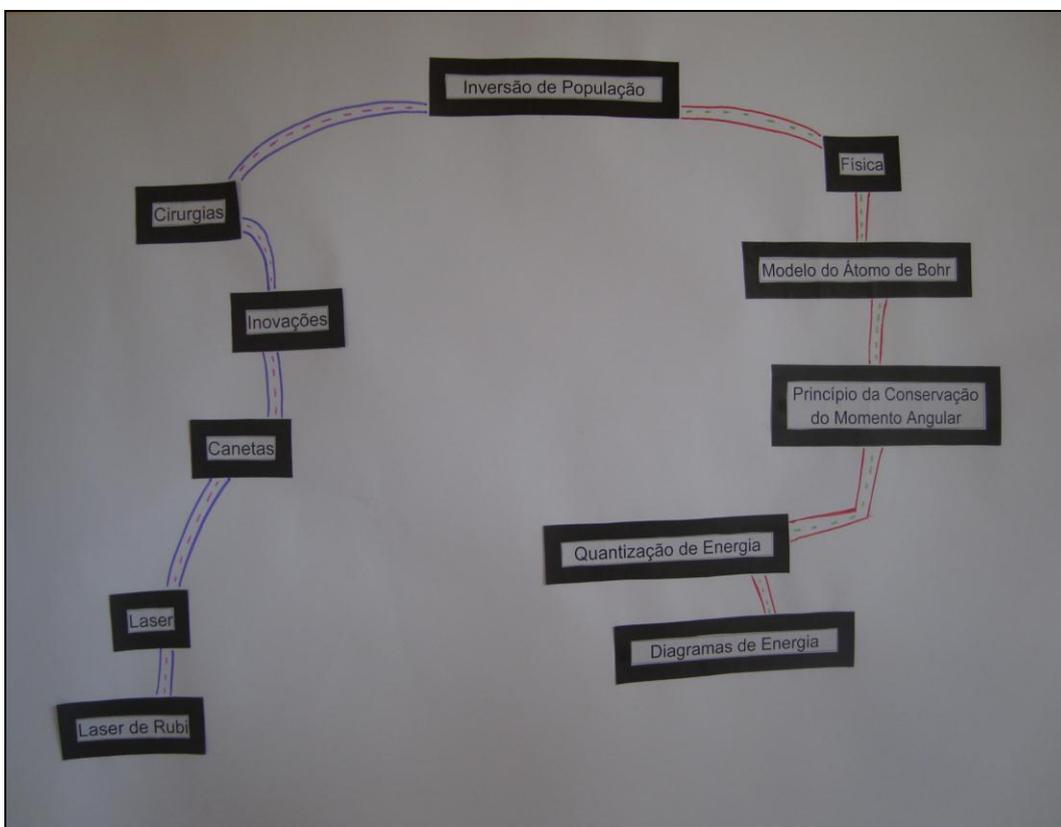


Figura 25. Mapa livre do Grupo Preto da Turma Info-1B-2013.

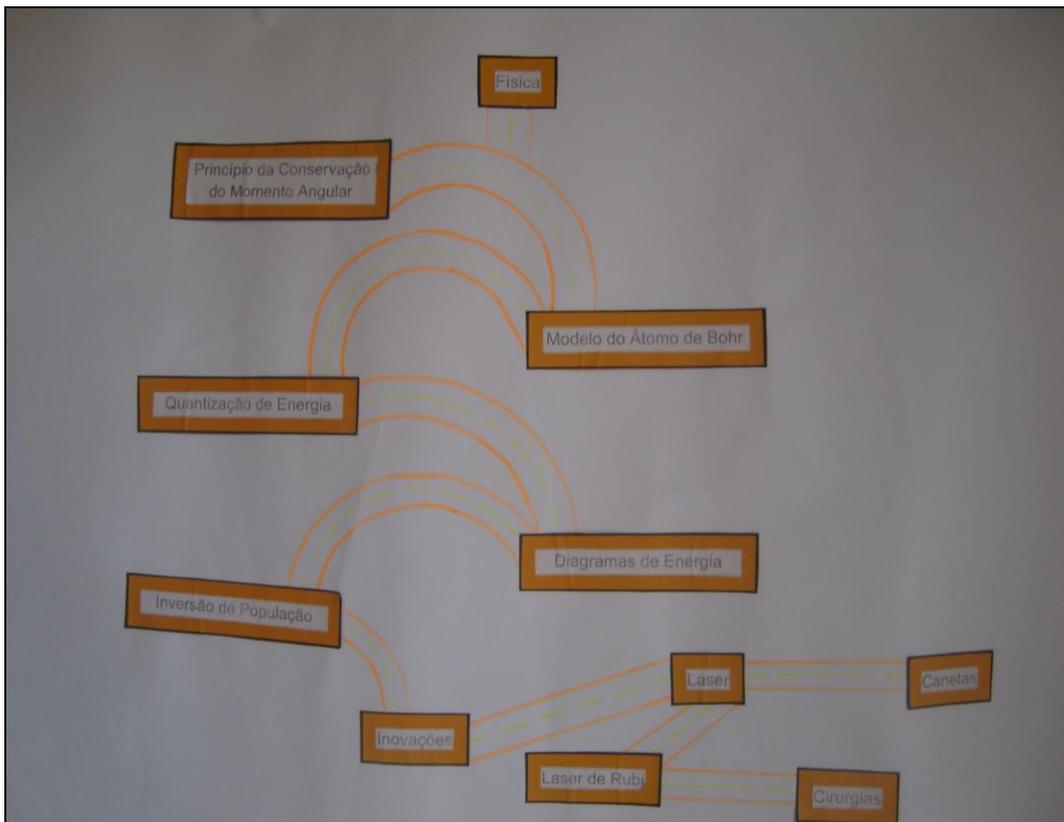


Figura 26. Mapa livre do Grupo Laranja da Turma Info-1B-2013.

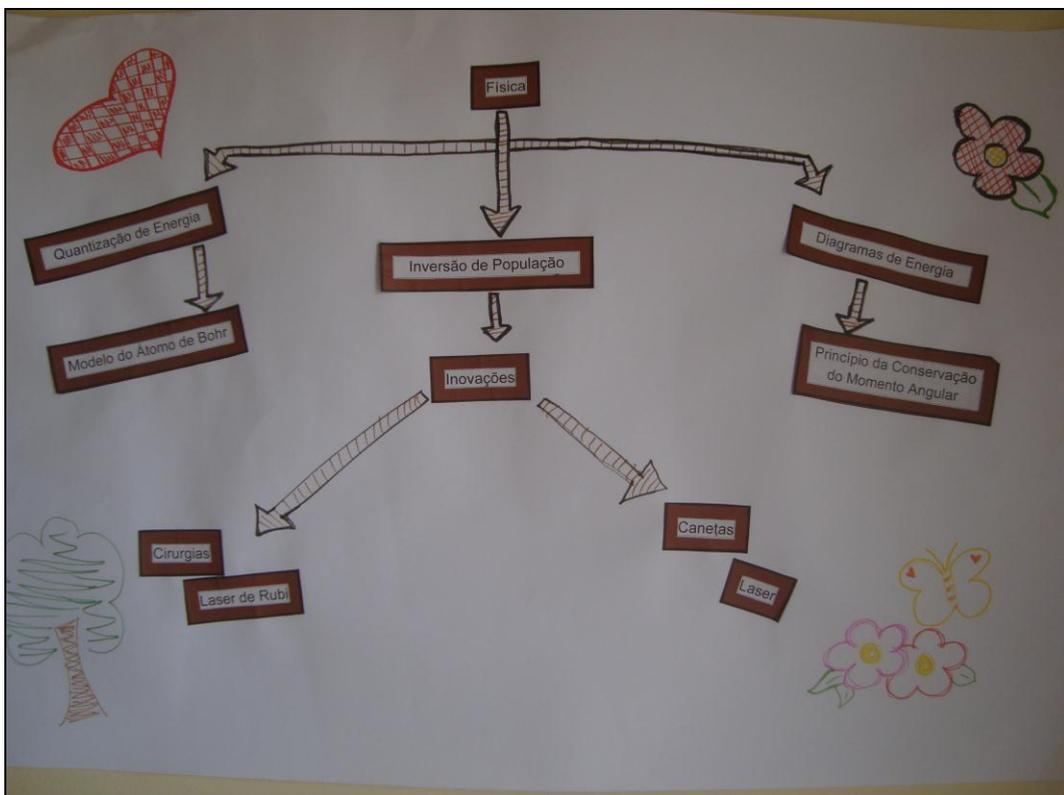


Figura 27. Mapa livre do Grupo Marrom da Turma Info-1B-2013.

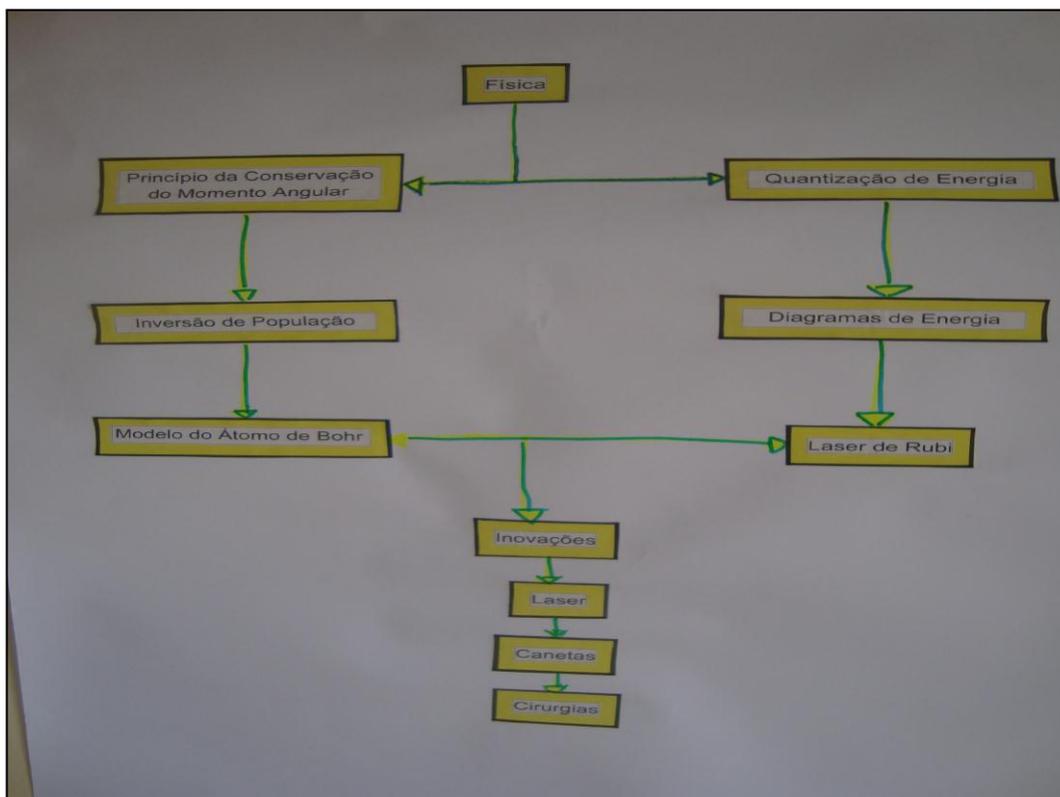


Figura 28. Mapa livre do Grupo Amarelo da Turma Info-1B-2013.

Percebeu-se com a atividade que os alunos tentaram: atribuir significados às palavras e, de certa forma, construir um texto unindo-as para explicá-las. Assim, os alunos externalizaram conhecimentos prévios que foram utilizados na etapa III.

Na etapa II.1 da UEPS os grupos responderam o questionário do Apêndice B (p.158). Apresentam-se os resultados obtidos das turmas Info-1A-2013 na Tabela 30.

Tabela 30. Respostas do questionário da Turma Info-1A-2013.

Questão	Grupo Verde	Grupo Preto	Grupo Vermelho
(a)	Sobre cirurgias.	Para o uso na transmissão de dados.	Cirurgias, miras de armas e tratamentos dermatológicos.
(b)	Física Moderna	Física Moderna	Física Moderna
(c)	Ambas.	Física Moderna	Ambas
(d)	Física Moderna	Ambas	Ambas
(e)	Máquinas simples, laser, Movimento Uniforme e colisões.	Atrito e na área da informática.	Transportes.

As respostas da turma Info-1A-2013 apresentadas na Tabela 30 evidenciaram: na questão (a) um conhecimento impreciso e que um dos grupos conseguiu associar com o seu curso (Técnico em Informática); na (b) todos os grupos identificaram o laser como parte da

Física Moderna; na (c) em relação a Física estudada no Ensino Médio, o grupo preto identificou a Física Moderna e os grupos verde e vermelho identificaram ambas; na (d) na vida dos alunos a Física que eles percebem no dia a dia é a Física Moderna para o grupo verde e os grupos preto e vermelho identificaram a FC e FM; e na questão (e) o grupo verde cita um exemplo de FM e três exemplos de FC mesmo afirmando na questão anterior que no dia a dia percebe-se a FM; o grupo preto é coerente com as respostas dadas nas questões (d) e (e); e o grupo vermelho exemplificou a questão (e) com a palavra transporte, porém afirma na questão (d) que no dia a dia observa-se ambas as físicas.

Na Tabela 31 apresentam-se as respostas ao questionário do Apêndice B (p.158) da turma Info-1B-2013.

Tabela 31. Respostas do questionário da Turma Info-1B-2013.

Questão	Grupo Preto	Grupo Laranja	Grupo Marrom	Grupo Amarelo
(a)	Cirurgias, depilações.	Invenção revolucionária, controles remotos e cirurgias.	Cirurgia e depilação.	É usado pelos cientistas.
(b)	Física Moderna	Física Moderna.	Física Moderna.	Física Moderna
(c)	Física Moderna	Ambas.	Física Clássica.	Física Clássica
(d)	Física Moderna	Ambas.	Física Moderna.	Ambas
(e)	Cirurgia e depilações.	FM – laser, controle remoto, cirurgia e caneta a laser. FC – peso, força e atração gravitacional.	Movimento.	Chuveiro, luz, raio e carro.

Com a análise da Tabela 31 pode-se inferir que: na questão (a) todos os grupos evidenciaram o uso do laser na medicina; na (b) os quatro grupos afirmaram que o laser envolve conhecimentos de Física Moderna; na (c) dois grupos responderam que no Ensino Médio é estudada a Física Clássica, o grupo laranja afirma serem ambas e o grupo preto, a Física Moderna; na (d) o grupo amarelo e laranja perceberam aplicações de ambas as físicas no seu dia a dia e os grupos marrom e preto consideraram a Física Moderna; e na questão (e) o grupo laranja respondeu a questão (e) com coerência com sua resposta da questão (d), assim como o grupo preto, o grupo amarelo e o marrom apresentaram apenas exemplos clássicos.

Pode-se concluir com as respostas dos sete grupos que correspondiam às turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 que: o conhecimento sobre o efeito laser era um conhecimento vago e não correspondia à explicação aceita pela comunidade científica naquele momento, e que

dois grupos o conseguiram relacionar ao curso técnico; os sete grupos identificaram que o laser envolve conhecimentos de Física Moderna; 3 grupos afirmaram estudar no Ensino Médio tanto a Física Clássica quanto a Física Moderna, 2 grupos afirmaram ser a Física Moderna e 2 afirmaram ser a Física Clássica; nenhum grupo percebeu apenas a Física Clássica no seu dia a dia, 3 perceberam a Física Moderna e 4 grupos perceberam a Física Clássica e a Física Moderna; dos 7 grupos, 3 grupos apresentaram coerência entre as respostas das questões (d) e (e).

Na etapa II.2 da UEPS, os alunos realizaram a leitura do texto e destacaram as palavras que não compreenderam o significado; estas são apresentadas nas Tabelas 32 e 33.

Tabela 32. Palavras destacadas da Turma Info-1A-2013.

Palavras	Grupo Verde	Grupo Preto	Grupo Vermelho
Monocromaticidade	X	X	
Ampola de H / Espectro	X	X	X
Absorção de fóton / fóton	X	X	X
Atomística/ Colapsaria / espiral	X	X	
Constante de Plank / TeraWatt		X	
Elétrons do cátodo / cátodo / anodo	X	X	X
Anteparo/ Cavidade ressonante	X	X	X
Astronomia convencional	X		
Feixe de laser	X		
Emissão estimulada	X		

A Tabela 32 evidencia as palavras que não possuíam significados para os três grupos da Turma Info-1A-2013 que são: ampola de H/espectro, absorção de fóton/fóton, elétrons do cátodo/ cátodo/ anodo, anteparo/ cavidade ressonante.

Tabela 33. Palavras destacadas da Turma Info-1B.

Palavras	Grupo Preto	Grupo Laranja	Grupo Marrom	Grupo Amarelo
Monocromaticidade	X	X	X	X
Ampola de H / Espectro		X	X	
Absorção de fóton / fóton		X	X	X
Coerência				X
Laser pulsado				X
Anteparo/ Cavidade ressonante		X	X	

A Tabela 33 apresenta as palavras menos conhecidas pelos grupos da turma Info-1B-2013 são: monocromaticidade (todos os grupos), e absorção de fóton/fóton (três grupos). A

turma Info-1B-2013 destacou um número bem menor de palavras ao ler o texto proposto. A turma não realizou, possivelmente, a tarefa com dedicação.

O levantamento das palavras que não faziam parte do vocabulário dos alunos evidencia o distanciamento entre os textos de divulgação científica e o conhecimento prévio do aluno de Ensino Médio, (Fanaro e Otero, 2009). Por meio dos conhecimentos prévios e subsunçores externalizados conseguiu-se envolver os alunos na formalização do conhecimento do campo conceitual da UEPS Laser de Rubi. A etapa III.1 foi composta de 6 horas/aula envolvendo os conteúdos da UEPS. Para obter maior compreensão do texto utilizado na etapa II.2, os alunos o leram (etapa III.2) e construíram um esquema ou resumo. Nos resumos percebeu-se novamente que os alunos das duas turmas do Curso Técnico em Informática destacaram as palavras recebidas para a construção dos mapas livres e as palavras mencionadas na etapa II.2. Pode-se inferir que mesmo as palavras que não faziam parte do vocabulário dos alunos num primeiro momento, após a etapa III.1 tornaram-se significativas de tal maneira que todos os alunos as destacaram em seus resumos ou esquemas. Este fato também pode ser considerado uma evidência de aprendizagem significativa. Também, considera-se que as situações propostas ao aluno deveriam ser percebidas como problemas e assim, seriam capazes de modelá-las mentalmente, segundo Johson-Laird.

A quarta etapa da UEPS esteve composta de duas atividades. Na etapa (IV.1), os grupos abordaram os temas apresentados na Tabela 34.

Tabela 34. Temas dos trabalhos das Turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Turma Info-1A-2013	Varizes e o uso do laser	Leitores eletrônicos de Laser	de	Laser no dia a dia	
Turma Info-1B-2013	Aplicações do laser em dispositivos eletrônicos	Utilização do laser militares	do por	O Laser na medicina	Laser na medicina - oftalmologia

Com o uso da Tabela 34 pode-se afirmar que dos sete trabalhos apresentados, três apresentaram temas relacionados diretamente com a medicina e três apresentaram relação com o Curso Técnico em Informática. Os grupos, durante a apresentação, relataram experiências próprias e de familiares que utilizaram o laser com algum fim. Esta atividade vem reforçar que o aluno gosta de aprender os conteúdos que fazem parte da sua realidade, ou seja, conteúdos que o aluno possui subsunçores para ancorar as novas informações.

Na etapa (IV.2), os grupos reconstruíram os mapas livres e os tornaram mapas conceituais. Apresentam-se os mapas conceituais da turma Info-1A-2013 nas figuras: (29) Grupo Verde, (30) Grupo Preto, e (31) Grupo Vermelho.

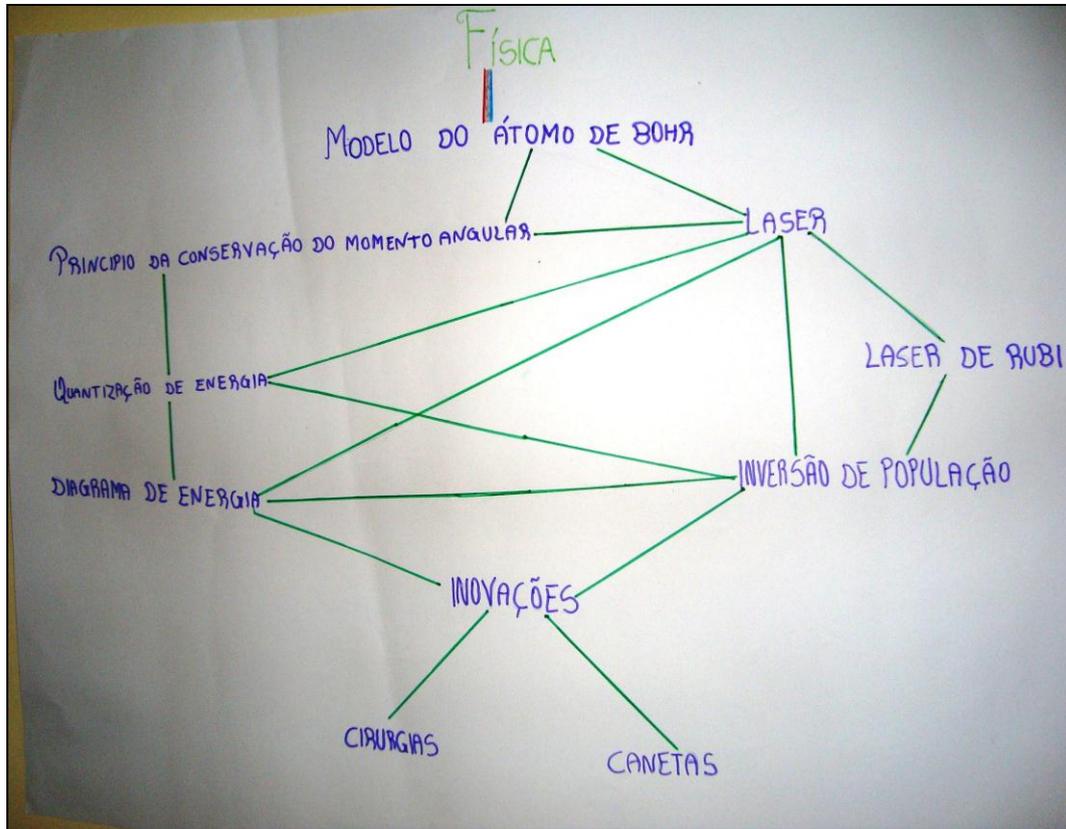


Figura 29. Mapa conceitual do Grupo Verde da turma Info-1A-2013.



Figura 30. Mapa Conceitual do Grupo Preto da Turma Info-1A-2013.

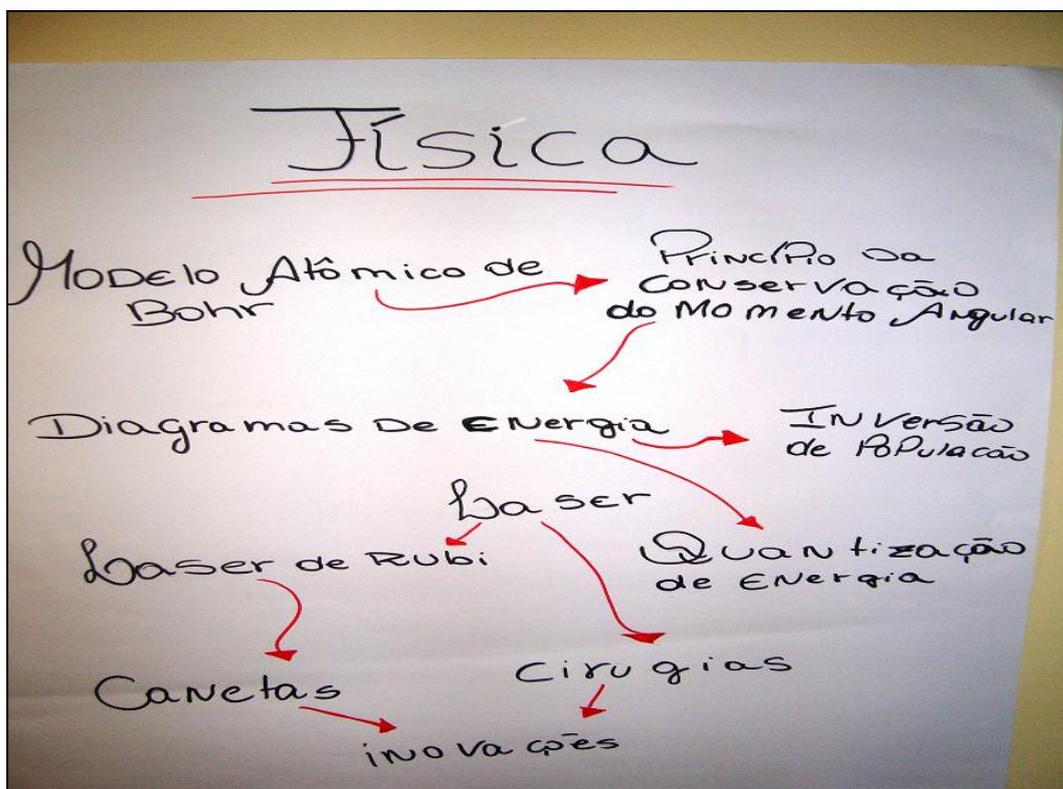


Figura 31. Mapa conceitual Grupo Vermelho da turma Info-1A-2013.

A Tabela 35 apresenta a comparação, na perspectiva da pesquisadora, entre o mapa livre e o mapa conceitual dos grupos da turma Info-1A-2013.

Tabela 35. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e o mapa conceitual da turma Info-1A-2013.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Verde	O mapa livre não apresenta separação entre os conteúdos de física e as aplicações. O mapa conceitual tornou-se mais interligado.	O grupo não acrescentou conceitos e conectores ao mapa conceitual.
Preto	O mapa conceitual continua tendo a forma linear, porém as explicações esclarecem a ligação entre as palavras.	O grupo não acrescenta conceitos e conectores ao mapa conceitual.
Vermelho	O mapa livre apresenta a separação entre parte conceitual (topo do mapa) e as aplicações (base do mapa). O mapa conceitual de certa forma continua separando conteúdo/aplicações, porém nas explicações o grupo deixa claro a compreensão do todo e de suas relações.	Os conceitos poderiam ser mais interligados.

Os resultados obtidos na etapa (IV.2) da UEPS para os grupos da turma Info-1B-2013 estão nas figuras: (32) Grupo Preto, (33) Grupo Laranja, (34) Grupo Marrom, e (35) Grupo Amarelo.

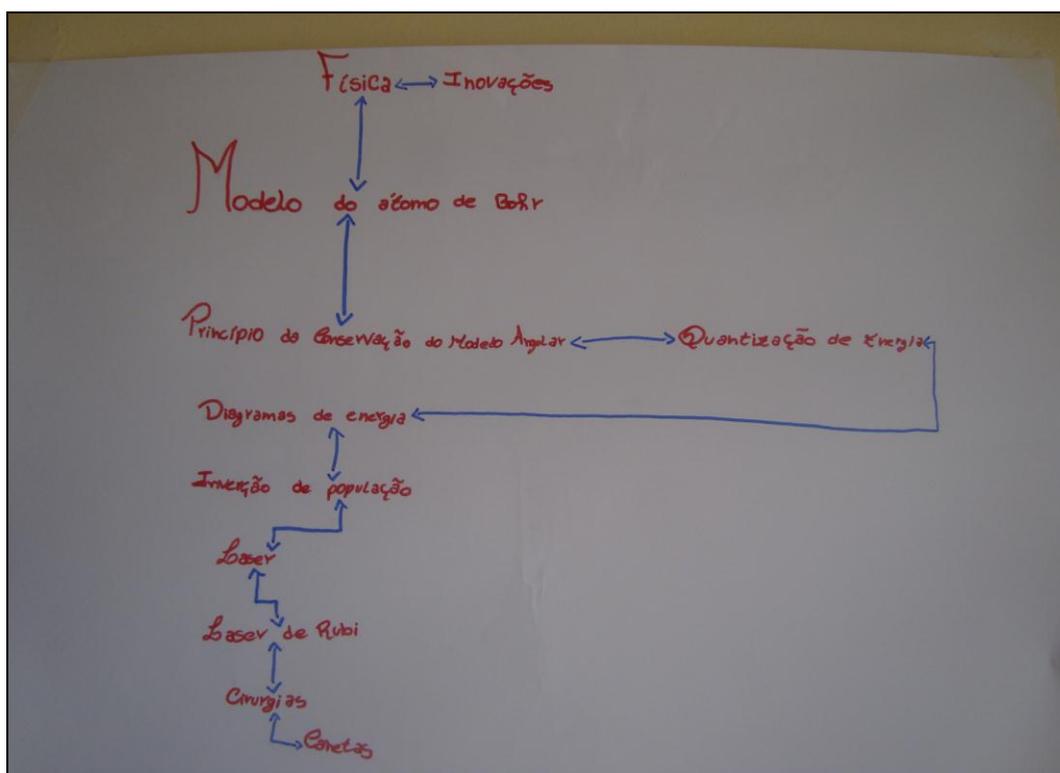


Figura 32. Mapa Conceitual do Grupo Preto da Turma Info-1B-2013.

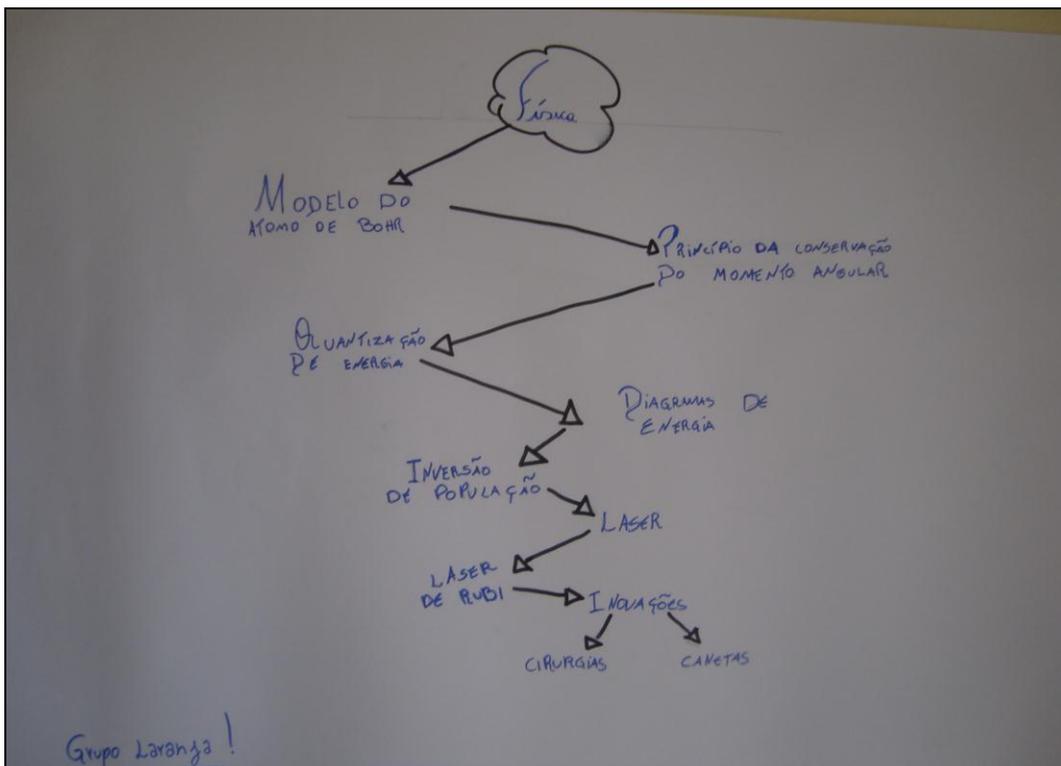


Figura 33. Mapa Conceitual do Grupo Laranja da Turma Info-1B-2013.



Figura 34. Mapa Conceitual do Grupo Marrom da Turma Info-1B-2013.



Figura 35. Mapa Conceitual do Grupo Amarelo da Turma Info-1B-2013.

A Tabela 36 apresenta a comparação, na perspectiva da pesquisadora, entre o mapa livre e o mapa conceitual dos grupos da turma Info-1B-2013.

Tabela 36. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e o mapa conceitual da Turma Info-1B-2013.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Preto	O mapa livre apresenta separação entre os conteúdos de física e suas aplicações. A explicação demonstrou que o grupo entendeu que na Física também são estudadas as aplicações.	O grupo não acrescentou conceitos e conectores ao mapa conceitual. O mapa conceitual é linear.
Laranja	O mapa conceitual continua tendo a forma linear, porém as explicações esclarecem a ligação entre as palavras.	O grupo não acrescenta conceitos e conectores ao mapa conceitual.
Marrom	O mapa livre apresenta a separação entre parte conceitual (topo do mapa) e as aplicações (base do mapa). O mapa conceitual tornou-se visivelmente mais interligado, esclarecendo que o grupo entendeu que todas os assuntos estudados na UEPS são interligados.	O grupo não acrescentou conectores e conceitos.
Amarelo	Os mapas livre e conceitual apresentam a forma linear, porém as explicações evidenciam que os alunos compreenderam o significado de cada conteúdo trabalhado na UEPS.	O mapa poderia ser mais interligado.

Conclui-se que, as Turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 não acrescentaram nenhum conector e nenhuma palavra ao mapa conceitual, apenas o grupo Verde da turma Info-1A-2013 e o grupo Marrom da Info-1B-2013 apresentaram mudanças significativas nas estruturas dos mapas, tornando-os mais interligados.

Os alunos das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 realizaram a Avaliação Somativa Individual apresentada no Apêndice G (p.174). As respostas da questão 1 são analisadas com os mesmos critérios do projeto-piloto (C,T, M, P, E e NF). Na Tabela 37 apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 37. Questão 1 das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A-2013	C – 4*	C – 5*	C – 2* T – 1*	
Info-1B-2013	E – 2*	C - 2 T – 2	C – 2* P – 1*	M – 3*

\* Número de alunos do grupo.

Com os dados da Tabela 37 pode-se verificar que os componentes dos grupos Preto e Verde da turma Info-1A-2013 apresentaram respostas corretas, dois componentes do grupo Preto da turma Info-1B-2013 respondem incorretamente. Também, verifica-se com os resultados que as turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 apresentaram maior número de respostas corretas na questão 1 comparado com os resultados obtidos no estudo-piloto. Infere-se que este resultado ocorreu devido às turmas possuírem um número menor de alunos e, com isso, a proximidade entre a professora e os alunos é mais efetiva.

A Tabela 38 apresenta os resultados da questão 2 para os componentes dos grupos de cada turma. O critério utilizado para considerar a questão correta ou parcialmente correta é se o aluno utilizou a expressão “inversão de população” para explicar a formação da luz laser, ou explicação similar.

Tabela 38. Questão 2 das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A-2013	C – 2* M – 2*	C – 5*	C – 2* M – 1*	
Info-1B-2013	C – 2*	M – 4*	C – 2* M – 1*	M – 3*

\* Número de alunos do grupo.

Com os dados da Tabela 38, verifica-se que do total de 24 alunos, 13 responderam a questão 2 corretamente e 11 alunos responderam parcialmente correta.

A Tabela 39 apresenta exemplos de respostas da questão 2.

Tabela 39. Questão 2.

Resposta correta.

Inversão de população ocorre quando os elétrons passam a ocupar em sua maioria ~~das~~ o estado de maior energia, mas quando eles estão em maior energia eles estão instáveis, e voltam para a menor energia ele emite um fóton, que produzindo luz de cor avermelhada, por causa dos íons de cromo.

*Inversão de população ocorre quando os elétrons passam a ocupar em sua maioria ~~das~~ o estado de maior energia, mas quando eles estão em maior energia eles estão instáveis, e voltam para a menor energia ele emite um fóton, que produzindo luz de cor avermelhada, por causa dos íons de cromo.*

Resposta parcialmente correta.

A luz laser se forma, com a movimentação de átomos gerando energia. Eles sobem e descem em níveis de energia e isso se chama inversão de população.

*A luz laser se forma, com a movimentação de átomos gerando energia. Eles sobem e descem em níveis de energia e isso se chama inversão de população.*

Na Tabela 40, apresentam-se as relações entre o número de alunos de cada grupo e as respostas corretas, incorretas e parcialmente corretas da questão 3 das Turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Tabela 40. Questão 3 das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

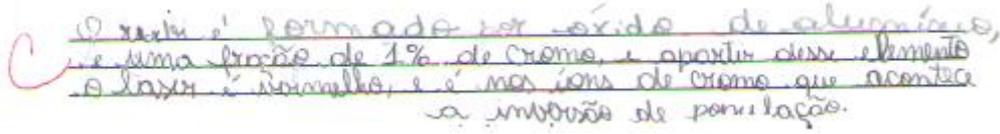
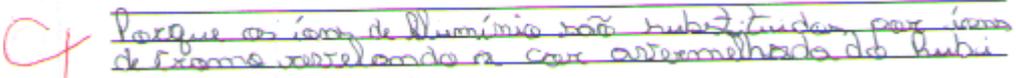
Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A-2013	C - 4*	C - 5*	C - 2* M - 1*	
Info-1B-2013	M - 2*	M - 4*	C - 3*	C - 3*

\* Número de alunos do grupo.

A Tabela 40 mostra, que os grupos Verde e Preto da turma Info-1A-2013 e o grupo amarelo da turma Info-1B-2013 tiveram as respostas da questão 3 corretas, e as respostas dos grupos Preto e Laranja da turma Info-1B-2013 foram parcialmente corretas.

A Tabela 41 apresenta exemplos de respostas correta e parcialmente correta.

Tabela 41. Questão 3.

Resposta correta.	
	
<i>O rubi é formado por óxido de alumínio e uma fração de 1% de cromo e a partir desse elemento o laser é vermelho, e é nos íons de cromo que acontece a inversão de população.</i>	
Resposta parcialmente correta.	
	
<i>Porque os íons de alumínio são substituídos por íons de cromo revelando a cor avermelhada do Rubi.</i>	

A questão 4 da avaliação somativa individual usada no estudo-piloto foi reelaborada de tal forma que, ao invés do aluno descrever um trabalho apresentado na turma, questiona-se “Com base nos trabalhos apresentados sobre as **aplicações da luz laser**, descreva o seu trabalho.” O critério utilizado para a questão ser considerada correta foi o integrante do grupo descrever o seu trabalho. O resultado desta questão evidenciou que todos os 24 alunos participaram na elaboração do trabalho, pois todos obtiveram respostas consideradas corretas.

Algumas respostas da questão 5 são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42. Recortes das respostas à questão 5 das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Turma	Cor do Grupo
Info-1A-2013	<i>As aulas foram boas, pois aprendi várias coisas sobre laser de Rubi, Luz Laser e me empenhei nos trabalhos para ajudar o grupo.</i>
	<i>Após o desenvolvimento aprendemos de forma simples e eficaz.</i>
	<i>Nosso conhecimento sobre laser aumentou bastante em relação ao que sabíamos na construção do mapa livre, e conseguimos aprender de maneira rápida e eficaz.</i>
Info-1B-2013	<i>No início não sabíamos nada após as aulas compreendemos e tivemos mais facilidade em fazer o mapa conceitual.</i>
	<i>Considero as aulas boas, pois não sabíamos nada no começo e fizemos o mapa livre basicamente no “chute”, já hoje depois das aulas sabemos fazer o mapa com maior facilidade e certeza de estar correto.</i>
	<i>Aprendi muito, palavras que eu nunca havia escutado como inversão de população e fóton. E agora sei até como funciona.</i>
	<i>Descobri que a parti das descobertas de Bohr houve muita inovação e uma delas é o laser. As aulas foram divertidas e foi uma maneira fácil de entender um conteúdo não muito fácil.</i>

A Tabela 42 mostra, nas respostas dos alunos, que os pontos positivos observados foram: ocorreu a aprendizagem sobre laser, a maneira como foi abordado o tema foi

considerado um ponto facilitador na aprendizagem. Um ponto negativo apresentado em uma opinião é o conteúdo difícil.

A questão 6 foi acrescentada na avaliação somativa individual das turmas envolvidas no ano de 2013. Na Tabela 43 são apresentados os resultados das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013. A questão é considerada (C) correta quando o aluno responde todas as alternativas de acordo com os conteúdos trabalhados em sala de aula, (D) a questão é considerada 2/3 correta quando o aluno responde duas alternativas de acordo com as aulas, e a questão é considerada (P) 1/3 correta quando o aluno responde apenas a alternativa (a) da questão 6.

Tabela 43. Questão 6 das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Info-1A-2013	D - 4*	D - 5*	NF - 3*	
Info-1B-2013	C - 2*	C - 4*	D - 3*	D - 3*

\* Número de alunos do grupo.

Nas turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 as respostas parcialmente corretas de 2/3 apresentavam as respostas da alternativa (a) e (b) corretamente e a representação incorreta na alternativa (c). A Tabela 44 exemplifica as respostas correta e parcialmente correta.

Tabela 44. Questão 6.

Resposta correta.

6) a) Raio Quantizado: e

b)  $R_1 = 5,34 \times 10^{-11} \cdot 1^2 = 5,34 \times 10^{-11} \text{ m}$  e  
 $R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 2^2 = 21,24 \times 10^{-11} \text{ m}$  e  
 $R_3 = 5,3 \times 10^{-11} \cdot 3^2 = 47,79 \times 10^{-11} \text{ m}$  e  
 $R_4 = 5,3 \times 10^{-11} \cdot 4^2 = 84,8 \times 10^{-11} \text{ m}$  e

c)

Resposta parcialmente correta.

A) Quantização do raio  $\epsilon$

B-

$$R_m = 5,31 \times 10^{-11} \cdot m^2$$

$$R_1 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 1^2$$

$$R_1 = 5,31 \times 10^{-11} \quad \epsilon$$

$$R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 2^2$$

$$R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 4$$

$$R_2 = 21,24 \times 10^{-11} \quad \epsilon$$

$$R_3 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 3^2$$

$$R_3 = 47,7 \times 10^{-11} \text{ m} \quad \epsilon$$

$$R_4 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 4^2$$

$$R_4 = 84,96 \times 10^{-11} \text{ m} \quad \epsilon$$

C-



Na etapa VI da UEPS, aula expositiva dialogada integradora final, foram retomados os conceitos discutidos na UEPS novamente com um dos mapas conceituais da turma. Observou-se que os alunos participaram das explicações relatando como se desenvolveu o processo de aprendizagem e como se envolveram nas atividades propostas.

A avaliação da aprendizagem da UEPS foi realizada na etapa VII como uso dos mesmos critérios do projeto-piloto. Concluiu-se através dos resultados obtidos com a UEPS, que os alunos do 1º ano do Curso Técnico em Informática de 2013, obtiveram um bom aproveitamento. Os alunos relataram que sentiram seus conhecimentos valorizados e desta maneira conseguiam aprender mais. Não se têm evidências conclusivas de aprendizagem significativa, mas certamente com as atividades desenvolvidas na UEPS, novamente conseguiu-se aumentar a predisposição do aluno para aprender nas aulas de Física.

Na etapa VIII foram avaliadas as atividades propostas na UEPS. Algumas transcrições do diário de bordo apresentam-se a seguir, “...as aulas foram diversificadas, cada dia tinha uma atividade diferente, cada dia que eu vinha pra aula ficava pensando o que será que iríamos fazer na aula de Física... sento que estou aprendendo mais Física agora...a matemática sempre estraga tudo... não poderíamos ficar apenas com as explicações...”. De acordo com a auto-avaliação dos alunos e com o diário de bordo da pesquisadora analisou-se a proposta e concluiu-se que ao acrescentar a questão 6 à avaliação somativa individual, os

alunos tiveram maior dificuldade em realizá-la. Também ratificou-se que a pesquisa qualitativa não tem como objetivo generalizar e, mesmo considerando o mesmo perfil de aluno do estudo-piloto, foram obtidos alguns resultados diferentes.

A seguir são apresentados a análise de dados e resultados das turmas do Curso Técnico em Agropecuária Integrado.

### **5.3. Turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C**

As turmas do Curso Técnico em Agropecuária Integrado também apresentam desistências, porém em proporções menores. Diferentemente dos motivos de desistências apresentados no Curso Técnico em Informática Integrado, os alunos não apresentam desistências pelo motivo de dificuldade nas disciplinas e, pode-se citar na realidade do Curso em Agropecuária, questões familiares, que extrapolam a abrangência do Câmpus, como, por exemplo, dois alunos em 2013 voltaram a morar com seus pais para ajudar na colheita da safra. Os pais afirmaram não conseguir mão-de-obra na região e, por isso, seu filho realizaria o ensino médio perto de casa. Verifica-se que em alguns casos, estudar não tem tanto significado para os alunos. No entanto, considera-se que a conclusão de um curso profissional de nível médio pode oferecer maiores subsídios para o desenvolvimento do contexto familiar rural em que o aluno está inserido.

As turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C possuíam algumas peculiaridades. A turma Agro-1A considerou-se uma turma atípica por iniciar o ano letivo com 26 alunos, sendo 19 meninos e 7 meninas. Nessa turma houve discriminação de gênero e foi detectado *bulling* por parte de alguns meninos. Do total de 26 alunos, dois nunca compareceram, um chegou transferido do Instituto Federal Farroupilha do Câmpus de São Vicente do Sul e, após problemas disciplinares, transferiu-se do Câmpus Júlio de Castilhos para uma escola de ensino médio; uma aluna desistiu no segundo bimestre por não resistir ao *bulling* e um aluno desistiu no quarto bimestre por falta de interesse e se considerar reprovado. A turma apresentou dois grupos de alunos, o grupo que possuía muita facilidade de aprendizagem e o grupo que tinha muita dificuldade. Assim, do total de 26 alunos matriculados na turma Agro-1A, 21 frequentaram as aulas até o final do ano letivo. A turma Agro-1B iniciou com 26 alunos, um nunca compareceu e quatro desistiram por falta de interesse e considerar que

estavam reprovados. Assim, terminou-se o ano letivo com 21 alunos. A turma era considerada muito participativa e por isso conseguia superar as dificuldades de aprendizagem. A Turma Agro-1C iniciou o ano letivo com 25 alunos, sendo que um aluno nunca compareceu e dois desistiram no quarto bimestre por se considerarem reprovados. Assim, terminou-se o ano letivo com 22 alunos. A turma Agro-1C era a turma que possuía o maior número de alunos com dificuldades de aprendizagem, porém a maioria dos alunos se identificava muito com o curso.

A análise dos resultados segue novamente a sequência adotada pela UEPS no Apêndice A (p.154). Durante a realização da atividade, percebeu-se as mesmas dificuldades encontradas pelas turmas do projeto-piloto, Info-1A-2013 e Info-1B-2013. A atividade de construção dos mapas livres e a filmagem das explicações também foi proposta e realizada em duas horas/aula.

Novamente a filmagem foi uma ferramenta eficaz utilizada para detectar conhecimentos prévios de cada grupo. Destacam-se transcrições relevantes de cada grupo da turma Agro-1A:

- Grupo Verde – *“... nós entendemos que a Física é ligada com todas as fichas, por isso desenhamos várias flechas que saem desta ficha. A ideia do Modelo atômico de Bohr foi responsável por várias inovações e a quantização de energia, canetas e as demais fichas..., sendo o Princípio da Conservação do Momento Angular ligado à Quantização da Energia e à Inversão da População ligada ao Diagrama de Energia”.*
- Grupo Laranja – *“...o nosso mapa iniciou com a Física por ser a ficha mais importante, sendo que o Modelo do Átomo de Bohr explica a formação do Laser de Rubi que é uma Inovação e possui muitas aplicações como as cirurgias e canetas, da mesma forma que é explicado pelo Diagrama de Energia, Inversão de População...”.*
- Grupo Amarelo – *“... o nosso mapa começa com a palavra Física por que é o conceito mais importante, este foi dividido em duas partes.... o mapa possui algumas palavras que não sabemos o significado, como é o caso de Inversão de População...”.*
- Grupo Vermelho – *“... a Física está ligada diretamente com as Inovações, Diagramas de Energia e Quantização de energia. As Inovações podem ser explicadas com o*

*Modelo do Átomo de Bohr, que explica o Laser e Laser de Rubi que são usados em Cirurgias... As inovações também podem ser explicadas com as Canetas, o Princípio da Conservação do Momento Angular e a Inversão de População...”.*

Os mapas livres da Turma Agro-1A são apresentados nas Figuras: (36) Grupo Verde; (37) Grupo Laranja, (38) Grupo Verde e (39) Grupo Vermelho.

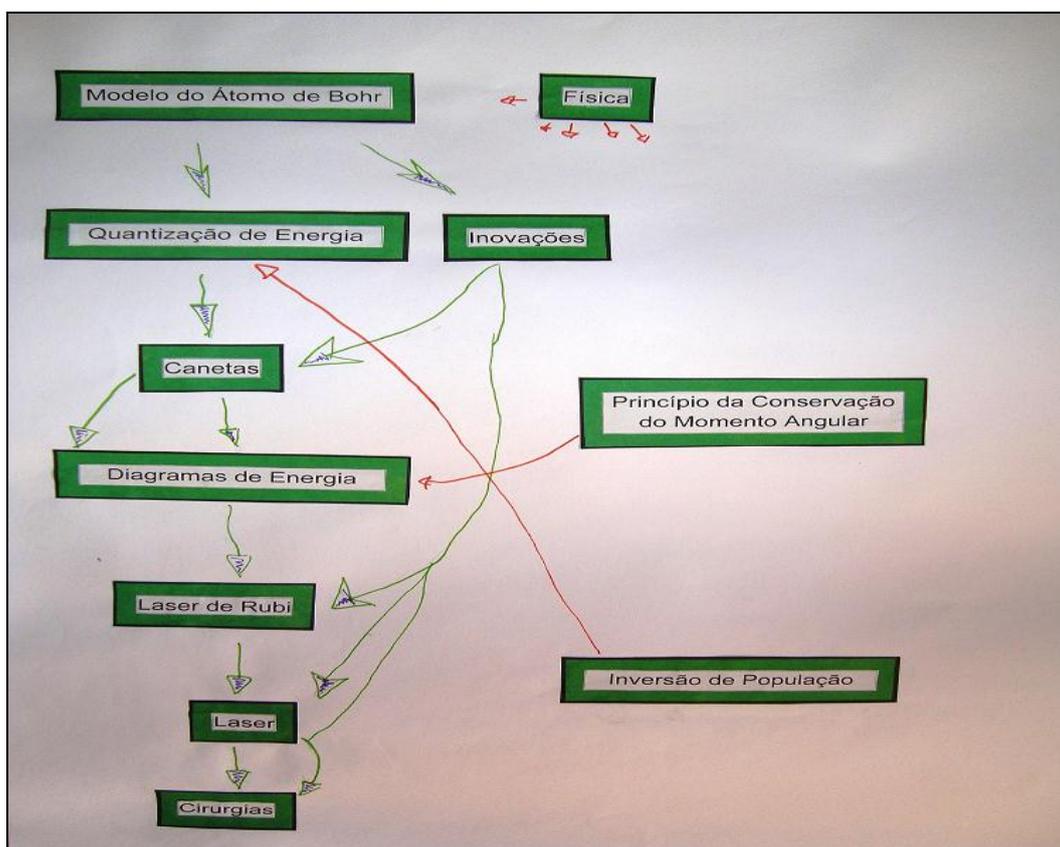


Figura 36. Mapa Livre do Grupo Verde da Turma Agro-1A.

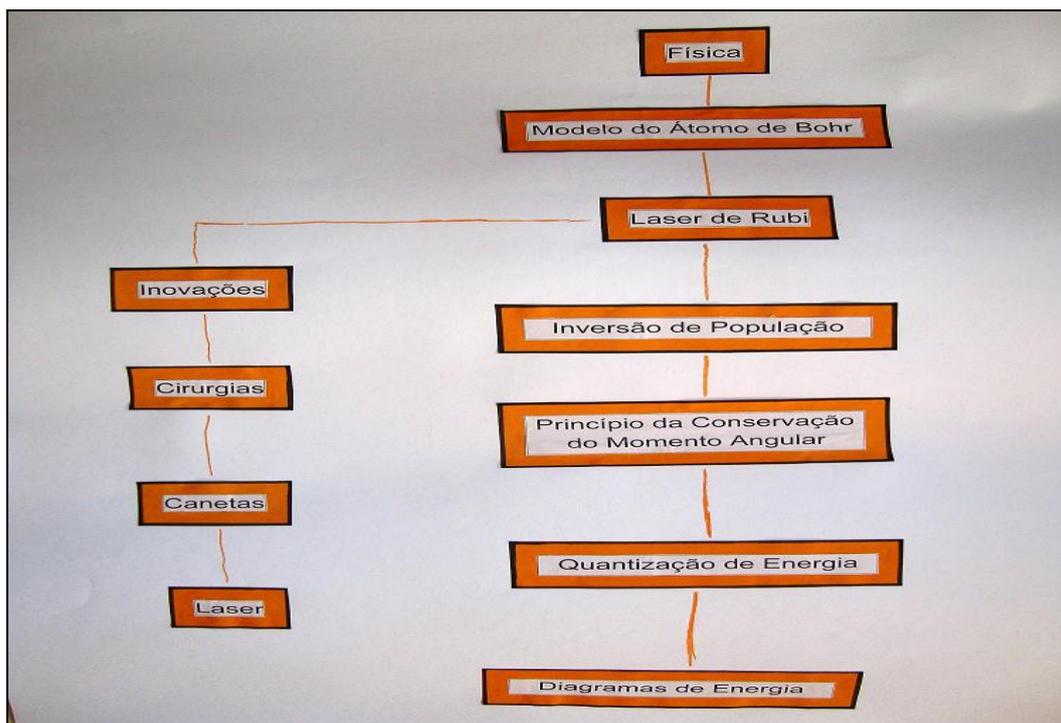


Figura 37. Mapa Livre do Grupo Laranja da turma Agro-1A.

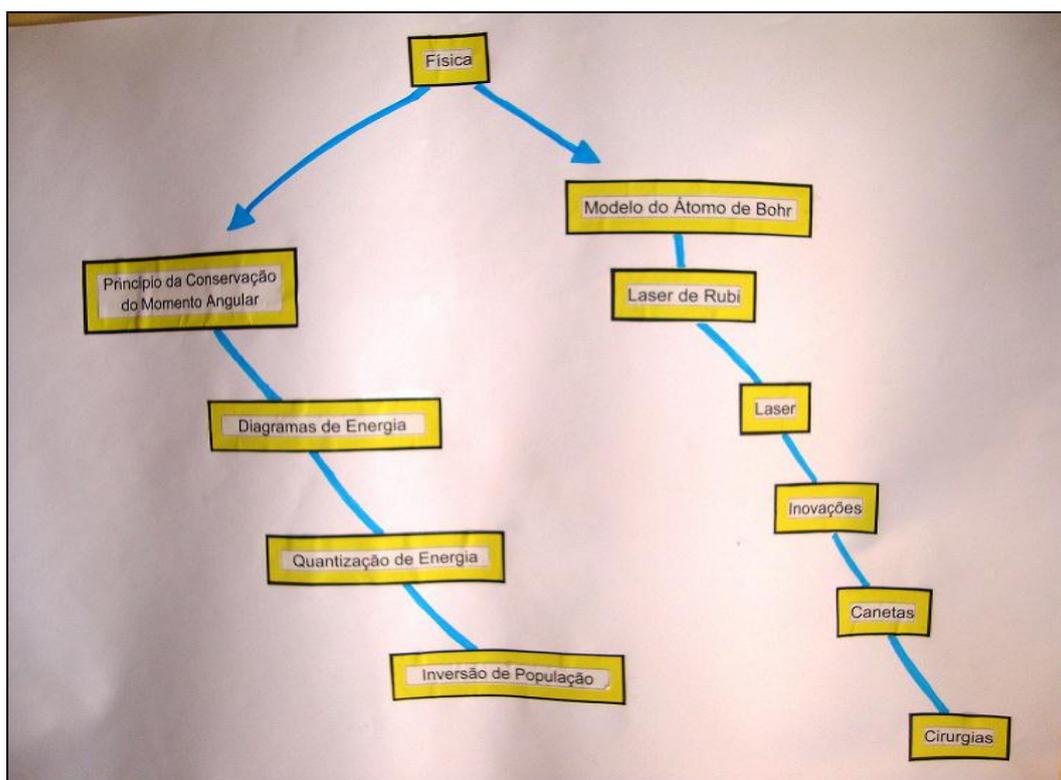


Figura 38. Mapa livre do Grupo Amarelo da turma Agro-1A.

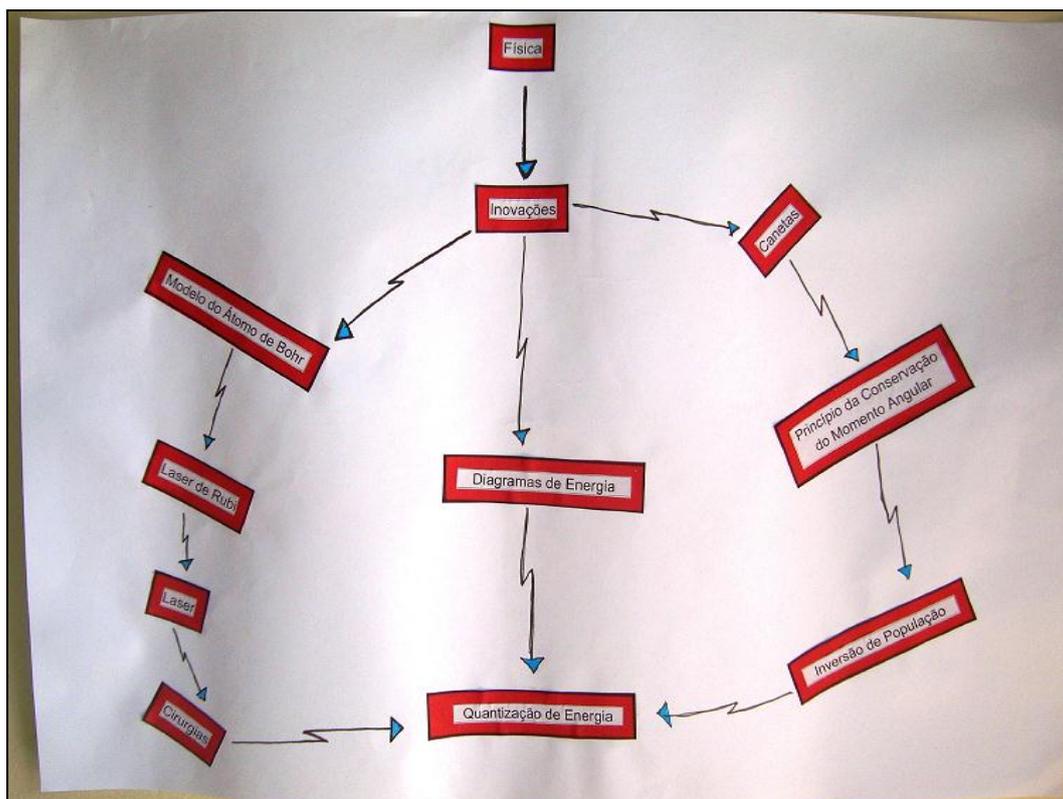


Figura 39. Mapa livre do Grupo vermelho da Turma Agro-1A.

Destacam-se transcrições relevantes de cada grupo da turma Agro-1B e os mapas livres são apresentados nas Figuras (40), (41), (42) e (43), respectivamente:

- Grupo Verde – “... dentro das inovações tem as cirurgias que ajudaram na retirada de tumores e as canetas que possibilitaram a escrita com tinta, depois vem as cirurgias que são a laser e que são inovações e as canetas a laser ... no laser tem a questão do laser de rubi que foi usado na física para fazer a experiência do átomo de Bohr... dentro do átomo de Bohr tem o Princípio da Conservação do Momento Angular que é ligado com diagramas de energia, inversão de população e quantização da energia”.
- Grupo Laranja – “...nós entendemos que a Física é o começo de tudo e que o Princípio da Conservação do Momento Angular pode ser entendido com o Modelo Atômico de Bohr ... que é circular ...A Inversão de População tem a ver com o Modelo Atômico de Bohr por que os elétrons giram em torno do átomo pela quantização de energia e pela quantização de energia tem-se o diagrama de energia. Para se ter o diagrama de energia precisa-se ter a quantização de energia. E as inovações são exemplos de canetas à laser, que contribuíram para o desenvolvimento do laser de rubi”.

- Grupo Marrom – “Física, Princípio da conservação do Momento Angular, Quantização da Energia, Inversão de População, Diagramas de Energia tudo isso explica o Modelo Atômico de Bohr que gera inovações que são as canetas a laser e o laser de rubi que é utilizado nas cirurgias”.
- Grupo Vermelho – “...a Física nos ensina o princípio da conservação do momento angular no modelo do átomo de Bohr, quantização de energia e diagrama de energia e isso resultou em algumas inovações. Falando em inovação podemos pensar em tecnologia, a inversão de população, a cirurgia, o laser, as canetas e o laser de rubi”.

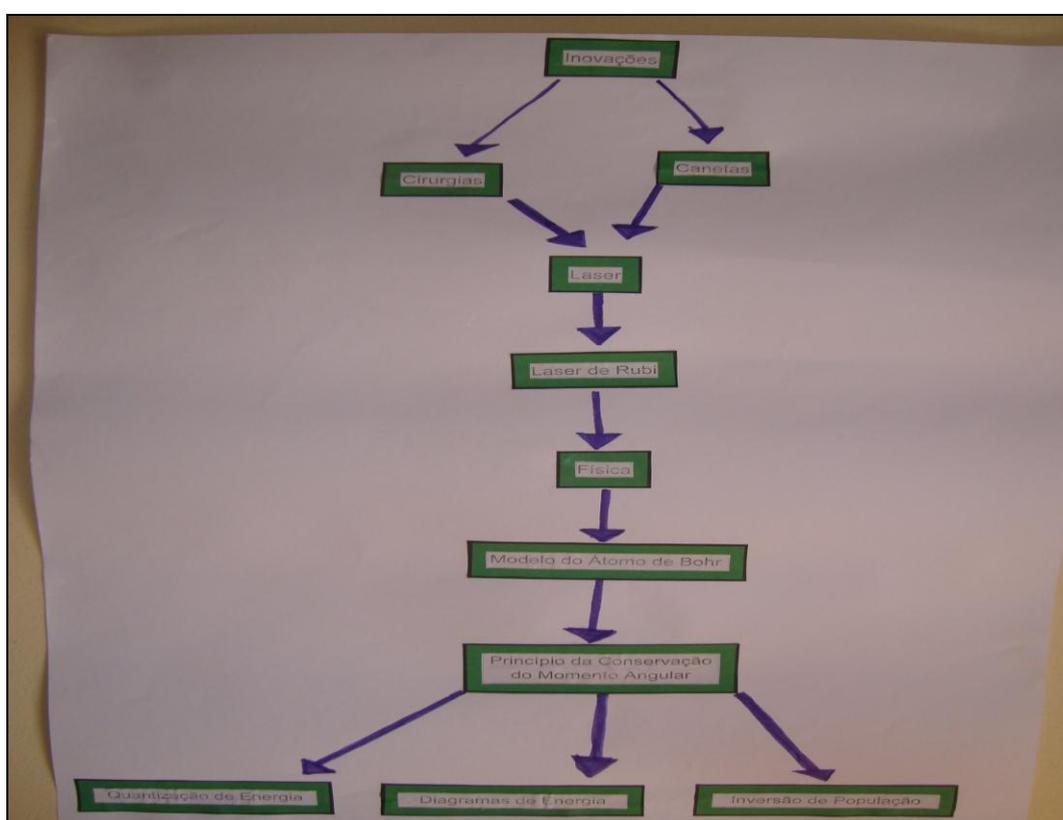


Figura 40. Mapa livre do Grupo Verde da Turma Agro-1B.

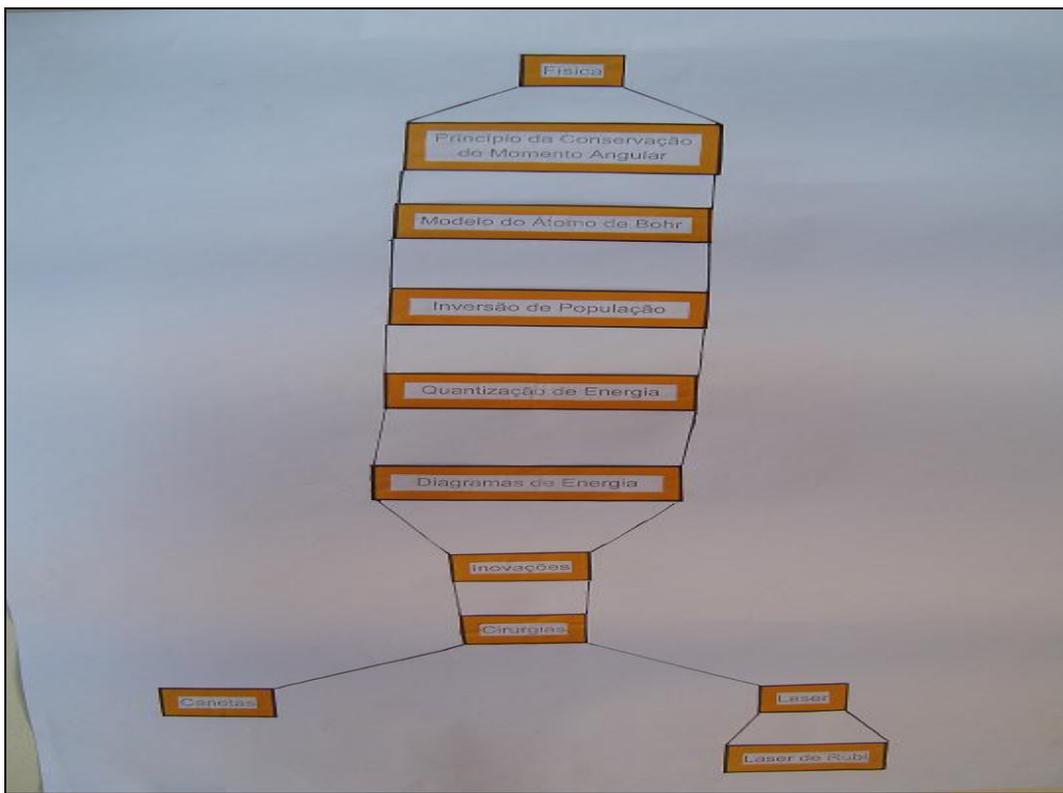


Figura 41. Mapa livre do Grupo laranja da Turma Agro-1B.

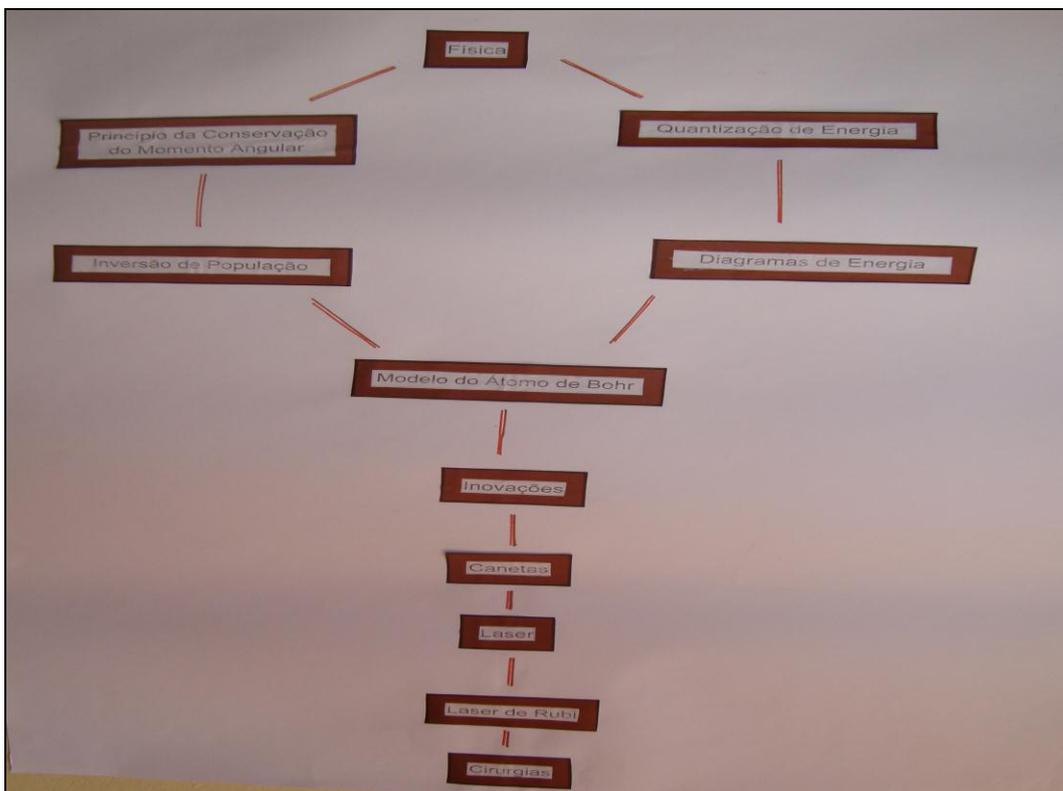


Figura 42. Mapa livre do Grupo Marrom da Turma Agro-1B.

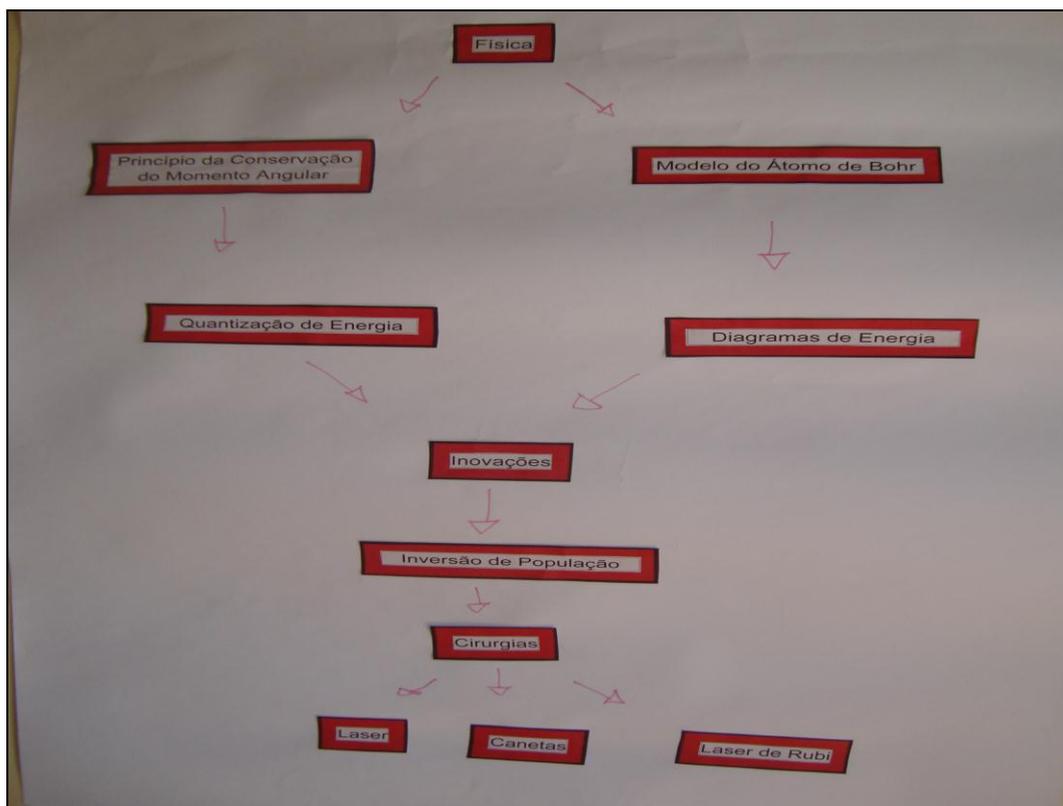


Figura 43. Mapa livre do Grupo Vermelho da Turma Agro-1B.

Destacam-se transcrições relevantes de cada grupo da turma Agro-1C e os mapas livres são apresentados nas Figuras (44), (45), (46) e (47), respectivamente:

- Grupo Preto – “... a Física envolve tudo o que temos no papel, o Princípio da Conservação da Energia é o que produz o diagrama de energia. No diagrama de energia é onde mostra se perdeu ou ganhou energia no modelo do átomo de Bohr. Tem a situação do elétron no átomo que mostra a inversão de população. O modelo do átomo de Bohr é uma inovação que torna possível as cirurgias a laser, que são feitas por laser de rubi, e tem que ser de rubi por que tem que ser da cor vermelha”.
- Grupo Amarelo – “... a Física está em cima por que engloba todos os componentes das fichas, o Princípio da Conservação do Momento Angular se liga ao Modelo Atômico de Bohr, e a quantização da energia se liga ao Modelo Atômico de Bohr por que Bohr diz que em seu modelo as energias são quantizadas, no Diagrama de energia apresenta a Inversão de População dos elétrons e dos prótons do átomo. As Inovações são as cirurgias feitas com laser e feitas com Canetas com Laser de Rubi”.

- Grupo Marrom – “... a Física explica o Princípio da Conservação do Momento Angular, que forma o Modelo do Átomo de Bohr transformado em Diagramas de Energia dando origem ao Laser de Rubi que é a Quantização de energia formando canetas e laser proporcionando inversão de população nas inovações das cirurgias”.
- Grupo Vermelho – “... a Física engloba todos os temas, iniciamos com o Modelo do Átomo de Bohr que acho que tem relação com o Princípio da Conservação do Momento Angular, que está ligada com o Diagrama de Energia e a Quantização da Energia e que dá uma Inversão de População. As Inovações tem ligação com as Cirurgias que são feitas com as Canetas a Laser que são os Laser de Rubi”.

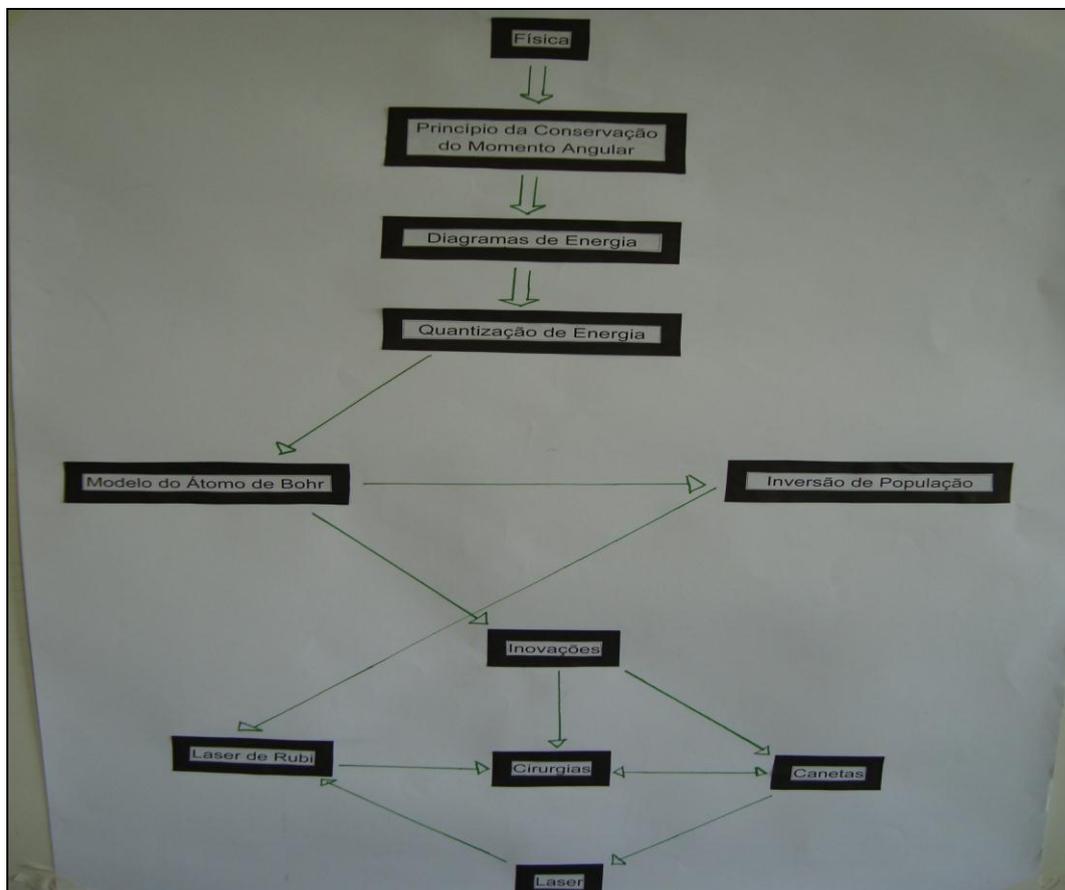


Figura 44. Mapa livre do Grupo Preto da Turma Agro-1C.

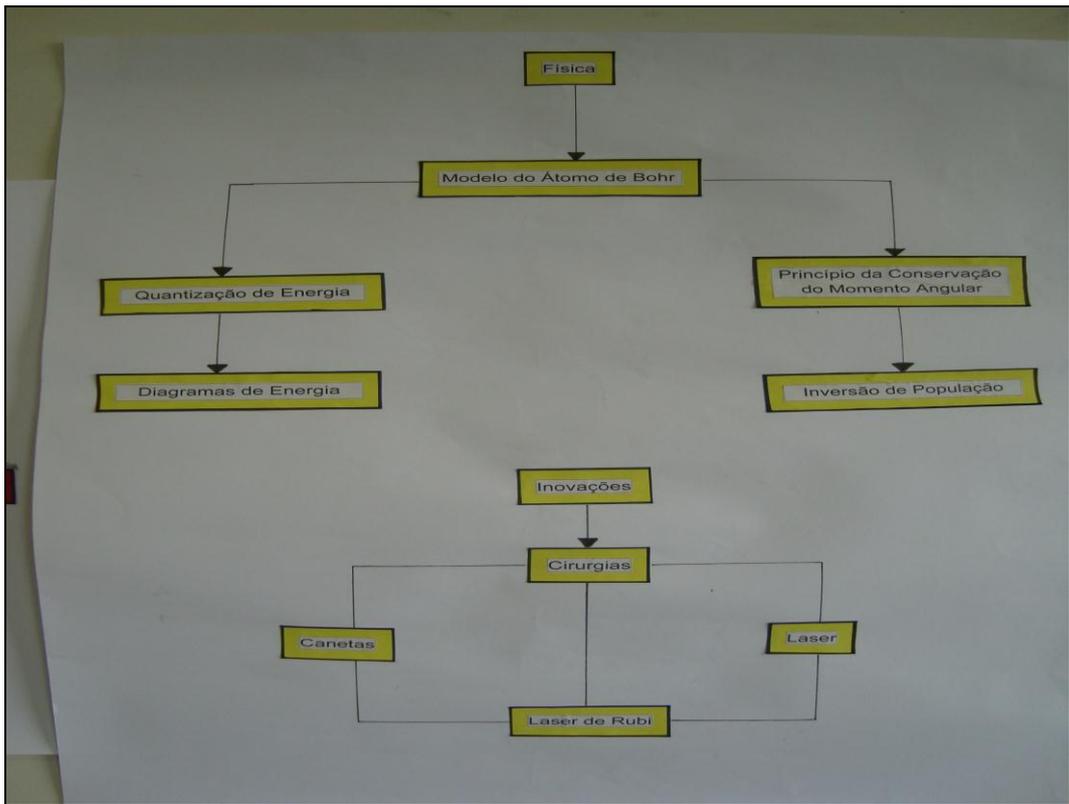


Figura 45. Mapa livre do Grupo Amarelo da Turma Agro-1C.

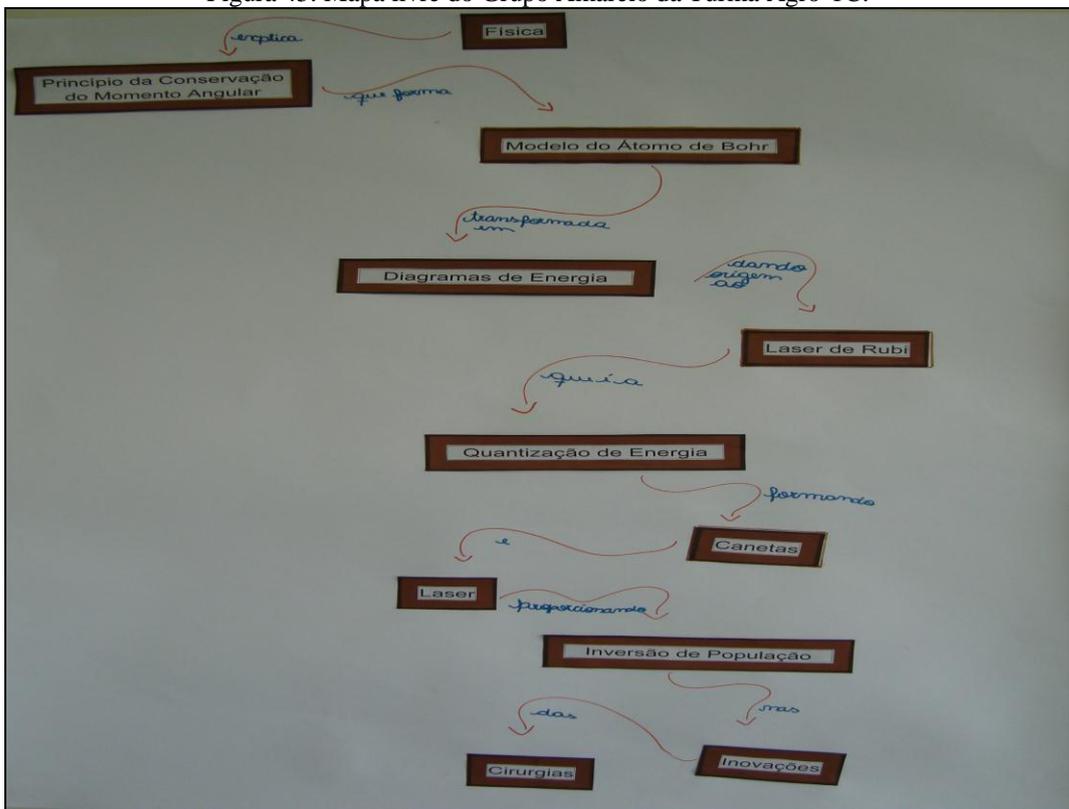


Figura 46. Mapa livre do Grupo Marrom da Turma Agro-1C.

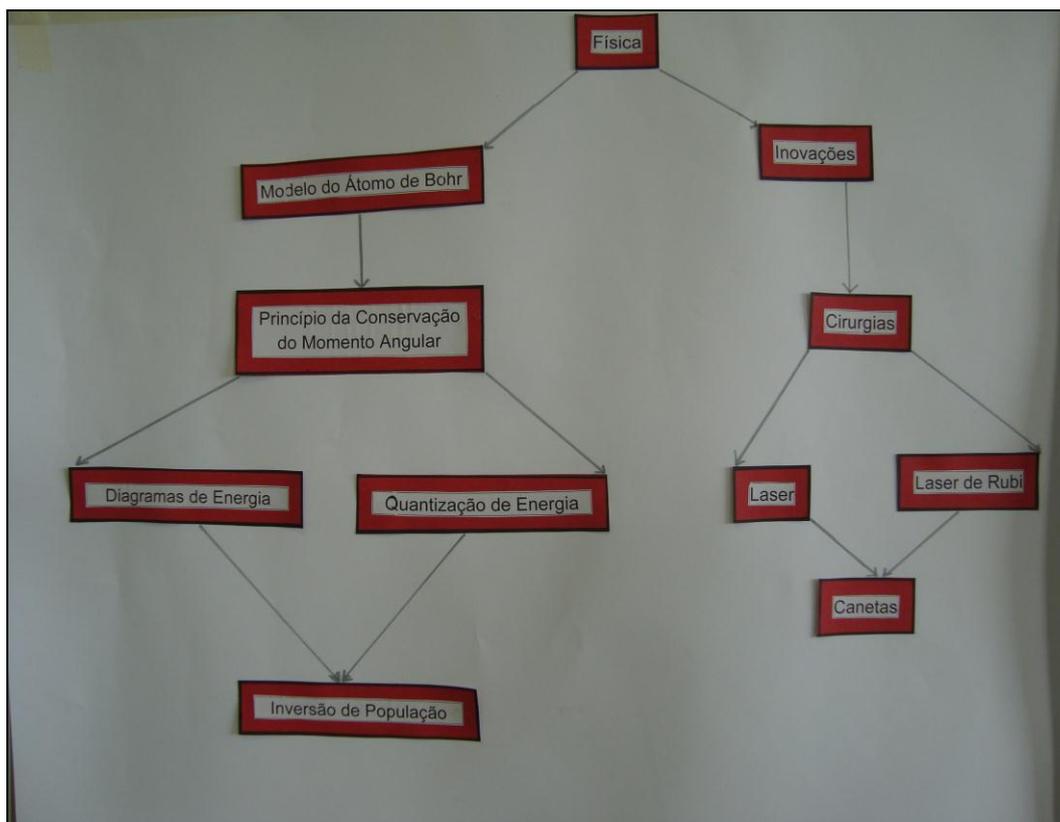


Figura 47. Mapa livre do Grupo Vermelho da Turma Agro-1C.

Percebeu-se durante a construção dos mapas livres e com o uso das filmagens, que os alunos tentaram atribuir significados às palavras e as relacionaram entre si. Assim, os alunos externalizaram conhecimentos prévios que foram utilizados na etapa III. Na etapa II.1 os grupos responderam o questionário do Apêndice B (p.158) e apresentam-se a seguir os resultados obtidos da turma Agro-1A na Tabela 45, Agro-1B na Tabela 46 e Agro-1C na Tabela 47.

Tabela 45. Respostas do questionário da Turma Agro-1A.

Questão	Grupo Verde	Grupo Laranja	Grupo Amarelo	Grupo Vermelho
(a)	Experimento de Bohr que vimos em química.	Luz incandescente que reage com os átomos e podem atravessar superfícies sólidas.	É usado em cirurgias; é uma inovação. A informação que sabemos é de revistas e TV.	Medicina e outras técnicas.
(b)	Física Moderna	Física Clássica, pois laser é uma experiência sobre átomos	Física Moderna	Física Moderna
(c)	Ambas	Física Moderna	Ambas	Física Moderna
(d)	Todas, alavancas e	Física Moderna	Física Clássica.	Física Clássica

	Newton.			
(e)	Luz, rádio, energia e roldanas.	Cirurgias a laser, odontologia e estética.	Trabalho, energia, potência, impulso, centro de gravidade.	Girar uma chave, o movimento de um carro e cirurgia a laser.

As respostas da turma Agro-1A apresentadas na Tabela 45 evidenciaram: na questão (a) um conhecimento vago sobre o tema laser; na (b) apenas o grupo laranja identificou o laser como parte da FC; na (c) em relação à Física estudada no Ensino Médio, os grupos laranja e vermelho identificaram a FM e os grupos verde e amarelo identificaram ambas; na (d) na vida dos alunos a Física que eles perceberam no dia a dia é a FC para os grupos amarelo e vermelho, a FC e FM para o grupo verde e apenas a FM para o grupo laranja; e na questão (e) os grupos amarelo e vermelho exemplificaram com conteúdos estudados até o momento nas aulas de Física, com isso, os grupos são coerentes com a resposta da questão (d), da mesma forma que os grupos verde e laranja.

Tabela 46. Respostas do questionário da Turma Agro-1B.

Questão	Grupo Verde	Grupo Laranja	Grupo Marrom	Grupo Vermelho
(a)	Cirurgias, depilações a laser de rubi.	Cirurgias, retirada de manchas da pele, cortar chapas de metal, mira de armas, sensores e apontadores.	Pode ser usado para o nosso bem (cirurgias) e mal (no rosto do goleiro).	É usado pelos cientistas.
(b)	Física Moderna	Física Moderna.	Física Moderna	Física Moderna
(c)	Física Clássica	Ambas	Ambas	Ambas
(d)	Física Clássica	Física Clássica	Ambas	Física Moderna
(e)	Exemplos de alavancas.	Alavancas.	Trabalho mecânico, leis de Newton, impulso e estática.	Chuveiro, luz, raio e carro.

Com a análise da Tabela 46 pode-se inferir que: na questão (a) todos os grupos evidenciaram o uso do laser na área médica; na (b) todos os grupos afirmaram que o laser envolve conhecimentos de FM; na (c) três grupos responderam que no Ensino Médio são estudadas ambas as Físicas e apenas o grupo verde responde que é a FC; na (d) o grupo verde e o laranja perceberam aplicações da FC no seu dia a dia, o grupo marrom considerou ambas,

e o grupo vermelho a FM; e na questão (e) três grupos exemplificaram as implicações do dia a dia com os conteúdos trabalhados até aquele momento e apenas o grupo vermelho deu exemplos de FM: chuveiro, luz, raio e carro.

Tabela 47. Respostas do questionário da Turma Agro-1C.

Questão	Grupo Preto	Grupo Amarelo	Grupo Marrom	Grupo Vermelho
(a)	Radiação visível a olho nu.	São vermelhos usados para cortar, furar e cirurgias.	Tem características especiais...	Canetas e cirurgias.
(b)	Física Moderna	Física Moderna	Física Moderna	Física Moderna
(c)	Ambas	Ambas	Ambas	Física Clássica
(d)	Ambas	Física Clássica.	Física Moderna	Física Clássica
(e)	Empurrar alguém e levantar algo.	Torque.	Microondas, luz elétrica e ondas eletromagnéticas.	Impulso, deslocamento, força, peso, gravidade, massa e potência.

Verifica-se na Tabela 47 que as respostas evidenciam: que na questão (a) os grupos preto e marrom usaram o aparelho de celular para obter informações, o grupo amarelo relaciona a palavra laser a alguns fenômenos apresentados em filmes de ficção científica, além de características fundamentais, o grupo vermelho refere-se às fichas recebidas para a construção do mapa livre; na (b) todos os grupos relacionaram o laser à Física Moderna; (c) três grupos afirmaram que estudam no Ensino Médio ambas as Físicas e apenas o grupo vermelho respondeu estudar somente a Física Clássica; (d) dois grupos perceberam no dia a dia implicações da Física Clássica, um a Física Moderna e outro grupo ambas as físicas; e na questão (e) os grupos que referem-se a FC na questão (d) exemplificaram com conteúdos trabalhados até o momento, o grupo que respondeu FM na questão (d) citou exemplos coerentes, e o grupo que responde ambas exemplifica com situações que abrangem conhecimentos de física clássica.

Pode-se concluir com as respostas dos doze grupos que correspondem às turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C que: o conhecimento sobre o efeito laser é um conhecimento vago e que não corresponde à explicação aceita pela comunidade científica no momento; onze grupos identificaram que o laser envolve conhecimentos de Física Moderna; 8 grupos afirmaram estudar no Ensino Médio tanto a Física Clássica quanto a Física Moderna, 2 grupos afirmaram ser a Física Moderna e 2 afirmaram ser a Física Clássica; 6 grupos perceberam a Física Clássica no seu dia a dia, 3 perceberam a Física Moderna e 3 a Física Clássica; 7 grupos

apresentaram exemplos de Física Clássica, 2 deram exemplos de Física Moderna e três de ambas as Físicas; 10 grupos mencionaram implicações do dia a dia correspondente a resposta da questão (d) e apenas 2 grupos não corresponderam seus exemplos à Física apresentada na questão (d).

A realização da etapa II.2 da UEPS resultou nas Tabelas 48, 49 e 50.

Tabela 48. Palavras destacadas pelos grupos da Turma Agro-1A.

Palavras	Grupo Verde	Grupo Laranja	Grupo Amarelo	Grupo Vermelho
Monocromaticidade	X	X	X	X
Ampola de H / Espectro	X		X	X
Absorção de fóton / fóton	X	X		X
Atomística/ Colapsaria / espiral		X	X	X
Constante de Plank / TeraWatt			X	
Mecânica Quântica/ Transição			X	
Elétrons do cátodo / cátodo / anodo	X	X	X	X
Anteparo/ Cavidade ressonante			X	X
Astronomia convencional				X
Feixe de laser				X

A Tabela 48 mostra que as palavras que não possuíam significados para a maioria dos grupos da Turma Agro-1A eram: monocromaticidade e cátodo/anodo (para os 4 grupos), atomística/colapsaria/espiral, ampola de H/espectro, absorção de fóton/fóton (para três grupos).

Tabela 49. Palavras destacadas pelos grupos da Turma Agro-1B.

Palavras	Grupo Verde	Grupo Laranja	Grupo Marrom	Grupo Vermelho
Monocromaticidade	X		X	X
Ampola de H / Espectro	X	X	X	X
Absorção de fóton / fóton	X	X	X	
Atomística/ Colapsaria / espiral	X	X	X	X
Constante de Plank / TeraWatt	X			
Mecânica Quântica/ Transição/Instável	X		X	
Elétrons do cátodo / cátodo / anodo	X	X	X	X
Anteparo/ Cavidade ressonante	X	X	X	X
Astronomia convencional				X

A Tabela 49 apresenta as palavras menos conhecidas pelos grupos da turma Agro-1B, que eram: anteparo/cavidade ressonante, elétrons do cátodo/ anodo,

atomística/colapsaria/espiral, ampola de H/espectro (todos os grupos) e monocromaticidade e absorção de fóton/fóton (três grupos).

Tabela 50. Palavras destacadas pelos grupos da Turma Agro-1C.

Palavras	Grupo Preto	Grupo Amarelo	Grupo Marrom	Grupo Vermelho
Monocromaticidade	X	X	X	
Ampola de H / Espectro	X	X	X	
Absorção de fóton / fóton		X	X	
Constante de Plank / TeraWatt			X	X
Elétrons do cátodo / cátodo / anodo	X	X	X	
Anteparo/ Cavidade ressonante	X	X	X	
Astronomia convencional				X
Feixe de laser		X		

A Tabela 50 mostra as palavras que a maioria dos alunos dos grupos da turma Agro-1C não conhecia os significados, que eram: anteparo/cavidade ressonante, elétrons do cátodo/anodo, monocromaticidade e ampola de H/espectro (três grupos).

O levantamento das palavras que não faziam parte do vocabulário dos alunos evidencia o conhecimento vago sobre o assunto laser, podem-se destacar as palavras monocromaticidade e anteparo. Assim, detecta-se o nível de conhecimento e o distanciamento entre textos de divulgação científica e o vocabulário dos alunos de Ensino Médio.

Com a tarefa inicial e as situações-problema iniciais pode-se realizar o levantamento de conhecimentos prévios dos alunos e criar situações para que o aluno construa o seu próprio modelo mental do campo conceitual que será abordado; a partir destes, iniciou-se o aprofundamento dos conhecimentos (etapa III.1). Por meio dos subsunçores coletados envolveram-se os alunos na formalização do conhecimento. A etapa III.1 foi composta de 6 horas/aula envolvendo os conteúdos da UEPS. Para obter maior compreensão do texto utilizado na etapa II.2, os alunos retomaram sua leitura (etapa III.2) e construíram um esquema ou resumo. Nos resumos percebeu-se que os alunos de todas as turmas do Curso Técnico em Agropecuária destacaram as palavras recebidas para a construção dos mapas livres e as palavras mencionadas na etapa II.2. Pode-se inferir que mesmo as palavras que não tinham significados para os alunos num primeiro momento, após a etapa III.1 tornam-se significativas de tal maneira que todos os alunos as destacam em seus resumos ou esquemas. Esta pode ser uma evidência de aprendizagem significativa.

A quarta etapa da UEPS esteve composta de duas atividades. Na etapa IV, os grupos deveriam pesquisar e apresentar à turma uma aplicação do laser. Com essa atividade obtivemos os temas apresentados na Tabela 51.

Tabela 51. Temas dos trabalhos apresentados pelas Turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Turma Agro-1A	Fisioterapia com o uso do laser	Diversidade nas aplicações do Laser	Aplicações do Laser na Oftalmologia	Aplicação do Laser na Medicina
Turma Agro-1B	Várias aplicações do laser	Utilização do laser por militares	Tratamento para Varizes	Laser na medicina - oftalmologia
Turma Agro-1C	Cirurgia Ocular a Laser	Reprodutores de CD, código de barras, comunicação e medicina	Aplicações do laser na saúde	Utilização Militar, Aplicações Policiais e Medicina.

Com o uso da Tabela 51 pode-se afirmar que dos doze trabalhos apresentados, apenas um, do grupo laranja da turma Agro-1B, não apresenta aplicações do laser na medicina. Os grupos durante a apresentação relatavam situações de familiares ou conhecidos que sofreram algum tipo de intervenção com o uso do laser, ou seja, para os alunos o trabalho tornou-se relevante por relacionar com sua realidade.

Na sequência da UEPS os grupos reconstruíram os mapas livres tornando-os mapas conceituais, os mesmos apresentam-se nas Figuras: (48) Grupo Verde, (49) Grupo Laranja, (50) Grupo Amarelo e, (51) Grupo Vermelho; para a Turma Agro-1A.

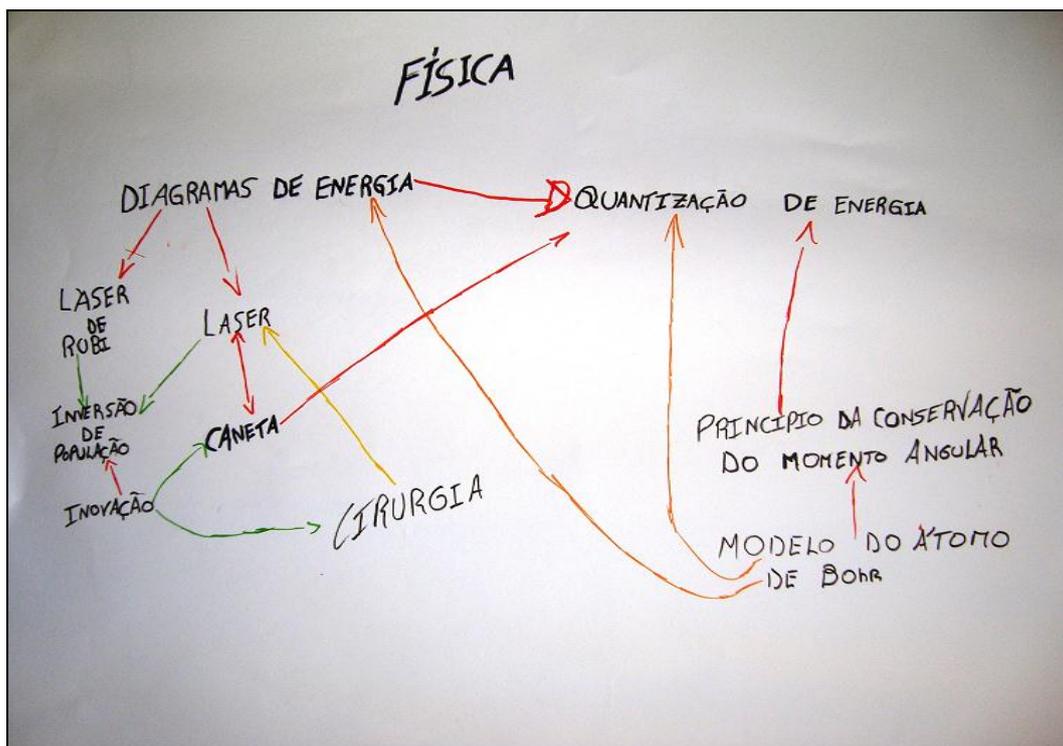


Figura 48. Mapa Conceitual do Grupo Verde da Turma Agro-1A.



Figura 49. Mapa Conceitual do Grupo Laranja da Turma Agro-1A.



Figura 50. Mapa Conceitual do Grupo Amarelo da turma Agro-1A.

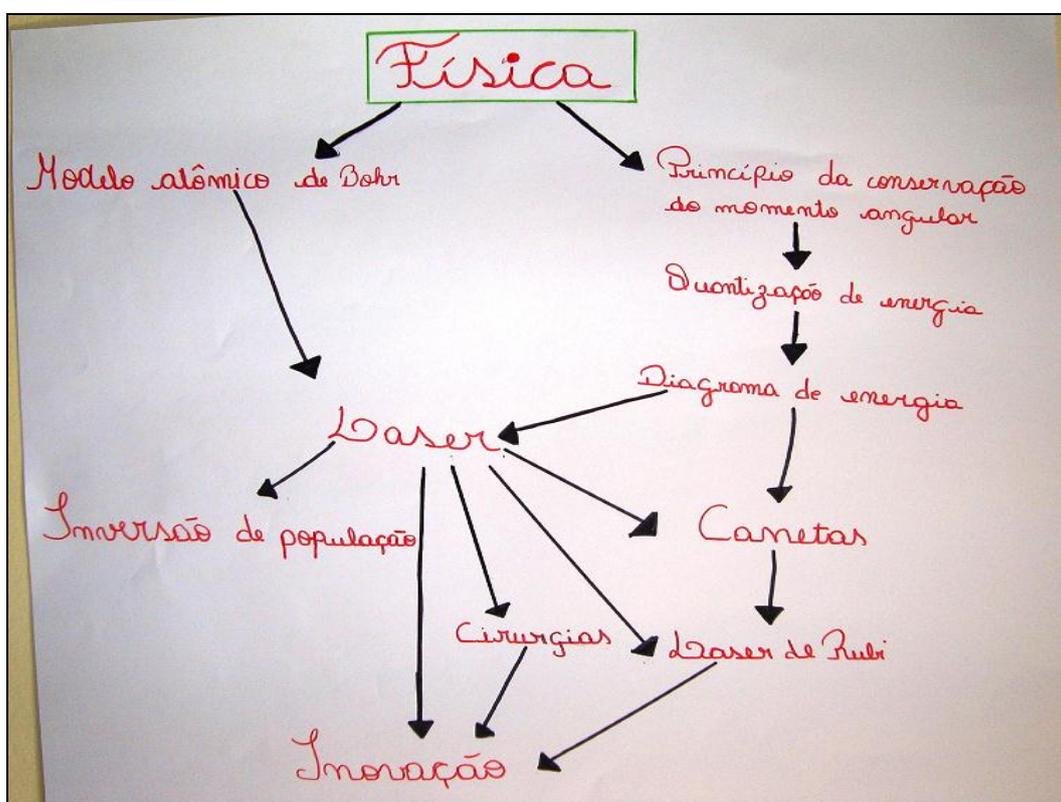


Figura 51. Mapa conceitual do grupo vermelho da turma Agro-1A.

A Tabela 52 apresenta a avaliação comparativa entre o mapa livre e o mapa conceitual dos grupos da turma Agro-1A.

Tabela 52. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e conceitual da turma Agro-1A.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Verde	A representação de várias setas no conceito de Física no mapa livre evidencia que o grupo entende que a Física engloba todos os conceitos apresentados. O mapa livre apresenta ligações entre as fichas com mais de uma flecha.	O grupo não acrescenta nenhum conceito no mapa conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores.
Laranja	A explicação do mapa conceitual evidencia que o grupo interpreta os conceitos mais abrangentes estão no topo do mapa e que a base é formada pelos menos abrangentes. Mesmo o mapa conceitual apresentando o aspecto em linha, durante a explicação os alunos esclarecem os conceitos utilizando os outros conceitos.	O mapa livre evidencia a separação entre os conceitos da física e as aplicações Físicas. Os alunos não percebem ligação entre a Física e seu dia a dia. O grupo não acrescenta nenhum conceito ao mapa conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores.
Amarelo	O Mapa conceitual apresentou um maior número de ligações entre os conceitos; A explicação evidencia que os alunos sabem os significados de cada conceito.	O mapa livre foi dividido em duas partes: uma seria a parte de conteúdos de Física e a outra exemplos do dia a dia. O grupo apresentou as mesmas palavras no mapa livre e conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores.
Vermelho	Os mapas evidenciam a maior compreensão por parte dos alunos, maior relação entre os conceitos.	Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores e não acrescentam nenhum conceito.

Os mapas conceituais da turma Agro-1B apresentam-se nas Figuras: (52) Grupo Verde, (53) Grupo Laranja, (54) Grupo Marrom, e (55) Grupo Vermelho.

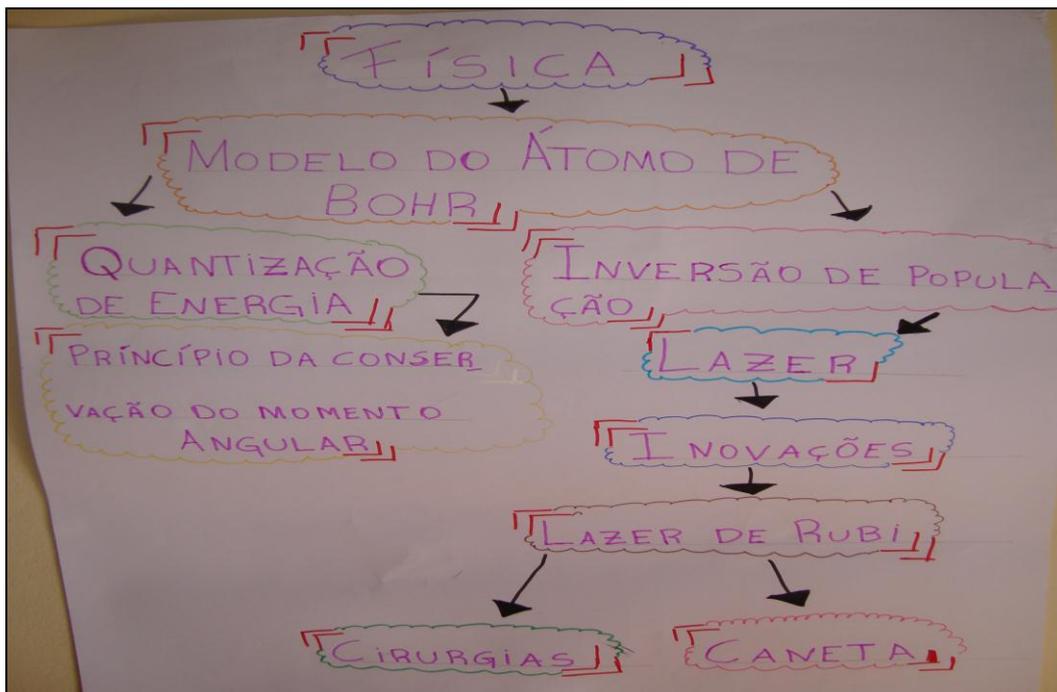


Figura 52. Mapa conceitual do Grupo Verde da Turma Agro-1B.

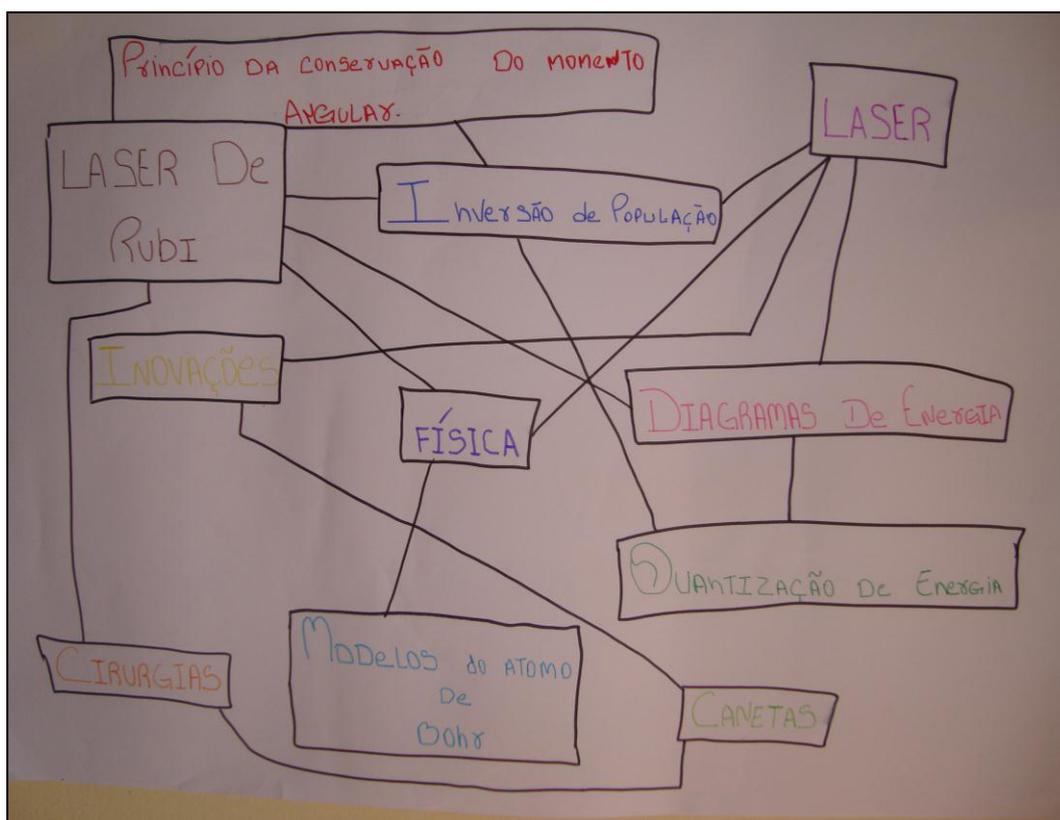


Figura 53. Mapa Conceitual do Grupo Laranja da Turma Agro-1B.

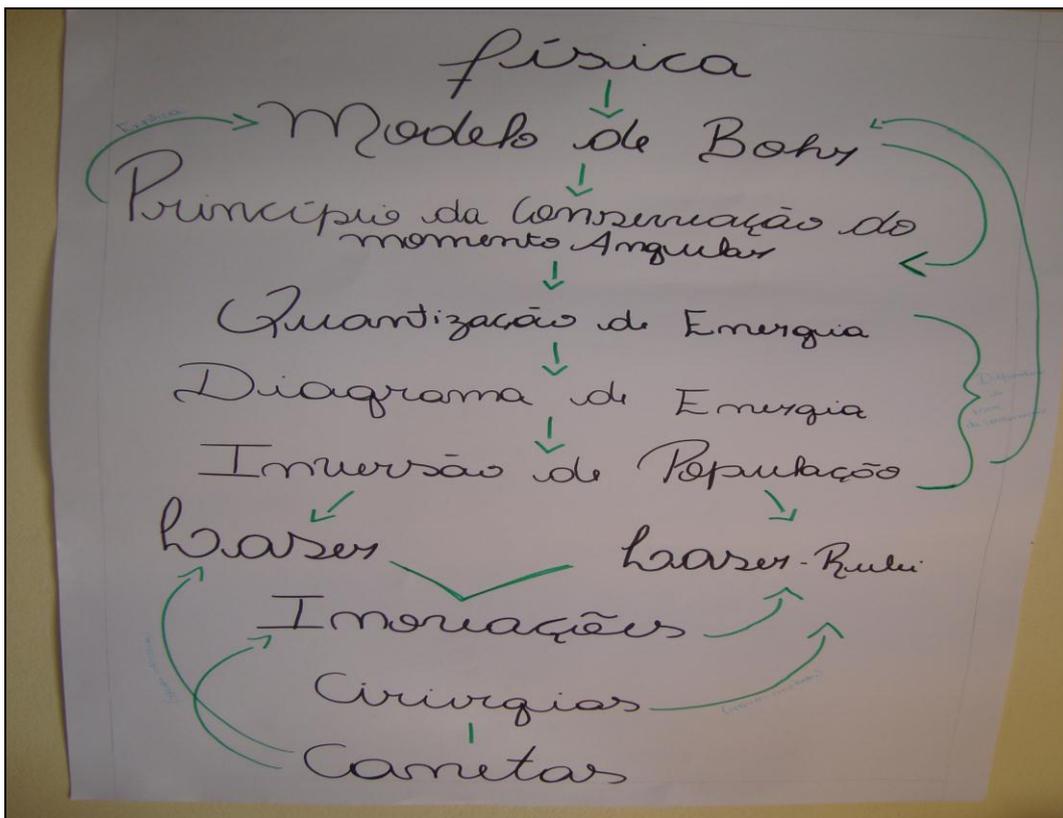


Figura 54. Mapa conceitual do Grupo Marrom da Turma Agro-1B.

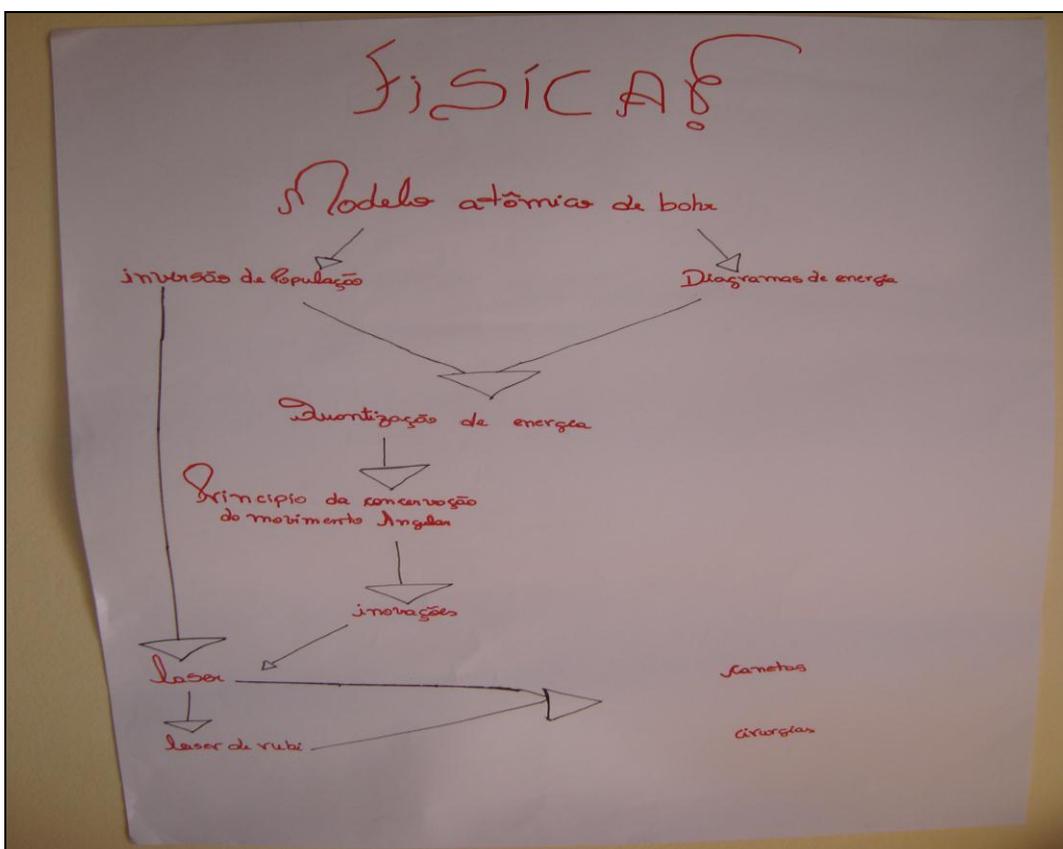


Figura 55. Mapa conceitual do Grupo Vermelho da Turma Agro-1B.

A Tabela 53 apresenta a avaliação entre o mapa livre e o mapa conceitual dos grupos da turma Agro-1B.

Tabela 53. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e conceitual da turma Agro-1B.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Laranja	O mapa conceitual apresentou um maior número de ligações entre os conceitos; A explicação sugere que os alunos sabem os significados de cada conceito.	O mapa livre apresenta a parte superior com os conteúdos de Física e a inferior com as aplicações. O grupo apresentou as mesmas palavras no mapa livre e conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores.
Marrom	Apresentou um maior número de ligações entre os conceitos, no mapa conceitual; A explicação do mapa conceitual sugere que o grupo entendeu o significado de cada conceito.	O mapa livre evidencia a separação entre os conceitos da física e as aplicações físicas. O grupo não acrescenta nenhum conceito ao mapa conceitual e não apresentam conectores.
Verde	O mapa livre apresenta no topo as palavras que o grupo sabe o significado e na base as palavras que desconhecem e por isso, o grupo entende que estas palavras menos importantes. O mapa conceitual inverte as palavras do topo e da base.	O grupo não acrescenta nenhum conceito no mapa conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores. O mapa conceitual apresenta setas únicas, com uma exceção.
Vermelho	Os mapas evidenciam maior compreensão por parte dos alunos, maior relação entre os conceitos, explicitando que é necessário o conhecimento da física teórica para entender a aplicação do laser. Apresentou um maior número de ligações entre os conceitos, no mapa conceitual.	Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores e não acrescentam nenhum conceito.

Os mapas conceituais da turma Agro-1C apresentam-se nas Figuras: (56) Grupo Preto, (57) Grupo Amarelo, (58) Grupo Marrom e (59) Grupo Vermelho.

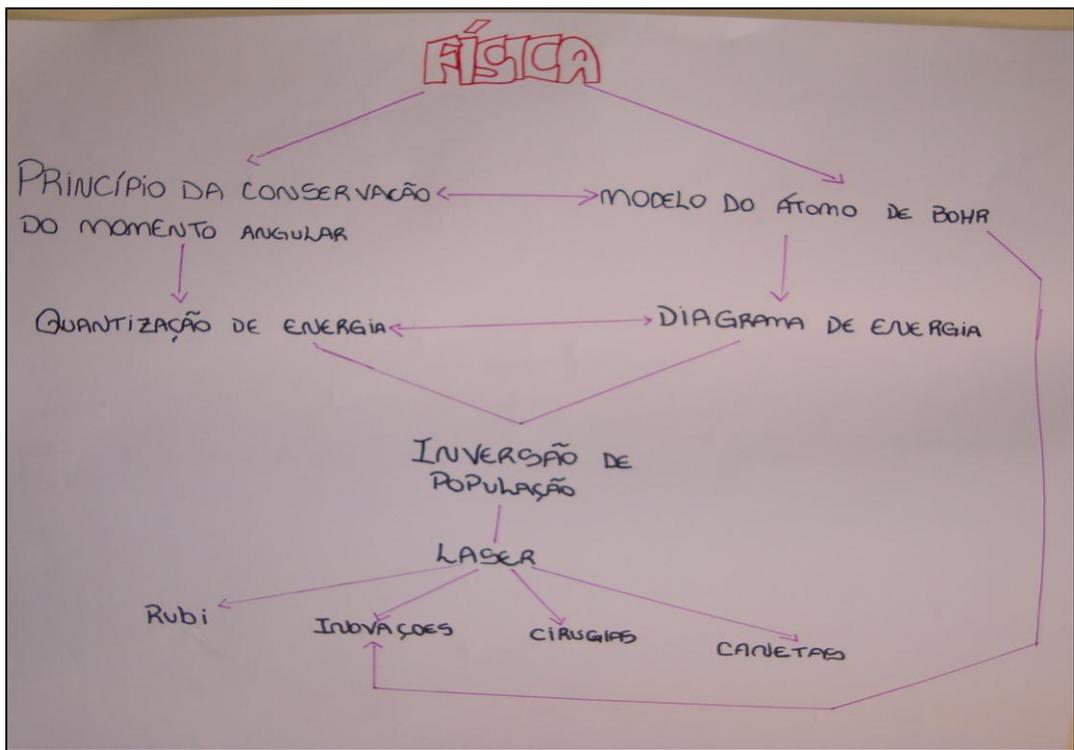


Figura 56. Mapa conceitual do Grupo Preto da Turma Agro-1C.

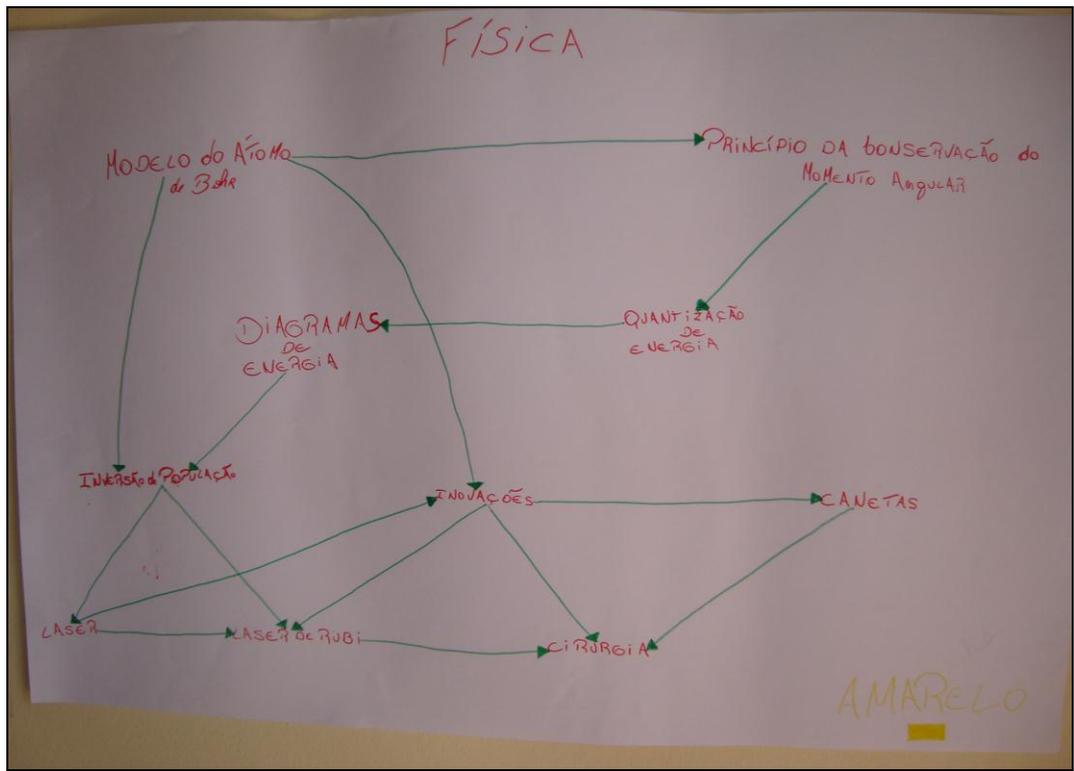


Figura 57. Mapa conceitual do Grupo Amarelo da Turma Agro-1C.

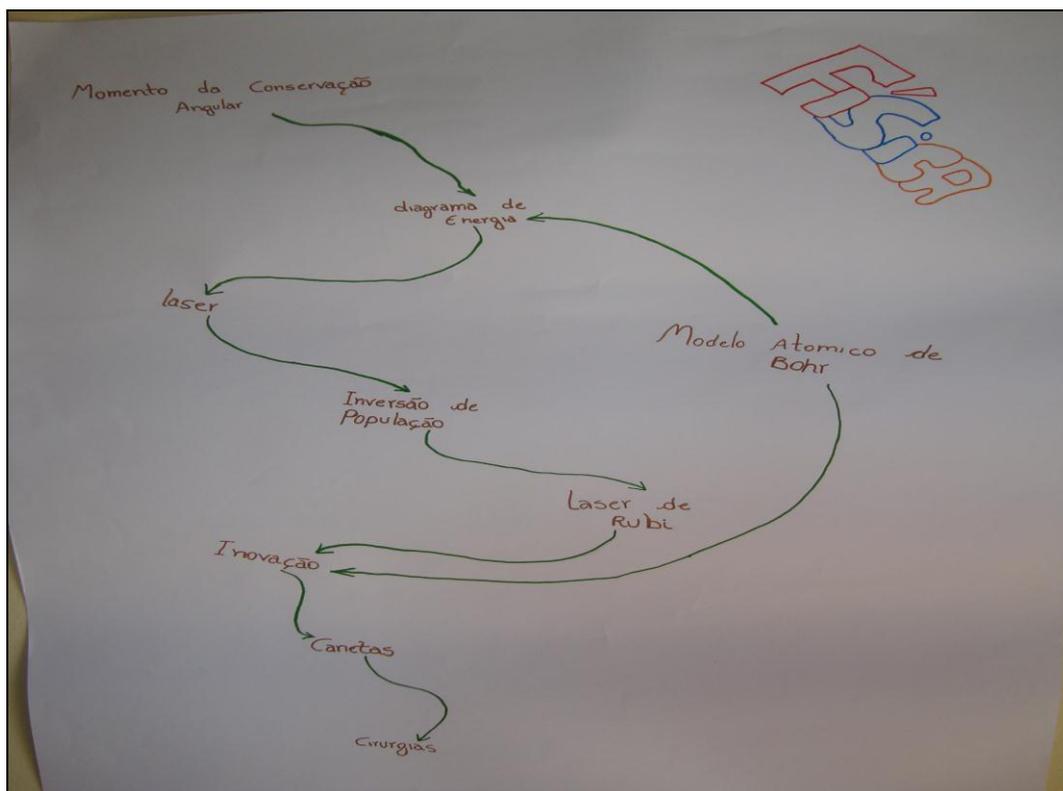


Figura 58. Mapa conceitual do Grupo Marrom da Turma Agro-1C.

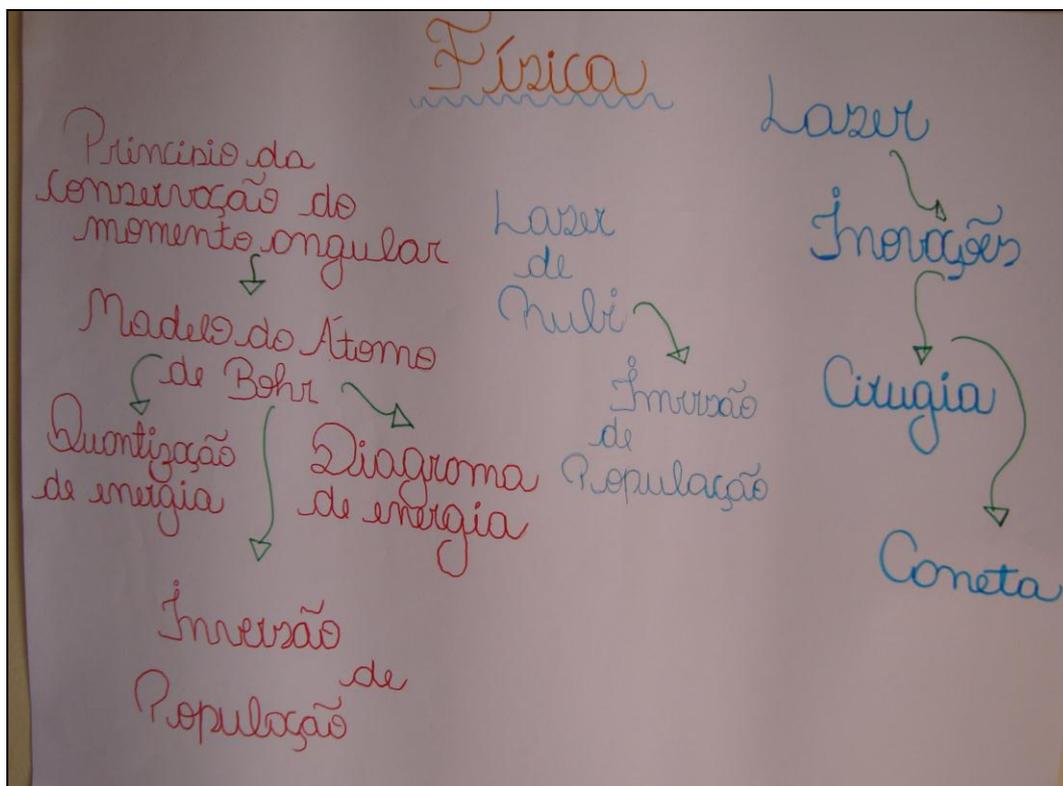


Figura 59. Mapa conceitual do Grupo Vermelho da Turma Agro-1C.

A Tabela 54 apresenta a comparação entre o mapa livre e o mapa conceitual dos grupos da turma Agro-1C.

Tabela 54. Aspectos positivos e negativos entre o mapa livre e o mapa conceitual da turma Agro-1C.

Grupo	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Preto	O mapa livre apresenta setas duplas para indicar os conceitos considerados mais importantes pelo grupo. O mapa conceitual evidencia a conexão entre os conceitos físicos e a aplicação.	O grupo não acrescenta nenhum conceito no mapa conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores. O mapa livre apresenta no topo os conceitos de Física e na base as aplicações.
Amarelo	O mapa conceitual possui muitas ligações entre os conceitos; A explicação evidencia que os alunos conseguiram conectar a Física Conceitual com a Física Aplicada.	O mapa livre tem duas partes: uma com os conteúdos de Física e a outra com as aplicações. Os alunos não conseguem perceber as aplicações da física no dia a dia. O grupo apresentou as mesmas palavras no mapa livre e conceitual. Tanto o mapa livre quanto o mapa conceitual não apresentam conectores.
Marrom	O mapa livre apresenta conectores entre todos os conceitos que auxiliaram o grupo a explicá-lo. A explicação do mapa conceitual sugere que o grupo estava seguro para explicar o mapa, de tal forma que não acrescentou conectores.	O mapa livre foi construído em linha, ou seja, apresenta ligações simples entre os conceitos. O grupo não acrescenta nenhum conceito ao mapa conceitual e retira os conectores.
Vermelho	O grupo apresenta a ligação entre inversão de população e laser de rubi.	Os mapas livre e conceitual separam do lado esquerdo os conceitos de física e do lado direito as aplicações. O grupo não acrescenta nenhum conceito ao mapa conceitual.

As atividades de construção do mapa livre e conceitual nas turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C evidenciaram que os grupos: (1) em sua maioria apresentaram no mapa livre a separação entre os conteúdos de Física e as aplicações; (2) todos os grupos não acrescentaram novos conceitos quando construíram o mapa conceitual; (3) nenhum grupo acrescentou conectores no mapa conceitual; e (4) todos os grupos ao explicar seus mapas conceituais apresentaram explicações que evidenciaram a compreensão do conteúdo e o crescimento coletivo do grupo, como por exemplo, a transcrição do Grupo Marrom da turma Agro-1C, “A palavra Física está em destaque e colorida para representar que este é um mapa conceitual da Física que engloba os demais conceitos. Iniciamos com o Princípio da Conservação do Momento Angular que descreve que num sistema isolado o Momento Angular se conserva.

*Este princípio também é percebido na 2ª Lei de Kepler. Que também pode ser comparado como as órbitas dos elétrons ao redor do núcleo. De acordo com as hipóteses de Bohr para explicar o modelo atômico, o momento angular e a energia são quantizados, isto para representar os raios das órbitas que são acessíveis para um elétron e a energia total do átomo. Assim, com a quantização da energia podemos construir o diagrama de energia, que no nosso caso foi calculado para o átomo de hidrogênio. Com o diagrama de energia podemos entender como se forma o laser e como é importante a inversão de população para que este efeito ocorra. Também, podemos explicar que a inversão de população ocorre nos elétrons das impurezas que formam o Rubi (Alumínio) e são responsáveis pela coloração avermelhada. Tanto o Laser de Rubi quanto o Modelo Atômico de Bohr podemos considerar como conhecimentos de inovação e também, como exemplo de inovações podemos citar as canetas à laser e as cirurgias à laser. Bem, como podemos perceber todos os conceitos estão interligados e um depende do outro. Bom era isso!''.*

Novamente, pensando na unicidade de cada aprendiz os alunos realizaram uma avaliação somativa individual, denominada etapa V da UEPS. A avaliação das turmas de 2013 foi alterada em alguns pontos que serão destacados no decorrer do texto e, por isso, responderam seis questões abertas. A avaliação somativa individual das Turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C apresenta-se no Apêndice G (p.174). A questão 1 permanece a mesma e a análise das respostas é realizada com os mesmos critérios dos estudos anteriores.

A Tabela 55 apresenta os dados da questão 1 para as turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Tabela 55. Questão 1 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C..

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Agro-1A	C – 1* T – 2* E – 2*	C – 2* P – 1* M – 1* E – 2*	C – 4* T – 1*	E – 3*
Agro-1B	E – 3* M – 1*	M – 5*	E – 3* P – 1* C – 1*	E – 3* T – 2* NF – 1*
Agro-1C	M – 1* C – 2* P – 1* E – 1*	M – 2* T – 1* C – 2*	E – 2* M – 1* NF – 1*	T – 1* P – 1* C – 3*

\* Número de alunos do grupo.

Com os dados da Tabela 55 pôde-se verificar que o grupo que possui o maior número de componentes, acertou as 4 características da luz laser, foi o grupo amarelo da turma Agro-1A; por outro lado, todos os componentes do grupo vermelho erraram a questão 1 e apenas dois alunos não responderam a questão 1, um aluno do grupo vermelho da turma Agro-1B e um do grupo marrom da turma Agro-1C.

A Tabela 56 apresenta a avaliação das respostas obtidas na questão 2 em relação aos componentes dos grupos de cada turma. O critério utilizado para a questão correta ou parcialmente correta foi se o aluno utilizava a expressão “inversão de população” para explicar a formação da luz laser, ou se o aluno se expressava com outras palavras o fenômeno.

Tabela 56. Questão 2 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

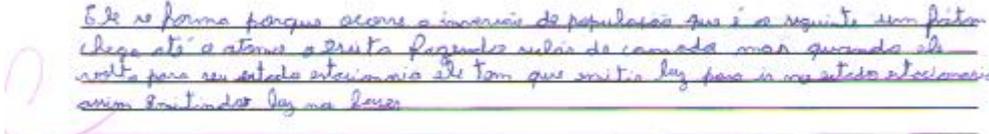
Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Agro-1A	M – 1*	M – 3*	C – 2*	E – 3*
	E – 4*	E – 3*	M – 2*	
Agro-1B	C – 1*	C – 2*	M – 1*	M – 2*
	M – 1*	M – 1*	E – 4*	E – 2*
	E – 2*	E – 2*		NF – 2*
Agro-1C	M – 4*	C – 1*	M – 2*	C – 1*
	E – 1*	M – 3*	E – 2*	M – 2*
		E – 1*		E – 1*
				NF – 1*

\* Número de alunos do grupo.

Com os dados da Tabela 56, verifica-se que do total de 58 respostas apenas 5 alunos responderam corretamente a questão 2, 22 respostas foram parcialmente corretas, 25 respostas incorretas, os três alunos que compunham o Grupo vermelho da turma Agro-1A responderam incorretamente à questão 2, sendo que o Grupo Amarelo e o Grupo Laranja das turmas Agro-1A e Agro-1B, possuíam o maior número de integrantes (dois) que responderam a questão corretamente. Apenas três alunos não responderam à questão. Exemplificam-se na Tabela 57 respostas correta, parcialmente correta e, incorreta.

Tabela 57. Questão 2.

Resposta correta.



*Ele se forma porque ocorre a inversão de população que é o seguinte, um fóton chega até o átomo e aumenta fazendo subir de camada mas quando ele volta para o estado estacionário ele emite luz para voltar ao estacionário, assim emitindo luz laser.*

Resposta parcialmente correta.

*Para que se forme a luz laser é necessário que os elétrons passem de seu estado fundamental para o estado excitado, com a inversão de população.*

Para que se forme a luz laser é necessário que os elétrons passem de seu estado fundamental para o estado excitado, com a inversão de população.

Resposta incorreta.

*Se forma através de um feixe de luz que atravessa uma placa de Rubi, recebendo o tom avermelhado.*

Se forma através de um feixe de luz que atravessa uma placa de Rubi, recebendo o tom avermelhado.

Na Tabela 58, apresentam-se os resultados da questão 3 das Turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Tabela 58. Questão 3 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Agro-1A	M - 2*	M - 1*	C - 3*	M - 3*
	C - 3*	E - 2*	M - 1*	
		NF - 2*	E - 1*	
Agro-1B	E - 3*	M - 3*	C - 3*	E - 1*
	M - 1*	C - 2*	E - 2*	C - 4*
				NF - 1*
Agro-1C	C - 2*	C - 4*	E - 3*	E - 3*
	M - 1*	E - 1*	C - 1*	M - 2*
	E - 2*			

\* Número de alunos do grupo.

A Tabela 58 mostra 22 respostas corretas, 14 respostas parcialmente corretas, 18 respostas incorretas e apenas 3 alunos não responderam à questão 3 da avaliação. Exemplificam-se na Tabela 59 respostas correta, parcialmente correta e, incorreta.

Tabela 59. Questão 3.

Resposta correta.

*É formado por óxido de alumínio,  $Al_2O_3$ , em que os íons de alumínio são substituídos por íons de cromo numa pequena porção de até 1%. Esses íons de cromo são responsáveis pela cor avermelhada do rubi e é neles que ocorre a inversão de população.*

É formado por óxido de alumínio,  $Al_2O_3$ , em que íons de alumínio são substituídos por íons de cromo numa pequena porção de até 1%. Esses íons de cromo são responsáveis pela cor avermelhada do rubi e é neles que ocorre a inversão de população.

Resposta parcialmente correta.
<p>O alumínio substituído pelo cromo de 1%, formando assim, o laser de rubi, <math>Al_2O_3</math>.</p>
Resposta incorreta.
<p>Que o material desse laser (Pedra, Plástico) é parecido com um Rubi, que é uma pedra rara.</p>

Os resultados da questão 4 são apresentados na Tabela 60.

Tabela 60. Questão 4 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Agro-1A	C – 5*	M – 2* C – 4*	C – 5*	M – 1* C – 1*
Agro-1B	C – 3* M – 1*	E – 3* C – 2*	C – 3* E – 1* M – 1*	M – 2* C – 4*
Agro-1C	C – 4* M – 1*	C – 4* M – 1*	C – 4*	C – 3* M – 2*

\* Número de alunos do grupo.

A Tabela 60 mostra 42 respostas corretas, como por exemplo, “*Meu trabalho foi feito sobre oftalmologia, falava sobre como o laser ajudou muito nesta área substituindo os bisturis e fazendo com que as cirurgias fossem indolores*”. Tem-se 11 respostas parcialmente corretas, por exemplo, “*depilações a laser*”. Apenas 1 aluno do Grupo Marrom da Turma Agro-1B respondeu incorretamente a questão 4. Verifica-se que todos os alunos responderam à questão. Com essa atividade pôde-se entender que os alunos participaram efetivamente da atividade de pesquisar uma aplicação da luz laser.

Na Tabela 61, apresentam-se algumas descrições da avaliação dos alunos, por grupo e turma, sobre sua aprendizagem e o método aplicado pela pesquisadora, questão 5.

Tabela 61. Recortes das respostas à questão 5 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Turma	Cor do grupo
Agro-1A	<i>Achei mais interessante trabalhar desta forma, porque assim a gente é mais livre para pensar e não tem o peso por fazer uma coisa e estar errado, resultando num melhor aprendizado.</i>
	<i>...foi possível interagir com os colegas... ...pude tentar entender sobre o assunto sem a professora explicar, e depois a professora explicou e então tive outra visão do assunto...</i>

	<p><i>...os conceitos não faziam sentido, mas agora não...</i></p> <p><i>...o mapa livre ajudou a entender os conceitos e organizá-los... o trabalho em grupo ajudou a tirar as nossas dúvidas ali..</i></p>
	<p><i>...acho que desta maneira a gente aprende mais...</i></p> <p><i>... quando eu fiz o mapa livre eu não entendi mas quando a professora explicou os detalhes separados eu entendi melhor</i></p>
Agro-1B	<p><i>... a construção dos mapas foi uma atividade que nos estimulou a raciocinar e construí-lo a partir do que nós sabíamos...</i></p>
	<p><i>... as aulas tiveram um ar de descontração e interesse que despertava mais curiosidade sobre o assunto...</i></p>
	<p><i>... o método deixa expressar o que vimos e entendemos das aulas de física, no dia da construção do mapa foi muito complicado mas no decorrer do trabalho fui entendendo ...</i></p>
	<p><i>...foi melhor aprender assim pois sozinhos, raciocinamos mais e aprendemos mais do que só a professora explicando...</i></p>
	<p><i>... achei interessante que as aulas de física forma mais diversificadas, onde a professora buscou várias alternativas para facilitar a aprendizagem.</i></p>
	<p><i>Antes do mapa livre as aulas vinham bem cansativas, mas depois ficaram diferentes...</i></p>
	<p><i>... As aulas foram cansativas, a aprendizagem foi boa e o conteúdo foi interessante.</i></p> <p><i>... a matéria era difícil...</i></p>
<p><i>...aprendemos que com nossos próprios conceitos podemos montar um mapa... foi uma maneira simples, objetiva e direta para aprendermos melhor...</i></p>	
<p><i>... o trabalho em grupo ajudou muito pois consegui aprender com mais facilidade... as aulas eram completas e bem explicadas... com o grupo ficou mais fácil aprender...</i></p>	

A Tabela 61 mostra que os alunos apontaram como pontos positivos: diversidade de metodologia, trabalhos em grupo, considerar o conhecimento do aluno e a autonomia do aluno no processo da aprendizagem. O ponto negativo: conteúdo difícil.

Na Tabela 62 são apresentados os resultados obtidos com os alunos das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C para a questão 6, usando os mesmos critério das turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013.

Tabela 62. Questão 6 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Turma	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo	Cor do Grupo
Agro-1A	C – 3*	P – 2*	C – 1*	P – 1*
	D – 1*	E – 1*	D – 1*	E – 1*
	E – 1*	NF – 3*	P – 2*	NF – 1*

			NF - 1*	
Agro-1B	C - 2* NF - 2*	C - 1* D - 2* E - 1* NF - 1*	P - 1* NF - 4*	P - 2* NF - 4*
Agro-1C	C - 1* P - 2* NF - 2*	C - 1* P - 2* NF - 2*	C - 1* E - 1* NF - 2*	P - 1* NF - 4*

\* Número de alunos do grupo.

Com a Tabela 62 pôde-se inferir que 10 alunos responderam à questão corretamente; 4 alunos acertaram 2/3 da questão, 12 alunos acertaram 1/3 da questão; 5 responderam incorretamente, e 24 alunos não responderam a questão. Assim, pôde-se verificar, como já era esperado, que a maior dificuldade do aluno está no uso da ferramenta matemática, e mais, que o aluno cria uma barreira, um pré-conceito e que muitas vezes, nem tenta resolver a questão.

Tabela 63. Questão 6 das turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C.

Resposta correta.

A) Para 1 termos

$$R_1 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 1^2$$

$$R_1 = 5,31 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Para 2 termos

$$R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 2^2$$

$$R_2 = 21,24 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Para 3 termos

$$R_3 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 3^2$$

$$R_3 = 47,73 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Para 4 termos

$$R_4 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 4^2$$

$$R_4 = 84,96 \times 10^{-11} \text{ m}$$

B)

Resposta parcialmente correta.

a) A grandeza  $R_n$ , significa a posição orbita dos elétrons.

b)  $R_n = 5,31 \cdot n^2 \times 10^{-11}$  metros

Para  $n=1$  temos;

$R_1 = 5,31 \times 10^{-11}$  m

$R_1 = 5,31 \times 10^{-11}$  m

$R_1 = 5,31 \times 10^{-11}$  m

Para  $n=2$  temos;

$R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 2^2$  m

$R_2 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 2^2$  m

$R_2 = 21,24 \times 10^{-11}$  m

Para  $n=3$  temos;

$R_3 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 3^2$  m

$R_3 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 3^2$  m

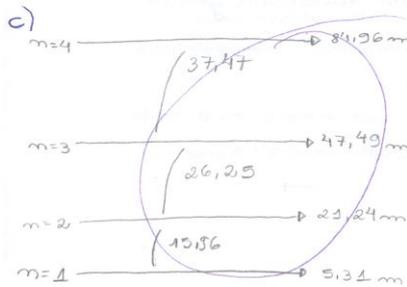
$R_3 = 47,49 \times 10^{-11}$  m

Para  $n=4$  temos;

$R_4 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 4^2$  m

$R_4 = 5,31 \times 10^{-11} \cdot 4^2$  m

$R_4 = 84,96 \times 10^{-11}$  m

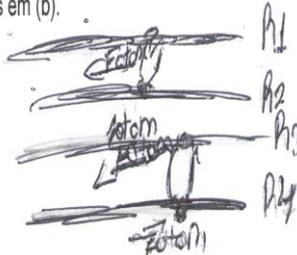


Resposta incorreta.

6. Na aula, calculamos o raio das órbitas do átomo de hidrogênio e encontramos a seguinte equação:

$R_n = 5,31 n^2 \times 10^{-11}$  metros

- (a) Qual grandeza física representa o  $R_n$ ?  $R_n$  do Comodo.
- (b) Calcule os valores dos quatro primeiros raios níveis de energia do átomo de hidrogênio.  $5,31 \times 10^{-11}$  m,  $21,24 \times 10^{-11}$  m,  $47,49 \times 10^{-11}$  m e  $84,96 \times 10^{-11}$  m.
- (c) Represente na forma de figura o átomo de hidrogênio e suas 4 órbitas calculadas em (b).



Na etapa VI da UEPS – aula expositiva dialogada integradora final, a professora retomou os conceitos discutidos na UEPS com o processo de reconciliação integradora e diferenciação progressiva e, assim, concluiu a sua aplicação nas turmas do curso Técnico em Agropecuária. Observou-se que nessa atividade os alunos também envolveram-se relatando como pensavam e como conseguiram “entender melhor” o conteúdo, a experiência positiva da construção dos mapas, o quanto foi bom trabalhar em grupo. Ainda acrescentaram explicações sempre demonstrando estarem motivados.

A avaliação da aprendizagem da UEPS foi realizada na etapa VII. Para isso, considerou-se os mapas livres e os mapas conceituais, a apresentação da aplicação do laser, a avaliação individual e a participação dos alunos para avaliar a UEPS, bem como uma comparação com os resultados obtidos no estudo-piloto. Concluiu-se que os alunos do 1º ano do Curso Técnico em Agropecuária obtiveram um bom aproveitamento e um ótimo envolvimento. Como já mencionado no perfil da turma, ao comparar os resultados da UEPS obtidos no estudo-piloto com as turmas do Curso Técnico em Informática de 2012 percebeu-se que os alunos apresentaram maiores dificuldades, porém, os alunos envolveram-se mais com as atividades em grupo e foram mais participativos nas interlocuções estabelecidas em sala de aula. Os alunos sentiram seus conhecimentos valorizados com o retorno imediato de todas as atividades desenvolvidas por eles. Novamente, não tem-se evidências conclusivas de aprendizagem significativa, mas certamente com as atividades desenvolvidas na UEPS conseguiu-se aumentar a predisposição do aluno para aprender nas aulas de Física.

Na etapa VIII avaliam-se as atividades propostas na UEPS. De acordo com a auto-avaliação dos alunos e com as anotações realizadas conclui-se que a UEPS foi uma metodologia eficaz para introduzir tópicos de FMC, e mais especificamente, ao acrescentar a questão 6 na avaliação somativa individual, os alunos tiveram maior dificuldade em realizá-la. Ratifica-se, que a pesquisa qualitativa não tem como objetivo generalizar e, com a mudança do perfil do aluno do Curso de Técnico em Informática em 2012 e 2013 para o Curso Técnico em Agropecuária as percepções diferem em alguns pontos e são apresentados na Tabela 64.

Tabela 64. Comparação entre os dois momentos de aplicação da UEPS Laser de Rubi e as atividade propostas.

Considerações Relevantes Sobre:	Projeto-Piloto	Info-1A-1B-2013	Agro-1A-1B-1C
Perfil das Turmas (Considerando a maioria dos alunos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alunos introvertidos;</li> <li>• Dedicados;</li> <li>• Com facilidade na aprendizagem das disciplinas de Física, Química e Matemática;</li> <li>• Não gostavam de realizar trabalhos em grupo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alunos introvertidos;</li> <li>• Dedicados;</li> <li>• Com facilidade na aprendizagem das disciplinas de Física, Química e Matemática.</li> <li>• Não gostavam de realizar trabalhos em grupo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alunos extrovertidos;</li> <li>• Dedicados;</li> <li>• Com dificuldade na aprendizagem das disciplinas de Física, Química e Matemática.</li> <li>• Gostavam de realizar trabalhos em grupo.</li> </ul>
Mapas Livres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos tentaram atribuir significados às palavras;</li> <li>• Evidenciou-se a troca de significados e a negociação do posicionamento das palavras no mapa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos tentaram atribuir significados às palavras;</li> <li>• Tentaram explicar as palavras entre si, ou seja, tentaram construir um texto com as palavras do mapa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos tentaram atribuir significados às palavras;</li> </ul> <p>Tentaram explicar as palavras entre si, ou seja, tentaram construir um texto com as palavras do mapa.</p>
Questionário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectou-se nas respostas forte influência das palavras recebidas para a construção do Mapa Livre.</li> <li>• Unânicos que o Laser faz parte da FM.</li> <li>• Todos os grupos dão exemplo apenas de FC percebidos no dia a dia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectou-se que o conhecimento sobre Laser era vago e não correspondia à explicação aceita pela comunidade científica naquele momento.</li> <li>• Unânicos que o Laser faz parte da FM.</li> <li>• De oito grupos, apenas um dá exemplos de FM percebidos no dia a dia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectou-se que o conhecimento sobre Laser era vago e não correspondia à explicação aceita pela comunidade científica naquele momento.</li> <li>• Onze grupos reconheceram o Laser como aplicação da FM, e, um grupo reconheceu como aplicação da FC.</li> </ul>

<p>Leitura e destaque das palavras não compreendidas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revelou o distanciamento do vocabulário entre os textos de divulgação científica e os alunos do EM, da mesma forma o vocabulário do professor e do aluno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revelou o distanciamento do vocabulário entre os textos de divulgação científica e os alunos do EM, da mesma forma o vocabulário do professor e do aluno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revelou o distanciamento do vocabulário entre os textos de divulgação científica e os alunos do EM, da mesma forma o vocabulário do professor e do aluno.</li> </ul>
<p>Aprofundamento dos Conhecimentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulas participativas e dinâmicas, pois o ponto de partida da aula eram os conhecimentos prévios da turma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulas participativas e dinâmicas, pois o ponto de partida da aula eram os conhecimentos prévios da turma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulas participativas e dinâmicas, pois o ponto de partida da aula eram os conhecimentos prévios da turma.</li> </ul>
<p>Releitura do Texto e construção de esquema/resumo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maioria das palavras destacadas nos esquemas/resumos coincidiam com as palavras que os alunos desconheciam o significado, na etapa II.2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesmo as palavras que não faziam parte do vocabulário dos alunos num primeiro momento (etapa II.2), tornaram-se significativas de tal maneira que todos os alunos destacaram em seus resumos/esquemas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesmo as palavras que não faziam parte do vocabulário dos alunos num primeiro momento (etapa II.2), tornaram-se significativas de tal maneira que todos os alunos destacaram em seus resumos/esquemas.</li> </ul>
<p>Pesquisa e apresentação de uma aplicação do laser</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os grupos se envolveram muito na atividade.</li> <li>• A maioria dos grupos escolheu temas da área médica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os grupos se envolveram muito na atividade.</li> <li>• A maioria dos grupos escolheu temas da área médica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alguns grupos não se envolveram muito na atividade.</li> <li>• A maioria dos grupos escolheu temas da área médica.</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Mapas Conceituais*</p> <p>*Usa-se como parâmetro de comparação os mapas livres de cada grupo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos se envolveram muito na atividade.</li> <li>• Todos os mapas conceituais tornaram-se mais interligados e a maioria acrescentou conectores e o tema da pesquisa da aplicação do laser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos se envolveram muito na atividade.</li> <li>• Todos os mapas conceituais da Turma Info-1A-2013 tornaram-se mais interligados.</li> <li>• Apenas um grupo da turma Info-1B-2013 tornou o mapa conceitual mais interligado.</li> <li>• Nenhum grupo acrescentou conectores.</li> <li>• Apenas um grupo acrescentou o tema da pesquisa da aplicação do laser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos se envolveram muito na atividade.</li> <li>• A maioria dos mapas conceituais tornou-se mais interligados.</li> <li>• Nenhum grupo acrescentou conectores e ou conceitos.</li> </ul>
--	--	---	--

<p>Avaliação Somativa Individual</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maioria dos alunos obteve nota igual ou superior a 7,0.</li> <li>• Avaliou-se que a maioria dos alunos envolveu-se na pesquisa de aplicações do laser.</li> <li>• Os alunos destacam a UEPS como um meio facilitador da aprendizagem.</li> <li>• A UEPS tornou-se um agente motivador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maioria dos alunos obteve nota igual ou superior a 7,0.</li> <li>• Avaliou-se que todos os alunos envolveram-se na pesquisa de aplicações do laser.</li> <li>• Os alunos destacam a UEPS como um meio facilitador da aprendizagem.</li> <li>• O conteúdo da UEPS é difícil.</li> <li>• Três alunos não responderam a questão 6 que envolvia conhecimentos matemáticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maioria dos alunos obteve nota igual ou superior a 7,0.</li> <li>• Avaliou-se que a maioria dos alunos envolveu-se na pesquisa de aplicações do laser.</li> <li>• Os alunos destacam a UEPS como um meio facilitador da aprendizagem, bem como, os trabalhos realizados em grupo.</li> <li>• O conteúdo da UEPS é difícil.</li> <li>• Dos 58 alunos que realizaram a avaliação apenas 10 responderam a questão 6 corretamente e 24 alunos não responderam a questão.</li> </ul>
<p>Aula Expositiva Dialogada Integradora Final</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos participaram da atividade à todo momento, acrescentando explicações e relatos de como pensavam e como entenderam o conteúdo.</li> <li>• Os alunos estavam motivados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos participaram da atividade relatando como se desenvolveu o processo de aprendizagem e como se envolveram nas atividades.</li> <li>• Os alunos estavam motivados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos participaram da atividade à todo momento, acrescentando explicações e relatos de como pensavam e como entenderam o conteúdo.</li> <li>• Consideram as atividades dos mapas e em grupo como positivas.</li> <li>• Os alunos estavam motivados.</li> </ul>

## Capítulo 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho insere-se numa ampla discussão sobre mudança curricular no Ensino de Física, que vem sendo desenvolvida já há muito tempo, por professores, pesquisadores, alunos, e também, abordada pelas políticas públicas (PCNs, PCN<sup>+</sup>, Orientações Curriculares para o EM, entre outras). Algumas mudanças vêm ocorrendo: a Universidade Federal de Santa Maria inclui tópicos de FMC no processo seletivo para cursos superiores, alguns livros didáticos abordam o tema, insere-se o mesmo no currículo do Ensino Médio do Instituto Federal Farroupilha, entre outras.

Este trabalho de pesquisa qualitativa realizada com base principalmente na Teoria da Aprendizagem de Ausubel inseriu tópicos de Física Moderna e Contemporânea em 7 turmas do 1º ano do Ensino Médio com o uso de uma UEPS com o tema Laser de Rubi.

As considerações finais também foram discutidas na sequência da UEPS Laser de Rubi. Assim, na perspectiva ausubeliana, a Aprendizagem Significativa ocorre quando a nova informação ancora-se interativamente aos subsunçores do aprendiz. O principal desafio para a pesquisadora seria fazer o público-alvo da pesquisa externalizar subsunçores ou os conhecimentos prévios. Para isso, foram elaboradas três atividades na UEPS: a construção de um mapa livre, um questionário (Apêndice B, p. 158), e a leitura do texto “*Os Fundamentos da Luz Laser*” (Anexo I, p.154), com destaque das palavras não compreendidas pelos participantes. Isso porque conhecimentos prévios dos alunos seria o ponto de partida da pesquisa. Com essas atividades propostas considerou-se relevante:

- o gosto dos alunos em realizar atividades em grupo, em trocar significados, ideias com seus colegas;
- ao construir o mapa livre os alunos tentaram atribuir significados às palavras, explicaram entre elas e negociaram com os colegas as suas posições;
- a filmagem das explicações dos mapas livres foi uma ferramenta eficaz para detectar conhecimentos prévios;

- no uso do questionário em grupo os alunos negociaram com os colegas as respostas e foi percebido o engrandecimento do diálogo ao longo do tempo;
- especificamente o questionário refletiu que os alunos: (a) possuíam conhecimentos vagos especificamente sobre Laser; (b) mesmo relatando que tanto a Física Moderna quanto a Física Clássica estão presentes no seu dia a dia, a maioria dos alunos exemplificou as implicações da Física com grandezas físicas da Cinemática e Dinâmica, demonstrando que seus conhecimentos de conceitos físicos ainda era limitado;
- a leitura e destaque das palavras que os alunos não compreendiam o significados refletia: (a) o distanciamento entre o texto de divulgação científica e o vocabulário dos alunos envolvidos na pesquisa; (b) o distanciamento que o vocabulário do professor pode provocar entre professor e aluno;
- de modo geral, as três atividades propostas foram eficazes para que os alunos externalizassem conhecimentos prévios.

Com o uso dos conhecimentos prévios foi formalizada abordagens dos conhecimentos de Física envolvidos na UEPS Laser de Rubi. Nesta etapa da pesquisa observou-se que as aulas expositivas e dialogadas foram participativas e de certa maneira, foram empolgantes. Acredita-se que este fato se deve a:

- os alunos sentiam que seus conhecimentos eram valorizados, pois o professor acrescentava em suas explicações os conhecimentos prévios da turma, ou seja, fazia menção as respostas obtidas com o questionário, trechos das filmagens do mapa livre e retomava as palavras do texto que os alunos não compreendiam o significado;
- as aulas tornaram-se dinâmicas, pois os alunos participavam e sentiram-se capazes de contribuir com a aprendizagem do grupo;
- a utilização dos princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora na formalização dos conhecimentos foi eficaz.

Os alunos realizaram na sequência da UEPS a releitura do texto “ *Os Fundamentos da Luz Laser*” (Anexo I, p.154) e criaram um resumo ou esquema. Nessa atividade percebeu-se que:

- ao reler, os alunos compreendiam melhor o texto;
- a releitura também foi utilizada com base no princípio da reconciliação integradora;

- os alunos apresentaram em seus resumos ou esquemas as palavras que não faziam parte do seu vocabulário e as palavras que receberam para construir o mapa livre, e esta poderia ser uma evidência de aprendizagem significativa.

Com a atividade de pesquisa e apresentação de alguma aplicação do laser percebeu-se que:

- no projeto-piloto os alunos se empenharam, pesquisaram e fizeram boas apresentações, de tal forma, que a pesquisadora percebeu que os alunos haviam estudado;
- nas turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 houve a mesma percepção;
- nas turmas Agro-1A, Agro-1B e Agro-1C a pesquisadora percebeu um menor empenho, porém, todos os grupos apresentaram aplicações;
- a maioria dos temas dos trabalhos foi da área da Medicina, esta era a realidade vivenciada pelos alunos, ou por algum conhecido, sendo relatados casos de tratamento;
- nas turmas de Informática, percebeu-se um direcionamento dos temas para a área de informática, isto também deve-se ao contexto vivenciado pelo aluno.

A avaliação somativa individual foi proposta para que a pesquisadora pudesse verificar a aprendizagem individual do público-alvo da pesquisa. Verificou-se que a maioria dos alunos teve aproveitamento acima de 70% na avaliação. Atenta-se que:

- na questão 1 obteve-se respostas: correta para 47 alunos, parcialmente correta  $\frac{3}{4}$  para 14 alunos, parcialmente correta  $\frac{1}{2}$  para 20 alunos, parcialmente correta  $\frac{1}{4}$  para 5 alunos, incorreta para 25 alunos e 3 alunos não responderam à questão;
- na questão 2 obteve-se 39 respostas corretas, 42 parcialmente corretas, 28 erradas e 5 alunos não responderam a questão;
- a questão 3 teve 57 respostas corretas, 31 parcialmente corretas, 22 incorretas e 4 alunos não responderam a questão;
- a questão 4 no estudo-piloto todos os alunos obtiveram a questão considerada correta, sendo que 22 alunos descreveram seu próprio trabalho e 2 alunos descreveram trabalhos de outros grupos; para as turmas Info-1A-2013 e Info-1B-2013 considerou-se 24 respostas consideradas corretas, ou seja, os alunos de cada grupo participaram efetivamente da elaboração do trabalho; para as turmas do Curso de Agropecuária considerou-se 42 respostas corretas, 12 parcialmente corretas e 4 respostas incorretas.

A atividade de pesquisa e apresentação de uma aplicação que envolvesse o tema Laser foi realizada com menor interesse nas turmas do Curso Técnico em Agropecuária Integrado e este fato justifica o resultado obtido nas respostas da questão 4;

- a questão 5 foi elaborada para que a pesquisadora obtivesse o retorno dos alunos quanto à metodologia de pesquisa adotada. Na perspectiva dos participantes da pesquisa: (a) ocorreu a aprendizagem dos conteúdos abordados na UEPS; (b) com relação à metodologia, a diversidade foi considerada um facilitador na aprendizagem; (c) a diversidade de metodologias motivou os alunos; (d) foi importante compartilhar significados com os colegas do grupo; (e) estimulou a autonomia intelectual.

Com os alunos do projeto-piloto a pesquisadora, com base na Teoria da Aprendizagem de Ausubel, que diz que o processo de aquisição da aprendizagem significativa não acaba com a aquisição de novos significados e sim é seguido pela retenção ou esquecimento. Assim, para verificar se ocorreu a retenção das novas informações adquiridas com a UEPS Laser de Rubi, aplicou-se um questionário após dez meses do término da UEPS. Com os resultados obtidos, considera-se que com a aplicação da UEPS Laser de Rubi em várias situações foram presenciadas evidências de aprendizagem significativa e, ainda, esta foi seguida pela retenção das novas informações.

Para os alunos contemplados na pesquisa em 2013, foi acrescentada a questão 6 na avaliação somativa individual. Para as turmas do Curso Técnico em Informática considerou-se 6 respostas corretas, parcialmente corretas 2/3 para 15 alunos, 3 alunos não fizeram a questão e nenhum aluno errou a questão 6. Para as turmas do Curso Técnico em Agropecuária considerou-se 10 respostas corretas, 2/3 corretas para 4 alunos, 1/3 correta para 13 alunos, 5 respostas incorretas e 26 alunos não responderam a questão. O resultado da questão 6 para as turmas envolvidas já era esperado considerando o perfil dos alunos dos cursos envolvidos. Os alunos possuem maiores dificuldades quando a abordagem do tema envolve a matemática, da mesma forma que os alunos criam uma barreira de resistência para as atividades que envolvam cálculos e isto está refletido no fato que 26 não tentaram resolver a questão 6.

Não há dúvidas que a atividade que os alunos mais gostaram de realizar foi a construção dos mapas. Durante a construção dos mapas livres foi detectado que:

- os alunos não sabiam o significado da maioria das palavras;
- pensavam que existia uma única maneira correta para montá-lo;

- preocupavam-se inicialmente se a atividade estava correta ou não, mesmo após ser esclarecido que a pesquisadora não estava avaliando em termos de certo e errado;
- gostaram da atividade;
- atribuíram suposições de significados às palavras;
- tentaram relacionar as palavras entre si.

Durante a construção dos mapas conceituais os alunos:

- perceberam que possuíam responsabilidade maior, pois já sabiam os significados das palavras;
- poucos grupos acrescentam conectores e outras palavras que pudessem estar envolvidas com o tema Laser de Rubi;
- atribuíram os significados de forma hierárquica e correta de acordo com a formalização do conhecimento;
- perceberam que todos os conceitos estão conectados.

Utilizando os critérios para a avaliação da UEPS pode-se concluir que ela foi positiva tanto como metodologia didática quanto em envolvimento, aproveitamento e aprendizagem. Assim, pode-se concluir que é possível inserir tópicos de Física Moderna e Contemporânea no primeiro ano do Ensino Médio e mais, que a metodologia da UEPS foi decisiva na execução do problema de pesquisa. Conforme já mencionado, não se obteve evidências conclusivas de aprendizagem significativa, mas certamente com as atividades desenvolvidas com a UEPS Laser de Rubi conseguiu-se aumentar a predisposição dos alunos para aprender nas aulas de Física.

A pesquisa foi realizada com estudantes de primeiro ano do Ensino Médio e utilizou uma metodologia diferenciada. Mas se tivesse sido feita com alunos de segundo ou terceiro ano, é provável que os resultados tivessem sido semelhantes, a menos que a não inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) viesse a desmotivar os alunos.

Acreditamos que o principal resultado desta pesquisa foi mostrar, com registros e dados, que é possível ensinar tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e que os alunos se motivam, se interessam pela Física quando participam efetivamente do processo ensino-aprendizagem.

Infelizmente, saindo da pesquisa e passando à realidade da escola contemporânea a situação é outra: a Física ensinada vai até aquela do século XIX, centrada basicamente na Mecânica de Newton; a didática é do tipo aulas teóricas e listas de exercícios, centrada no docente e não no aluno; o que vale é a resposta correta, não o questionamento, a pergunta. O resultado é conhecido: os alunos decoram as equações, as respostas corretas, e não gostam de Física. Além disso, a quantidade de aulas de Física, por semana, é cada vez menor com tendência a se reduzir a zero se ocorrer a implementação das chamadas Ciências da Natureza no Ensino Médio.

Esta situação tem que ser revertida. A Física é a base da tecnologia e a sociedade de hoje é altamente tecnológica. A integração da Física com a Química e a Biologia é importante, mas considerar que é um único campo é um erro epistemológico e psicológico. Física, Química e Biologia são epistemologicamente diferentes e sua aprendizagem é também distinta. Esperamos que este trabalho de tese possa contribuir para que professores de Física, pesquisadores em Ensino de Física e “desenhadores” de currículo repensem e revalorizem a Física no Ensino Médio.

## 7. REFERÊNCIAS

ADBO, K. e TABER, K. Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, V(31)6, pp. 757-786, 2009.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I.M. Alguns Consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividade especial en el nivel médio y polimodal. *Ciência & Educação*, V(8)1, pp. 55-69, 2002.

ARRIASSECQ, I. e GRECA, I. M. Enseñanza de la teoría de la relatividade especial em el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, V(3)2, pp. 211-227, 2004.

ARRIASSECQ, I; GRECA, I.M. Intrucción de la Teoría de la Relatividad Especial en el Nivel Medio/Polimodal de Enseñanza: identificación de teoremas – en – acto y determinación de objetivos-obstáculos. *Investigações em Ensino de Ciências*, V(11)2, pp. 189-218, 2006.

ARRUDA, S.M. e FILHO, D.O.T. Laboratório Caseiro de Física Moderna. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(21) edição especial, pp. 390-395, 2004.

AUSUBEL, D.P. The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view. *Kluwer Academic Publishers*, pp. 1-226, 2000.

BAGNATO, V.S. Os Fundamentos da Luz Laser. *Física na Escola*, V(2)2, pp. 4-9, 2001.

BROCKINGTON, G., PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?. *Investigações em Ensino de Ciências*, V(10)3, pp. 387-404, 2005.

CARDOSO, S.O.O. e DICKMAN, A.G. Simulação computacional aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(29)Especial 2, pp. 891-934, 2012.

CARUSO, F. e FREITAS, N. Física Moderna no Ensino Médio: O Espaço-Tempo de Einstein em Tirinhas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(26)2, pp. 355-366, 2009.

CAVALCANTE, M.A. e TAVOLARO, C.R.C. Uma oficina de Física moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(21) edição especial, pp. 372-389, 2004.

DIMITRIADI, K. e HALKIA, K. Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. *International Journal of Science Education*, V(34)15, pp. 2565-2582, 2012.

DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(34)2, pp. 2502-2502-7, 2012.

FANARO, M.A., ARLEGO, M. e OTERO, M.R. El Método de Caminos Múltiples de Feynman como referencia para introducir los conceptos fundamentales de la Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(24)2, pp. 233-260, 2007.

FANARO, M.A.; OTERO, M.R. Teoremas en acto y situaciones de Mecánica Cuántica en la Escuela Media. *Latin-American Journal of Physics Education*, V(3)2, pp. 307-323, 2009.

GOWIN, D.B. *Educating*. Ithaca: NY, Cornell University Press. 210p. 1981.

GUERRA, A., BRAGA, M. e REIS, J.C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(29)4, pp. 575-583, 2007.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. e WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Traduzido por Flávio Menezes de Aguiar e José Wellington Rocha Tabosa. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HILGER, T.R.; MOREIRA, M.A. A study of social representations of quantum physics held by high school students through numerical and written word association tests. *Revista Eletrônica de Investigación en Educación en Ciencias*, V(8)1, pp. 52-61, 2012.

JOHNSON-LAIRD, P.N. *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 513p., 1983.

KALKANIS, G., HADZIDAKI, P., STAVROU, D. An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts. *Science Education*, Section Learning, V(87)2, pp. 257-280, 2003.

KARAM, R.A.S., CRUZ, S.M.S.C.S. e COIMBRA, D. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(28)3, pp. 373-386, 2006.

KARAM, R.A.S., CRUZ, S.M.S.C.S. e COIMBRA, D. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(29)1, pp. 105-114, 2007.

KE, J.L., MONK, M. e DUSCHL, R., D. Learning Introductory Quantum Physics: Sensorimotor experiences and mental models. *International Journal of Science Education*, V(27)13, pp. 1595-1620, 2005.

KÖHNLEIN, J.F.K. e PEDUZZI, L.O.Q. Uma discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(22)1, pp. 36-70, 2005.

LEITE, I.S., LOURENÇO, A.B., LICIO, J.G. e HERNANDES, A.C. Uso do método cooperativo de aprendizagem Jigsaw adaptado ao ensino de nanociência e nanotecnologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(35)4, pp. 4504-4504-7, 2013.

LOBATO, T.; GRECA, I.M. Análise da Inserção de Conteúdos de Teoria Quântica nos Currículos de Física do Ensino Médio. *Ciência & Educação*, V(11)1, pp. 119-132, 2005.

MACHADO, D.I. e NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(28)4, pp. 473-485, 2006.

MACHADO, D.I. e NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, V(6)1, pp. 90-116, 2007.

MELHORATO, R.L. e NICOLI, G.T. Da física clássica à moderna: o simples toque de uma sirene. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(34)3, pp. 3311-3311-4, 2012.

MORAIS, A. e GUERRA, A. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(35)1, pp. 1502-1502-9, 2013.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.F.S. *Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro, pp. 1-111, 2001.

MOREIRA, M., *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2004.

MOREIRA, M. A. . Por qué conceptos? Por qué aprendizaje significativo? Por qué actividades colaborativas? Por qué mapas conceptuales?. *Curriculum (La Laguna)*, v. 23, p. 9-23, 2010.

MOREIRA, M.A., *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, pp. 1-242, 2011b.

MOREIRA, M.A., Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, V(1)2, pp. 43-63, 2011.

MORENO, H., GUARÍN, E.D. Nociones cuánticas em la escuela secundaria: Un estudio de caso. *Latin-American Journal of Physics Education*, V(4)3, pp.669-676, 2010.

MONTEIRO, M.A.; NARDI, R.; FILHO, J.B.B. A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Ciência & Educação*, V(15)3, pp. 557-580, 2009.

MONTEIRO, A.M.; NARDI, R.; FILHO, J.B.B. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, V(8)1, pp. 1-13, 2012.

NETO, R.A.C., JÚNIOR, O.F., SILVA, J.L.P.B. Improving student's meaningful learning on the predictive nature of Quantum Mechanics. *Investigações em Ensino de Ciências*, V(14)1, pp. 65-81, 2009.

NOVAK, J.D. *Aprender criar e utilizar o conhecimento*. Plátano Edições Técnicas, Lisboa, (2000).

OLIVEIRA, F.F. de, VIANNA, D.M. e GERBASSI, R.S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(29)3, pp. 447-454, 2007.

OLSEN, R.V. Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education*, V(24)6, pp. 565-574, 2002.

OSTERMANN, F. e RICCI, T.F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(19)2, pp.176-190, 2002.

OSTERMANN, F. e RICCI, T.F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(21)1, pp.83-102, 2004.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Updating the physics curriculum in high schools: a teaching unit about superconductivity. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, V(3)2, pp. 190-201, 2004.

OTERO, M.R; FANARO, M.A.; ARLEGO, M. Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física en la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, V(4)1, pp. 58-74, 2009.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D.B.; DENARDIN, J.C. e MAGNAGO, P.R. *Cadernos de Física: Cinemática & Dinâmica*. GEF- Grupo de Ensino de Física, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, pp. 1-78, 2010.

PEDUZZI, L.O.Q. e BASSO, A.C. Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(27)5, pp. 545-557, 2005.

PEREIRA, A.P., OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em Ensino de Ciências*, V(14)3, pp. 393-420, 2009.

RODRIGUES, C.M., SAUERWEIN, I.P.S. Ensino de Ciências: Desafios para o Ensino Médio. *Latin-American Journal of Physics Education*, V(5)4, pp.746-752, 2011.

ROSADO, L. y CARMONA, A.G. Razones didácticas y epistemológicas de la introducción de nociones de física de semicondutores en Educación Secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, V(4)3, pp. 1-13, 2005.

SALES, G.L., VASCONCELOS, F.H.L., FILHO, J.A. de C. e PEQUENO, M.C. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V(30)3, pp. 3500-1 – 3500-12, 2008.

SANTOS, R.P.B. Relatividade Restrita com o auxílio de diagramas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(23)2, pp. 238-246, 2006.

SCHITTLER, D. e MOREIRA, M.A. Laser de rubi: uma abordagem baseada em unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS). *Latin-American Journal of Physics Education*, V(8), pp. 263-273, 2014.

SILVA, A.C. da e ALMEIDA, M.J.P.M. de, Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(28)3, pp.624-652, 2011.

SILVA, L.F. e ASSIS, A. Física Moderna no Ensino de Física: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(29)2, pp. 313-324, 2012.

SOUZA, M.A.M, Fenomenologia Nuclear: uma proposta conceitual para o Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(27)1, pp. 136-158, 2010.

TSAPARLIS, G. e PAPAPHOTIS, G. High-schools Students' Conceptual Difficulties and Attempts at Conceptual Change: The case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, V(31)7, pp. 895-930, 2009.

VALADARES, E.C. e MOREIRA, A.M. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: eleito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V(21) edição especial, pp. 359-372, 2004.

VELENTZAS, A. e HALKIA, K. The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, V(35)18, pp. 3026-3049, 2013.

VERGNAUD, G. *La théorie des champs conceptuelles. Recherches en Didactique des Mathématiques*, V(10)23, pp. 133-170,1990.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, V(17)2, pp. 167-187, 1998.

ZOLLMAN, D.A., REBELLO, N.S. e, HOGG, K. Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology. *American Journal of Physics*, V(70)3, pp. 252-259, 2002.

## APÊNDICE A

### PROPOSTA DE UEPS PARA O ENSINO DO TÓPICO LASER DE RUBI PARA ALUNOS DO PRIMEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO

Daniela Schittler

**Objetivo:** introduzir e facilitar a aquisição de significados de conceitos fundamentais de Física Clássica e Moderna no Primeiro Ano do Ensino Médio – *conservação do momento angular, quantização de energia, modelo do átomo de Bohr, inversão de população, diagramas de energia, laser e laser de rubi.*

#### Sequência

##### 1. Situação inicial

Os alunos, em grupo, serão incentivados a elaborar um mapa livre sobre os tópicos que serão trabalhados. No mapa livre o sujeito tem liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições, a partir de palavras-chaves distribuídas pelo professor. Cada aluno receberá fichas com as seguintes palavras – Física – Princípio da Conservação do Momento Angular – Quantização de Energia – Modelo do Átomo de Bohr – Inversão de População – Diagramas de Energia – Laser – Laser de Rubi - Inovações – Cirurgias – Canetas. As fichas terão de ser ordenadas para a construção do mapa livre na forma de cartaz e os grupos poderão acrescentar conectores entre as fichas que irão formar o mapa livre. Cada grupo após a confecção do mapa livre deverá filmar sua explicação em locais diferentes para não interferir nas explicações dos outros grupos. O mapa livre confeccionado e a filmagem deverão ser entregues à professora. A atividade envolverá duas horas-aula.

##### 2. Situações-problema iniciais

Os alunos, em grupo, responderão ao questionário que segue.

(a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre laser?

- (b) Esta aplicação da Física envolve a Física Clássica ou a Física Moderna?
- (c) Qual das Físicas citadas na pergunta anterior você estuda no Ensino Médio?
- (d) De qual das Físicas citadas na pergunta anterior você percebe implicações na sua vida?
- (e) Dê alguns exemplos de implicações físicas do seu dia a dia.

Todas as questões/situações deverão ser discutidas e registradas pelo grupo em uma folha a ser entregue à professora. No segundo momento, os alunos terão de expor suas discussões ao grande grupo. A professora terá o papel de mediadora das discussões com a intenção de ouvir a opinião dos grupos e estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final.

A seguir cada grupo receberá uma cópia do texto **Os Fundamentos da Luz Laser**, de Vanderlei S. Bagnato, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001. O texto será lido coletivamente e cada grupo destacará as palavras que eles não compreendem o significado. Os alunos citam as palavras destacadas e assim, forma-se uma lista no quadro. Esta atividade terá a duração de 2 horas-aula.

### 3. Aprofundando conhecimentos

Nesse momento, serão trabalhados os conhecimentos prévios detectados nas filmagens das explicações dos mapas livres e os conceitos colocados em evidência durante a leitura do texto de forma ordenada e sistemática. Os conceitos a serem trabalhados são quantização de energia, modelo do átomo de Bohr, diagramas de Energia, inversão de população, laser e laser de Rubi. Estes conceitos serão trabalhados através de filmes, slides, material disponível na internet, texto de apoio do Grupo de Ensino da Física – GEF da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e aulas expositivas e dialogadas, sendo os alunos sempre estimulados a participar de todas as discussões. Ao final desta etapa, os alunos retomam o texto **Os Fundamentos da Luz Laser**, de Vanderlei S. Bagnato, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001 e, fazem um esquema do texto ou o

resumo do mesmo para melhor entendê-lo. A etapa será desenvolvida em aproximadamente 6 horas-aula.

#### **4. Nova situação-problema**

Os alunos em grupo deverão pesquisar uma aplicação do Laser e apresentar aos colegas em um tempo pré-determinado. O tempo determinado vai depender do número de grupos formados em cada turma envolvida. A pesquisa e a confecção do material para a apresentação será realizada como tarefa de casa. O grupo construirá um mapa conceitual dos conceitos envolvidos na UEPS. Para isso, uma breve explicação sobre mapas conceituais e alguns exemplos serão apresentados pela professora. Novamente os grupos deverão entregar para a professora o vídeo da explicação e o mapa conceitual para avaliação. Esta atividade ocupará 1 hora-aula.

#### **5. Avaliação somativa individual**

Para a realização da Avaliação Somativa Individual serão propostas aos alunos questões abertas nas quais eles possam expressar livremente sua compreensão de Laser de Rubi. Esta atividade está programada de forma a evidenciar a aprendizagem significativa. Os alunos serão avisados com antecedência e a atividade ocupará 1 hora-aula.

#### **6. Aula expositiva dialogada integradora final**

Nessa aula a professora retomará os conceitos através de um mapa conceitual e de um diagrama Vê do artigo apresentado em aula **Os Fundamentos da Luz Laser**, de Vanderlei S. Bagnato, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001. Salientando a importância do Laser, sua utilização, seus benefícios e seus malefícios, recordando as explicações de cada grupo. Este momento necessitará de 1 hora-aula.

## **7. Avaliação da aprendizagem da UEPS**

A avaliação será baseada nos trabalhos feitos em sala de aula: mapa livre X mapa conceitual (avaliando o crescimento do grupo), a apresentação da aplicação do Laser, material confeccionado para a apresentação, o mapa conceitual final, a avaliação somativa individual, o envolvimento do grupo e do aluno.

## **8. Avaliação da própria UEPS**

A professora irá avaliar a forma em que foi abordado o tema Laser de Rubi em função de seus resultados e, se necessário, reformulará algumas atividades.

Total de horas-aula: 16

## APÊNDICE B

	<p>AVALIAÇÃO DE FÍSICA - Turma: Integrado Informática - Grupo vermelho Professora : Daniela Schittler</p> <p>Nome: _____</p>
---	--

Com base em seus conhecimentos responda:

- (a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre laser?
- (b) Esta aplicação da Física envolve a Física Clássica ou a Física Moderna?
- (c) Qual das Físicas citadas na pergunta anterior você estuda no Ensino Médio?
- (d) De qual das Físicas citadas na pergunta anterior você percebe implicações na sua vida?
- (e) Dê alguns exemplos de implicações físicas do seu dia a dia.

## APÊNDICE C

### **Aulas 01 e 02: Situação Inicial**

#### **Duração**

Duas horas aula de cinquenta minutos.

#### **Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão ter construído um mapa livre.

#### **Conteúdos**

Conhecimentos prévios do conteúdo a ser desenvolvido na UEPS.

#### **Recursos**

Fichas contendo as palavras: Física – Princípio da Conservação do Momento Angular – Quantização de Energia – Modelo do Átomo de Bohr – Inversão de População – Diagramas de Energia – Laser – Laser de Rubi - Inovações – Cirurgias – Canetas;  
Cartolinas;  
Canetões;  
Colas;  
Réguas.

#### **Metodologia**

Mapa Livre.

#### **Desenvolvimento**

A turma será dividida em grupos sendo a escolha livre. Após a formação dos grupos a professora sorteia as cores de cada grupo, sendo a cor utilizada para a identificação de cada grupo. Na sequência os alunos receberão seus envelopes com a respectiva cor contendo as fichas com as palavras-chaves: Física – Princípio da Conservação do Momento Angular – Quantização de Energia – Modelo do Átomo de Bohr – Inversão de População – Diagramas de Energia – Laser – Laser de Rubi - Inovações – Cirurgias – Canetas.

Os grupos serão incentivados a elaborar um mapa livre sobre os tópicos que serão trabalhados. No mapa livre o aluno terá liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições, a partir de palavras-chaves distribuídas pelo professor. As fichas terão de ser ordenadas para a construção do mapa livre na forma de cartaz e os grupos poderão acrescentar conectores entre as fichas que irão formar o mapa.

A professora orientará aos alunos que neste momento os grupos não serão avaliados em certo ou errado e, sim que esta atividade será desenvolvida para detectar seus conhecimentos prévios. Os alunos também são orientados para não utilizar a *internet* para pesquisar o significado das palavras-chaves recebida.

---

### **Aula 03: Situação problema inicial 1**

#### **Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos em grupos deverão ter respondido o questionário.

**Conteúdos**

Conhecimentos prévios do conteúdo a ser desenvolvido na UEPS.

**Recursos**

Questionário;  
Lápis e borracha.

**Metodologia**

Atividade em grupo: questionário.

**Desenvolvimento**

A professora entrega para os grupos um questionário para ser respondido. O questionário contém cinco questões que segue.

O que você já leu, ouviu, ou viu sobre laser?

Esta aplicação da física envolve a Física Clássica ou a Física Moderna?

Qual das Físicas citadas na pergunta anterior você estuda no Ensino Médio?

De qual das Físicas citadas na pergunta anterior você percebe implicações na sua vida?

Dê alguns exemplos de implicações físicas do seu dia a dia.

Todas as questões/situações deverão ser discutidas e registradas pelo grupo na folha a ser devolvida para a professora. No segundo momento, os alunos terão de expor suas discussões ao grande grupo. A professora terá o papel de mediadora das discussões com a intenção de ouvir a opinião dos grupos e estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final.

---

**Aula 04 e 05: Situação problema inicial 2****Duração**

Duas horas aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos em grupos deverão ter lido o texto proposto e destacado as palavras não compreendidas.

**Conteúdos**

Conhecimentos prévios do conteúdo a ser desenvolvido na UEPS.

**Recursos**

Cópia do texto a ser lido;  
Quadro branco e canetas.

**Metodologia**

Atividade em grupo: leitura dinâmica.

### **Desenvolvimento**

Cada grupo receberá cópias do texto OS FUNDAMENTOS DA LUZ LASER, publicado na Revista Física na Escola, volume 2, número 2, ano 2001. O texto será lido coletivamente e cada grupo destacará as palavras do texto que não compreendidas.

Após a leitura, a professora indaga cada grupo para que citem as palavras destacadas e assim, forma-se uma lista no quadro. Com essa atividade os alunos visualizam as dúvidas comuns de cada grupo e a professora detecta os conteúdos que deverão ser trabalhados.

---

### **Aula 06: Modelo do Átomo de Bohr**

#### **Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

#### **Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão: (1) compreender o Modelo Atômico de Bohr e seu contexto histórico-filosófico; e (2) compreender o processo do conhecimento científico.

#### **Conteúdos**

Modelo do átomo de Bohr.

#### **Recursos**

*Slides* construído pela professora (Apêndice D, p. 169);  
Filme de 40 s da Ampola de Crookes  
<https://www.youtube.com/watch?v=4g0tX6WcUvo>.

#### **Metodologia**

Aula expositiva e dialogada.

### **Desenvolvimento**

A professora com o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos inicia a aula com os *slides* sobre o Modelo Atômico de Bohr. A professora construiu o recurso de forma a tentar contemplar a história e a filosofia do tema. Os alunos são questionados em todo momento para incentivar a participação e tornar a aula de fato expositiva e dialogada. No final da aula é apresentado filme sobre a Ampola de Crookes e o explica durante e após sua execução.

---

### **Aula 07: Leis de Kepler**

#### **Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

#### **Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão compreender as Leis de Kepler e relacionar

o movimento dos planetas em torno do Sol com o movimento dos elétrons ao redor do núcleo.

### Conteúdos

Leis de Kepler.

### Recursos

Foto da posição dos planetas em torno do Sol.  
Quadro e giz.

### Metodologia

Aula expositiva e dialogada.  
Atividade em grupo.

### Desenvolvimento

A professora questiona os alunos: - Vocês lembram qual dos modelos atômicos foi chamado de modelo planetário? Existe relação entre o movimento dos planetas e dos elétrons? O que seria a Astronomia Convencional (palavra destacada por alguns grupos na atividade da aula 04)?

Com as respostas dos alunos a professora constrói com os alunos as respostas. Na sequência, a professora escreve no quadro a 1ª Lei de Kepler: “Num referencial fixo no Sol todos os planetas giram numa trajetória elíptica, sendo que o Sol ocupa um dos focos”. A professora lê para todos e questiona: - Será que podemos desenhar ou representar a 1ª Lei de Kepler? Como seria? Assim, a representação é construída no quadro. É necessário que os alunos sejam alertados que a elipse representada nos livros didáticos não ilustra a trajetória dos planetas, ou seja, a elipse é “quase um círculo”.

Questionar: - Existe diferença se o planeta girar em torno do Sol com uma trajetória elíptica ou com uma trajetória circular? Explicar que existe uma diferença que pode ser aplicada a partir da 2ª Lei de Kepler. A professora escreve no quadro a 2ª Lei de Kepler: O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais. A representação feita para ilustrar a 1ª Lei de Kepler é refeita para ilustrar a 2ª Lei de Kepler. Questionar: - Poderíamos desenhar, ou melhor, representar essa lei? Como? Quais são as implicações dessa lei na prática? Explicar que quanto mais próximo do Sol maior é a velocidade do planeta e quanto mais afastado do Sol menor é a sua velocidade. Um planeta ao se aproximar do Sol realiza um movimento acelerado e ao se afastar do Sol desacelerado.

Questionar: - O tempo gasto para um planeta dar uma volta completa é sempre o mesmo? Quando estudamos o Movimento Circular e Uniforme o tempo de uma volta completa foi chamado? Será que existe relação entre o tempo de uma volta completa (período) e a distância entre o planeta e o Sol (raio médio entre o afélio e o periélio)? Explicar que a relação existe e é a 3ª Lei de Kepler. Colocar no quadro a 3ª Lei de Kepler: “Os quadrados dos períodos de revolução (T) são proporcionais aos cubos das distâncias médias (a) do Sol aos planetas.  $T^2 = ka^3$ , onde k é uma constante de proporcionalidade”.

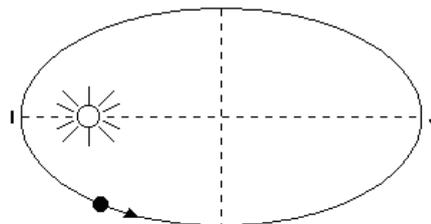
Propor aos alunos três exercícios para os alunos discutir em grupo. Discutir as resposta de cada grupo e conduzir as discussões para chegar na resposta correta.

1. (Mackenzie-SP) Dois satélites de um planeta têm períodos de revolução de 32 dias e 256 dias, respectivamente. Se o raio da órbita do primeiro satélite vale 1 unidade, então o raio da órbita do segundo será:

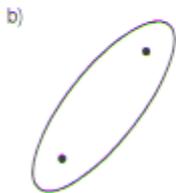
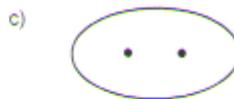
- a) 4 unidades;
- b) 8 unidades;
- c) 16 unidades;
- d) 64 unidades;
- e) 128 unidades.

2. (UFMG) A figura a seguir representa a órbita elíptica de um cometa em torno do sol. Com relação aos módulos das velocidades desse cometa nos pontos I e J,  $v_i$  e  $v_j$ , e aos módulos das acelerações nesses mesmos pontos,  $a_i$  e  $a_j$ , pode-se afirmar que

- a)  $v_i < v_j$  e  $a_i < a_j$
- b)  $v_i < v_j$  e  $a_i > a_j$
- c)  $v_i = v_j$  e  $a_i = a_j$
- d)  $v_i > v_j$  e  $a_i < a_j$
- e)  $v_i > v_j$  e  $a_i > a_j$



3. A primeira Lei de Kepler estabelece que, num referencial em relação ao qual o Sol está em repouso, a órbita da Terra é uma elipse com o Sol num dos focos. Se, nas figuras a seguir, os pontos representam os focos, a que melhor representa a órbita da Terra é:




---

## Aula 08 e 09: Momento Angular e Princípio da Conservação do Momento Angular

### Duração

Duas horas aula de cinquenta minutos.

### Objetivo

Ao final da aula, os alunos deverão: (i) compreender a grandeza física momento angular e o princípio da conservação do momento angular; (ii) relacionar o princípio da conservação do momento angular e a segunda Lei de Kepler; e (iii) relacionar o princípio da conservação do momento angular e o movimento dos elétrons ao redor do núcleo.

### Conteúdos

Momento Angular;  
Princípio da conservação do momento angular.

## Recursos

Um barbante, um refil de caneta e um mini-grampeador.  
Quadro e giz.

## Metodologia

Experimento de demonstração;  
Aula expositiva e dialogada.

## Desenvolvimento

A professora questiona os alunos: - Vocês lembram qual dos modelos atômicos foi chamado de modelo planetário? Existe relação entre o movimento dos planetas e dos elétrons? Qual a diferença entre o movimento planetário e o movimento dos elétrons ao redor do núcleo? Qual o tipo de movimento que os elétrons desenvolvem ao redor do núcleo? Nesse movimento que tipo de trajetória o ponto material desenvolve? E os elétrons? Se a trajetória é circular qual é o nome da força resultante do sistema ?

Com o diálogo estabelecido os alunos deverão concluir que:

9. Ao comparar o movimento dos planetas e dos elétrons existe um limite, são semelhantes em alguns aspectos e diferem por estarmos em escalas muito diferentes.
10. O movimento questionado é o movimento circular.
11. Estaremos novamente falando em grandezas escalares.
12. As forças envolvidas são a força centrípeta (retomar as suas principais características) e a força eletrostática (explicar as principais características).

A professora juntamente com os alunos compara as grandezas físicas lineares e angulares da mesma maneira como foi realizado na aula de movimento circular. Incluir na lista de comparação o momento linear e momento angular.

Os alunos são solicitados a enunciar os princípios da conservação da energia e do momento linear. A professora questiona: - Como poderíamos enunciar o princípio da conservação do momento angular? Na sequência a professora escreve no quadro o princípio da conservação do momento angular.

Para entender o princípio a professora monta o experimento: com barbante amarra-se o mini-grampeador e em seguida, passa-se o barbante dentro de um refil de caneta. A professora gira o mini-grampeador com o barbante em diferentes comprimentos. Os alunos são questionados: - O que podemos observar? Que conclusão podemos tirar desse experimento? Qual a ligação entre a demonstração feita e o assunto estudado? Os alunos deverão referir-se a segunda Lei de Kepler e o movimento dos elétrons.

A professora juntamente com os alunos retomam todos os assuntos envolvidos na aula de forma a promover a reconciliação integradora.

---

## **Aula 10: Quantização do Momento Angular, Quantização de Energia e Diagrama de Energia**

### **Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

### **Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão compreender a Quantização do Momento Angular e de Energia e como podemos representar a Quantização da Energia.

### **Conteúdos**

Hipóteses de Bohr;  
Momento Angular;  
Energia Total.

### **Recursos**

Quadro e giz.

### **Metodologia**

Aula expositiva e dialogada.

### **Desenvolvimento**

A professora inicia a aula questionando os alunos: - O que vocês lembram sobre o modelo do átomo de Bohr? Quais as hipóteses deste modelo? O que vocês entenderam sobre o Momento Angular?

A partir das respostas a professora retoma os conteúdos trabalhados anteriormente. Com a segunda hipótese de Bohr a professora relaciona a Quantização do momento Angular com o número quântico da órbita do elétron. A professora retoma os conteúdos e explica, por que é necessária a quantização do Momento Angular.

Segue-se a aula questionando: O que é energia? Vocês lembram como definimos energia nas aulas anteriores? Qual a equação que representa a energia mecânica total de um sistema isolado?

Com as respostas a professora retoma os conteúdos trabalhados anteriormente. Então a professora explica que, do mesmo modo que o momento angular foi quantizado também será necessário realizar a Quantização da energia do elétron. E questiona: A energia deve ou não ser quantizada? Por que? A professora retoma os conteúdos e explica, por que é necessária a quantização da Energia e calcula com os alunos os valores da energia para as quatro primeiras órbitas do elétron. Após, segue-se construindo o Diagrama de Níveis de Energia para o átomo de Hidrogênio.

Retoma-se novamente todo o conteúdo abordado neste período de aula com o uso de perguntas e das respostas dadas pelos alunos.

---

## **Aula11: Efeito LASER, Inversão de População e Laser de Rubi**

### **Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

### **Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão compreender o Efeito LASER, o significado e a importância da Inversão de População para a formação da luz laser e o caso específico do Laser de Rubi.

**Conteúdos**

LASER;  
Inversão de População.

**Recursos**

Quadro e giz.

**Metodologia**

Aula expositiva e dialogada.

**Desenvolvimento**

A professora recorda os alunos de algumas palavras destacadas por eles no texto lido. Assim, inicia a aula questionando: Vocês lembram o significado da palavra LASER? A professora argumenta, é uma palavra em que cada letra tem um significado. Lembram?

Com a ajuda dos alunos a professora define LASER e com a projeção do texto lido na Aula 04, retoma e explica os processos de Emissão Estimulada, Emissão Espontânea e Absorção espontânea.

Também, com a ajuda de algumas explicações dadas pelos alunos no momento da construção do Mapa Livre (Aulas 01 e 02), a professora questiona: O que será que significa Inversão de População? Que população é essa que o texto se refere?

Assim, com a ajuda dos alunos é definido Inversão de População e entendido a importância dela na produção da luz laser.

Questiona-se: o que vocês entendem por Laser de Rubi? Qual a cor do Rubi? E do Laser mais comum? Nesse momento, a professora explica o que é e como se forma o Laser de Rubi .

Novamente, retomam-se todos os conteúdos da aula com a ajuda dos alunos e quando necessário a professora interfere nas explicações dadas.

A professora solicita que os alunos façam um esquema ou resumo do texto *Os Fundamentos da Luz Laser* como tarefa de casa e que o mesmo seja entregue na próxima aula.

---

**Aula 12: Nova Situação Problema - Aplicações do Laser****Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão compreender as diversas aplicações da luz Laser apresentada pelos grupos.

**Conteúdos**

LASER.

**Recursos**

Data Show.

**Metodologia**

Apresentação em grupo.

**Desenvolvimento**

Os alunos em seus respectivos grupos deverão apresentar o trabalho realizado como tarefa de casa, ou seja, os alunos apresentam para a turma uma aplicação do laser.

---

**Aulas 13 e 14: Nova Situação-Problema – Construção do Mapa Conceitual**

**Duração**

Duas horas aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão ter construído um mapa conceitual.

**Conteúdos**

Conhecimentos prévios do conteúdo a ser desenvolvido na UEPS.

**Recursos**

Cartolinas;  
Canetões;  
Réguas.

**Metodologia**

Mapa Conceitual.

**Desenvolvimento**

Os alunos sentam em grupo para construir um mapa conceitual considerando os conhecimentos construídos durante a formalização dos conteúdos da UEPS.

---

**Aulas 15: Avaliação Somativa Individual**

**Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão ter realizado a Avaliação Somativa Individual.

**Conteúdos**

Conteúdos desenvolvidos na UEPS.

**Recursos**

Caneta;  
Lápis e borracha.

**Metodologia**

Avaliação Individual.

**Desenvolvimento**

Cada aluno receberá sua avaliação para ser realizada em um período de cinquenta minutos.

---

**Aulas 16: Aula Expositiva Dialogada Integradora Final****Duração**

Uma hora aula de cinquenta minutos.

**Objetivo**

Ao final da aula, os alunos deverão ter compreendido os conteúdos abordados com a UEPS Laser de Rubi.

**Conteúdos**

Conteúdos desenvolvidos na UEPS.

**Recursos**

Mapa Conceitual.

**Metodologia**

Aula expositiva e dialogada.

**Desenvolvimento**

A professora juntamente com os alunos retoma todos os conteúdos abordados na UEPS Laser de Rubi com o uso de um mapa conceitual construído pela turma. A todo o momento a professora questiona sobre o significado dos conceitos e suas ligações com os demais. Nessa aula a professora usa os princípios de reconciliação integradora e diferenciação progressiva para finalizar a aplicação da UEPS.

---

## APÊNDICE D

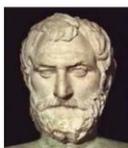
### Modelo Atômico de Bohr

O átomo e os Gregos  
O átomo de John Dalton  
O átomo de Thomson  
O átomo de Rutherford  
O átomo de Bohr

### O átomo e os gregos

A Natureza e a divisibilidade da matéria eram questões relevantes desde a Grécia antiga.

A questão era:  
Existe um elemento primordial da qual os objetos visíveis derivam?



#### Tales de Mileto (624-546 a.C.)

Foi o primeiro grego a lançar a ideia de elemento primordial.  
Elemento – água.



#### Anaxímedes de Mileto (570-478 a.C.)

Elemento – água.



#### Xenofones da Jônia (560-478 a.C.)

Elemento – terra.



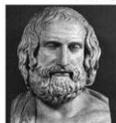
#### Heráclito de Éfeso (540-480 a.C.)

Elemento – fogo.

Corrente filosófica monista – acreditava que um “ente” seria responsável pela formação de toda a matéria existente.

Corrente filosófica Pluralismo – tenta explicar a matéria como uma porção única, subdividida em partes cada vez menores.

#### Anaxágoras de Clazomene (500-428 a.C.)



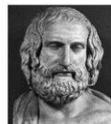
Princípio fundamental – o espírito formado por uma semente contendo outras menores infinitamente.

#### Empédocles de Akragas (490-431 a.C.)



O Universo formado pelos 4 elementos: terra, água, fogo e ar.  
Unidos ou separados por duas forças opostas: amor e ódio.

#### Aristóteles (384-322 a.C.)



O Universo é regido por 4 elementos essenciais: quente, frio, seco e úmido.  
Esses reunidos aos pares formavam os 4 elementos de Empédocles.

#### Outras influências

Influências Orientais – os chineses defendiam a formação do universo da corrente pluralista sendo os elementos básicos:

- Água, madeira, fogo, terra e metal.
- Governados pela dualidade YIN 阴 o YANG 阳.

Os hindus influenciados pela Grécia e Índia através da Pérsia acreditavam que o Universo é regido por 5 sentidos: éter-audição, ar-tato, fogo-visão, água-paladar e terra-olfato.

### Leucipo (460-370 a.C.)



Acreditava que o Universo era infinito formado por:

- Uma parte cheia (**partículas fundamentais**);
- Uma parte vazia (vácuo).

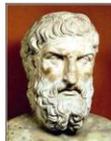
### Demócrito (470-380 a.C.)



Defendia que toda matéria era subdividida em átomos eternos e indestrutíveis, e que a diferença entre os átomos está na forma, tamanho e massa.

Chamou a partícula fundamental de Leucipo de átomo (do GREGO indivisível).

### Epicuro (341-270 a.C.)



Os átomos se movem com a velocidade do pensamento e o tamanho das partículas possuem um limite.

### John Dalton (1808)



Inicia-se o atomismo científico. Postulados:

1. "Toda matéria é composta por minúsculas partículas chamadas átomos".
2. "Os átomos de um determinado elemento são idênticos em massa e apresentam as mesmas propriedades químicas".
3. "Átomos de diferentes elementos apresentam massa e propriedades diferentes".
4. "Átomos são permanentes e indivisíveis, não podendo ser criados e nem destruídos".
5. "As reações químicas correspondem a uma reorganização de átomos".
6. "Os compostos são formados pela combinação de átomos de elementos diferentes em proporções fixas".

A conservação da massa durante uma reação química (Lei de Lavoisier) e a lei da composição definida (Lei de Proust) passou a ser explicada a partir desse momento, por meio das ideias lançadas por Dalton.

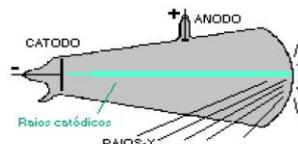


### Joseph John Thomson (1870)



Contribuições:

- William Crookes – ampolas de Crookes;
- Röntgen – raios-X;
- Thomson – elétrons.



Representação da ampola de Crookes.  
Assistir o vídeo.

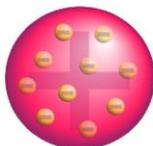
### Joseph John Thomson (1870)



As investigações por diversos cientistas contribuíram para seu modelo:

- O átomo é divisível;
- O elétron é a partícula fundamental de sua composição.

O Modelo **Pudim de Passas** resultou de experiências com a Ampola de Crookes.



O átomo seria formado por uma massa uniforme carregada positivamente suplementada por cargas esparsas carregadas negativamente.

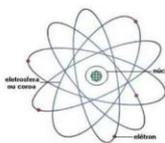
### Outras descobertas:

- Thomson descobriu o valor entre a carga e a massa do elétron;
- Robert Millikan (1909-1911): natureza elétrica, massa e carga do elétron;
- Eugen Goldstein (1886): raios anódicos com caráter positivo;
- Henri Becquerel, Pierre e Marie Curie (1896): elementos radioativos.



## Rutherford (1911)

Ernest Rutherford, Hans Geiger e Ernest Marsden a partir de 1901 estudavam o espalhamento de partículas  $\alpha$ .



### Modelo Planetário:

- Núcleo atômico com a maior parte da massa e carregado positivamente;
- Os elétrons orbitam em torno do núcleo.

O átomo proposto é estável?

## Outras descobertas:

- No início do século XX a Física sofre uma revolução – Mecânica Quântica.
- Max Planck em 1900 observou que a matéria aquecida ou resfriada, absorve ou emite energia térmica descontinuamente em “pequenas porções” – quantum.
- Max Planck descobre a constante de Planck.
- Albert Einstein em 1902 efeito fotoelétrico.

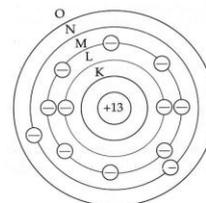


## Modelo Atômico de Bohr 1913

- 1- Um elétron em um átomo se move em órbita circular ao redor do núcleo sob a influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
- 2- O elétron se move apenas em órbitas especiais.
- 3- A energia total do elétron permanece constante. Isso ocorre porque o elétron que se move em uma órbita não emite radiação eletromagnética.
- 4- O átomo pode passar de um estado estacionário para outro por emissão ou por absorção de radiação eletromagnética.



## Modelo Atômico de Bohr 1913



Percebam como a ciência ou o conhecimento científico é construído!!!

## APÊNDICE E

	<p>AVALIAÇÃO DE FÍSICA - Turma: Integrado Informática - Grupo vermelho Professora : Daniela Schittler</p> <p>Nome: _____</p>
---	--

1. No texto, **Os Fundamentos da Luz Laser**, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001, encontra-se a seguinte frase:

*“Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico.”* Quais são estas propriedades especiais que o texto se refere.

---

---

---

2. De forma sucinta, descreva como se forma a **Luz Laser**.

---

---

---

---

---

3. Justifique o nome *Laser de Rubi*.

---

---

---

4. Com base nos trabalhos apresentados sobre as **aplicações da luz laser**, escolha um para descrever.

---

---

---

---

5. Avalie a sua aprendizagem e as aulas de Física desde a construção do mapa livre.

---

---

---

---

## APÊNDICE F

	<p>AVALIAÇÃO DE FÍSICA - Turma: Integrado Informática - Grupo vermelho Professora : Daniela Schittler</p> <p>Nome: _____</p>
---	--

1. No texto, **Os Fundamentos da Luz Laser**, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001, encontra-se a seguinte frase:

*“Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico.”* Quais são estas propriedades especiais que o texto se refere.

---

---

---

2. De forma sucinta, descreva como se forma a **Luz Laser**.

---

---

---

3. Justifique o nome *Laser de Rubi*.

---

---

---

4. O grupo lembra o tema **do seu** trabalho apresentado sobre as aplicações da luz laser? Descreva-o.

---

---

5. Avalie a sua aprendizagem e as aulas de Física desde a construção do mapa livre.

---

---

6. Escreva o que o grupo sentiu ao rever seus trabalhos. Que recordações vocês podem relatar?

---

---

---

7. Quando o grupo construiu seu mapa livre a ficha – “INVERSÃO DE POPULAÇÃO” gerou muita discussão. Vocês lembram o seu significado?

---

---

## APÊNDICE G

	<p>AVALIAÇÃO DE FÍSICA - Turma: Integrado Informática - Grupo vermelho Professora : Daniela Schittler</p> <p>Nome: _____</p>
---	--

1. No texto, **Os Fundamentos da Luz Laser**, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001, encontra-se a seguinte frase:

“*Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico.*” Quais são estas propriedades especiais que o texto se refere.

---

---

---

2. De forma sucinta, descreva como se forma a **Luz Laser**.

---

---

---

3. Justifique o nome *Laser de Rubi*.

---

---

---

4. Com base nos trabalhos apresentados sobre as **aplicações da luz laser**, descreva o seu trabalho .

---

---

---

5. Avalie a sua aprendizagem e as aulas de Física desde a construção do mapa livre.

---

---

---

6. Na aula, calculamos a energia total do sistema átomo de hidrogênio e encontramos a seguinte equação:

$$E_n = - \frac{13,54}{n^2} \text{ eV (elétron - Volt)}$$

(a) Qual a grandeza física representada por  $E_n$  ?

(b) Calcule os valores dos quatro primeiros níveis de energia do átomo de hidrogênio.

(c) Represente o diagrama dos níveis de energia que você calculou em (b).

	AVALIAÇÃO DE FÍSICA - Turma: Integrado Informática - Grupo vermelho Professora : Daniela Schittler
	Nome: _____

1. No texto, **Os Fundamentos da Luz Laser**, publicado na revista *Física na Escola*, volume 2, número 2, ano 2001, encontra-se a seguinte frase:

*“Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico.”* Quais são estas propriedades especiais que o texto se refere.

---



---



---

2. De forma sucinta, descreva como se forma a **Luz Laser**.

---



---



---

3. Justifique o nome *Laser de Rubi*.

---



---



---

4. Com base nos trabalhos apresentados sobre as **aplicações da luz laser**, descreva o **seu** trabalho .

---



---



---

5. Avalie a sua aprendizagem e as aulas de Física desde a construção do mapa livre.

---



---

6. Na aula, calculamos o raio das órbitas do átomo de hidrogênio e encontramos a seguinte equação:

$$R_n = 5,31 n^2 (x 10^{-11} \text{metros})$$

- (a) Qual a grandeza física que é representada por  $R_n$  ?
- (b) Calcule os valores dos quatro primeiros raios níveis de energia do átomo de hidrogênio.
- (c) Represente na forma de figura o átomo de hidrogênio e suas 4 órbitas calculadas em (b).



# Os Fundamentos da Luz

# Laser

Vanderlei S. Bagnato

Instituto de Física de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
C.P. 369, CEP 13560-970  
São Carlos - SP

## Introdução

A óptica é um campo dentro da física que lida não somente com a propagação da luz mas também com a produção da luz e, principalmente, com seus mecanismos de interação com a matéria. É difícil imaginar um campo da ciência onde a óptica não esteja presente. Para citar alguns exemplos, temos a **astronomia convencional**, que só existe devido ao fato dos corpos celestes emitirem luz ou refletirem a luz de outros, e que usa instrumentos ópticos para observações. A **engenharia** utiliza vastamente a óptica, seja por meio de instrumentos analíticos ou mesmo nas linhas de produção e controle de qualidade. Nas áreas ligadas à saúde, a óptica tem estado presente de forma bastante marcante.

A grande aplicabilidade da óptica hoje em dia deve-se, bastante, à existência do raio laser. Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico. Neste artigo queremos explicar como o laser funciona e como ele está conectado com as características básicas da matéria. De fato, antes da invenção do laser, a óptica se preocupava bastante com o desenvolvimento de ferramentas que possibilitassem produzir feixes de luz concentrados e que se propagassem por longas distâncias sem se dispersarem. Como veremos, o laser trouxe à óptica

tudo isto e muito mais.

## Conceitos Básicos para Entendermos o Laser: A Atomística

Para que seja possível entendermos o funcionamento do laser, é necessário antes esclarecermos alguns pontos fundamentais, tais como a estrutura atômica e a origem e propagação da luz. Depois disto, estaremos prontos para entender a física do raio laser.

A idéia do átomo não é nova. Os sábios antigos consideravam a idéia de uma porção fundamental de matéria. Imagine se tomarmos um bloco de

pedra e nele dermos uma martelada, de modo que se divida em muitos fragmentos. Tomamos agora o menor dos fragmentos e prosseguimos da mesma maneira. Chegaremos então em uma porção de rocha que não mais pode ser dividida, sem perder as propriedades básicas do material. Essa porção, os antigos chamavam de átomo.

Em torno de 1808, o cientista inglês John Dalton deu um caráter científico à idéia do átomo. As idéias de Dalton a respeito do átomo são bastante exploradas nos cursos de química e física das escolas de primeiro e segundo graus e são bastante conhecidas. Para reuní-las de forma breve, podemos dizer que "todo átomo é uma minúscula partícula material, indestrutível, mantendo massa e dimensão inalteradas; os átomos podem combinar-se produzindo diferentes espécies de matéria".

Funcionando como fonte de luz de características únicas (monocromaticidade, coerência e outras), o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico

A ficção científica dos anos 60 explorou a arma de raios laser à exaustão. Hoje, o laser tem uma gama de aplicações que ainda está para ser completamente explorada; quando menos se espera, alguém aparece com uma nova utilidade para essa luz, que os mais desavisados chamariam de 'miraculosa'. Antes de discutirmos suas aplicações, vamos conhecer neste artigo os fundamentos do laser.

O conceito atual de átomo está bastante longe da idéia de Dalton, que via o átomo como uma esfera rígida. Essa definição se enquadra muito bem em determinadas situações, mas tal modelo já não responde corretamente à maioria das perguntas relativas a fenômenos que ocorrem na natureza.

Mais tarde, o inglês Ernest Rutherford apresentou um novo modelo para o átomo. As experiências de Rutherford podem ser encontradas em vários livros básicos de química e de física, e deixamos para o leitor a tarefa de se aprofundar nesse assunto. As proposições de Rutherford foram as seguintes: "O átomo deve ser constituído de uma parte central, que foi denominada núcleo. Esse caroço central apresenta uma carga elétrica positiva. O tamanho desse núcleo seria bastante pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)". Isto quer dizer que, se o núcleo tivesse 1 m de diâmetro, o átomo teria 10 km. Fazemos então a seguinte pergunta: se o átomo apresenta um núcleo bastante positivo, como então a matéria é neutra? Rutherford respondeu a essa pergunta admitindo que a carga nuclear é equilibrada por partículas de carga negativa, denominadas elétrons. Mas, se esses elétrons estivessem parados, eles seriam atraídos para o núcleo. Foi então proposto um equilíbrio dinâmico para os elétrons: "Os elétrons giram ao redor do núcleo em trajetórias circulares". O esquema apresentado na Figura 1 ajuda a compreender as idéias de Rutherford.

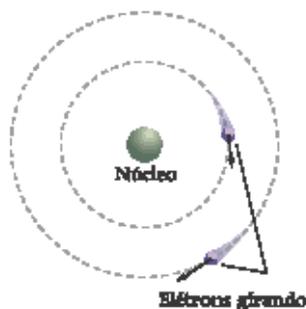


Figura 1. Modelo de Rutherford para o átomo.

Física na Escola, v. 2, n. 2, 2001

Existe no modelo de Rutherford uma contradição. Como explica a teoria da eletricidade e do magnetismo, uma carga elétrica em movimento acelerado emite energia. Assim, como os elétrons estão se movendo em torno do núcleo, eles deveriam emitir energia constantemente. Para compensar a diminuição de sua energia, o raio de sua trajetória diminuiria. Isto significa que os elétrons descreveriam uma trajetória em espiral e, ao término sua energia, chocariam-se com o núcleo.

Isso evidentemente é um absurdo, pois, se assim fosse, a matéria se colapsaria rapidamente e átomos não existiriam.

A justificativa para a energia dos elétrons foi dada pelo físico dinamarquês Niels Bohr, que utilizou as idéias básicas de outro físico, Planck. As proposições feitas por Bohr são conhecidas como seus postulados, fornecidos a seguir:

a) Os elétrons giram ao redor do núcleo em trajetórias circulares bem definidas e nesse movimento de rotação não há emissão de energia pelos elétrons.

b) Quando, de alguma maneira, o elétron passa de uma órbita para outra, ocorre emissão ou absorção de certa quantidade de energia determinada pela expressão

$$\Delta E = h \cdot f$$

onde  $h$  é uma constante conhecida como constante de Planck, e  $f$  a frequência da radiação (essa frequência ficará mais clara quando virmos ondas magnéticas mais adiante).

A quantidade de energia absorvida ou emitida pelo elétron nas suas transições de órbitas é denominada "fóton". A Figura 2 mostra de forma ilustrada o explicado acima.

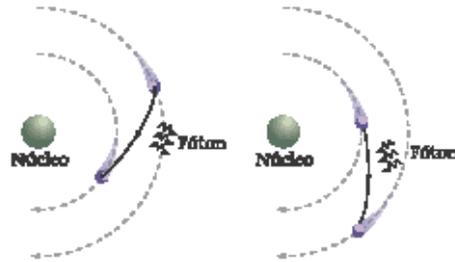


Figura 2. Processos de absorção e emissão de fótons nas transições de órbitas.

Assim, como assinalado na Figura 2, quando o elétron que gira em torno do núcleo salta de uma órbita externa para outra interna, ele emite um fóton de energia  $e$ , e, no processo inverso, ele

**O tamanho do núcleo atômico é pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)". Isso quer dizer que, se o núcleo tivesse 1 m de diâmetro, o átomo teria 10 km!**

absorve um fóton de energia. A essa mudança de órbita, ou salto, chamamos transição eletrônica.

Evidentemente, essas idéias de Bohr não surgiram em um

estalo de genialidade, mas foram baseadas em uma série de fatos experimentais da época. Esses resultados experimentais eram os espectros de emissão de certos gases, principalmente do gás hidrogênio.

Podemos começar ilustrando o que vem a ser o espectro de emissão por meio da montagem mostrada na Figura 3.

A luz branca contém todas as cores. Ao passar pelo prisma ocorre uma decomposição, que separa a luz branca em suas diversas componentes. Essas várias cores, projetadas em um anteparo, diferenciam-se pelos seus chamados comprimentos de onda, ou frequências. Como, nesse caso,

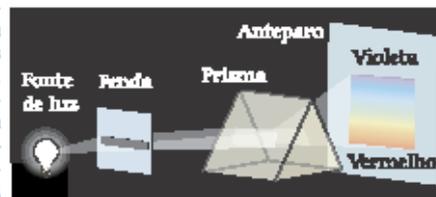


Figura 3. Espectro de emissão de uma lâmpada de luz branca.

Os Fundamentos da Luz Laser

5

as cores vão passando de uma a outra continuamente, temos o chamado espectro contínuo.

Se, em vez da lâmpada no esquema da Figura 3, for colocada uma ampola de vidro contendo gás hidrogênio a baixa pressão, como mostra a Figura 4, o espectro que aparece no anteparo é de linhas claras e espaçadas, como mostra a Figura 5.

Essas linhas discretas que aparecem na decomposição da luz proveniente da ampola de hidrogênio mostram que essa luz é composta apenas de determinados comprimentos de onda, e por isso dizemos que se trata de um espectro discreto. Quando um gás a baixa pressão é submetido a alta voltagem através de dois eletrodos, há emissão de elétrons do catodo que são acelerados para o anodo (pólo positivo). Mas, no meio do caminho, esses elétrons emitidos pelo catodo encontram os átomos de hidrogênio contidos na ampola e chocam-se com eles. Como são os elétrons que rodeiam o núcleo, são eles na verdade que se chocam com os elétrons liberados pelo catodo. Nesses choques, o elétron livre transmite energia ao elétron do átomo, que, adquirindo maior energia, pula para outra órbita mais externa. Porém, nessa nova situação, ele estará instável (segundo a ordem natural, ele "não gosta" de ficar nessa órbita).



Figura 4. Ampola de descarga em gás a baixa pressão.

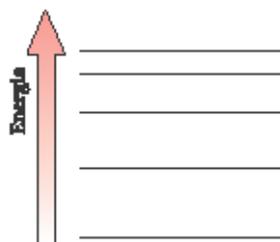


Figura 5. Espectro de emissão do gás hidrogênio.

Como a nova órbita não é a melhor para ele (a tendência é ficar na órbita mais próxima do núcleo), depois de certo tempo nessa situação o elétron retorna à órbita inicial. Como já vimos, nesse processo de retorno ao nível mais estável há emissão de um fóton, que constitui a radiação que será vista no anteparo. O esquema da Figura 6 ilustra o que foi explicado acima.

Não existe apenas uma órbita externa à qual o elétron pode ir após o choque com o elétron emitido pelo catodo. Várias órbitas são possíveis e, dependendo do choque ser mais forte ou mais suave, o elétron "pulará" para uma órbita mais externa ou menos externa. Quanto mais externa for a órbita, maior energia terá o elétron quando nela estiver. Assim, teremos pulsos diferentes quando o elétron voltar, e isto produz radiação com diferentes comprimentos de onda, como é observado no espectro do hidrogênio.

A Figura 7 mostra alguns saltos possíveis que o elétron pode dar em um átomo de hidrogênio. Quando o elétron está na órbita mais próxima do núcleo, diz-se que ele está no seu estado fundamental; quando o elétron está em uma de suas órbitas mais externas, diz-se que ele está em um de seus estados excitados.

Em cada órbita o elétron tem determinada energia. Cada uma será, então, chamada de nível energético que o elétron pode ter, e a ela se atribui um número inteiro ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), chamado número quântico principal, por ser encontrado por meio de cálculos de um ramo da física denominado Mecânica Quântica. Esse número inteiro  $n$  (número quântico principal) caracteriza a energia que o elétron apresenta quando em uma determinada órbita. O mesmo esquema mostrado na Figura 7 pode ser agora apresentado na forma de níveis de energia, já que, como dissemos, cada nível tem uma energia. Na Figura 8 também estão mostradas várias transições possíveis. É importante lembrar que

nem sempre é possível ver a radiação emitida no salto do elétron. Às vezes, o comprimento da onda da luz emitida é muito grande ou muito pequeno, fugindo do intervalo da chamada luz visível e, então, nossos órgãos visuais não são capazes de observá-los.

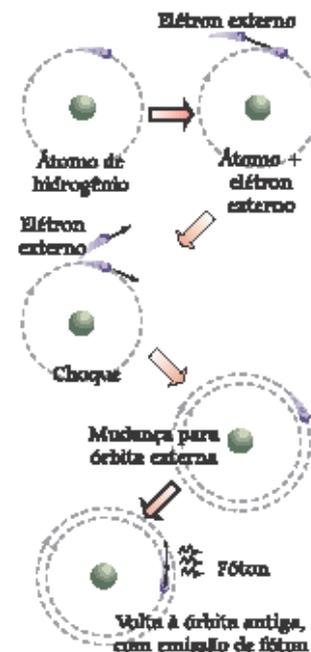


Figura 6. Esquema do processo de emissão de um fóton.

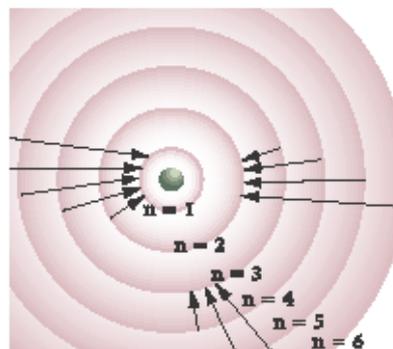


Figura 7. Saltos possíveis para elétron no átomo de hidrogênio.

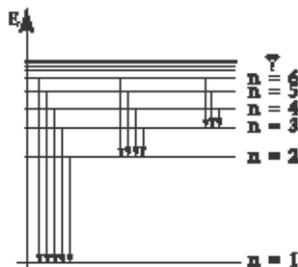


Figura 8. Transições possíveis para átomo de hidrogênio.

### Produção de Luz no Laser

Até agora foram descritos dois processos básicos de extrema importância. Primeiramente, vimos o processo de absorção de um fóton por um sistema atômico, causando a transferência de elétron de um nível de mais baixa energia para um nível de mais alta energia. Em segundo lugar, vimos um processo de emissão espontânea de um fóton pelo sistema atômico, causando a transferência do elétron para um nível de mais baixa energia.

Existe, também, um terceiro processo que pode ocorrer no sistema atômico, tão importante quanto os dois anteriores: a emissão estimulada.

A emissão estimulada consiste no seguinte: vamos supor um elétron que esteja em um estado que não é aquele no qual ele tem menor energia (estamos então nos referindo a um estado excitado).

Esse elétron excitado apresenta uma forte tendência em ir para o nível de mais baixa energia. Porém, sozinho, esse processo é relativamente demorado para acontecer, podendo, no entanto, ser acelerado por um agente externo. Um exemplo disto é a situação tradicional de uma bola em equilíbrio instável, no topo de uma montanha, como mostra a Figura 9.

Com o elétron no seu estado excitado ocorre o mesmo, e o agente externo que causa seu salto para um nível energético menor é justamente outro fóton. Assim, um fóton externo estimula o decaimento do elétron excitado e este, ao passar para o estado de mais baixa energia, emite um fóton que emerge do sistema juntamente com

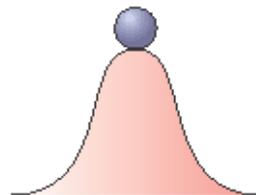


Figura 9. Equilíbrio instável de uma bola. Um leve toque externo colocará a bola em movimento.

aquele que causou a transição. Desse modo, na emissão estimulada, o causador do efeito sai intacto e o fóton gerado é o seu irmão gêmeo.

Nesse caso, os dois fótons emergem do sistema juntos, com a mesma energia, propagando-se na mesma direção. Dizemos que eles estão em fase e são fótons praticamente indistinguíveis. A Figura 10 ilustra os três processos até agora descritos.

No esquema (a), o sistema atômico absorve um fóton externo e o elétron usa a energia desse fóton para pular para o nível de energia mais alta.

No esquema (b), o elétron volta ao seu estado de mais baixa energia, através da emissão de um fóton com energia  $E_0$ .

Finalmente, no esquema (c), mostra-se o retorno do elétron ao estado de mais baixa energia, devido à ação

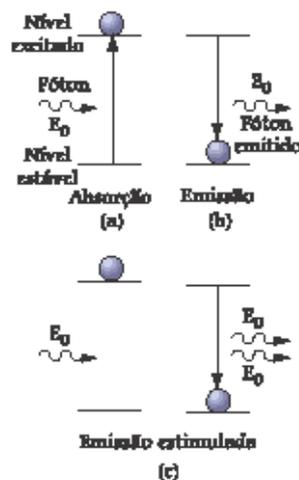


Figura 10: Maneiras para o átomo mudar seu estado de energia.

de um fóton externo. O resultado é a emissão estimulada de um outro fóton, que emerge lado a lado com o primeiro fóton.

Esses dois fótons que emergiram da emissão estimulada vão perturbar outros átomos com elétrons em seus estados excitados, havendo emissão de mais fótons que se juntam aos iniciais. A essa altura já podemos ter uma noção do que vem a ser o laser.

Como vimos, existem processos pelos quais os átomos emitem luz. Se juntarmos essa luz a processos que veremos mais adiante, e conseguirmos amplificá-la, teremos o chamado raio-laser. Assim, a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente.

Todos esses fótons que emergem do sistema são novamente jogados sobre ele por meio do uso de espelhos, que são colocados em cada extremidade da amostra. A vantagem nessa operação é que, fazendo com que os fótons emitidos pela amostra interajam mais com os átomos desta, maior será o número de fótons emitidos através do processo de emissão estimulada, aumentando a quantidade de luz que sairá do sistema.

Após vários passos, os fótons que se movimentam através do meio que forma o laser constituirão um feixe que apresenta uma intensidade considerável.

Uma abertura em um dos espelhos em uma das extremidades permitirá que continuamente uma fração dessa luz deixe o sistema.

Nas explicações dadas acima falamos em sistema, cavidade, espelhos etc., mas não demos maior atenção a esses conceitos. Vamos explicá-los.

Um laser consiste principalmente de 3 partes. A primeira parte é o chamado meio ativo, que pode ser gasoso, sólido ou líquido. Essa parte do laser é a que contém os átomos ou moléculas, as quais contêm os elétrons que, através dos saltos de níveis de energia emitem luz (fótons), que finalmente constituirão a luz laser. O primeiro laser construído tinha como

meio ativo uma barra de rubi.

De um modo geral, um sistema constitui um bom meio ativo quando os elétrons conseguem permanecer um tempo relativamente longo ( $10^{-4}$  s) em um estado excitado (normalmente um elétron permanece apenas  $10^{-10}$  s no nível excitado).

Como vimos anteriormente, a energia do fóton emitido está relacionada com seu comprimento de onda. Assim, quando queremos construir um laser que emita luz com determinado comprimento de onda, devemos escolher um meio que apresente átomos com elétrons em níveis cujo espaçamento tenha justamente a energia do feixe de luz que desejamos obter.

Se todos os átomos do meio apresentarem elétrons no estado de mais baixa energia, a ação do laser não poderá iniciar-se devido ao fato de que não teremos elétrons excitados para que ocorra o processo de emissão estimulada, ou mesmo espontânea.

Assim, antes de iniciar-se a ação do laser, é preciso que tenhamos a maioria dos átomos com elétrons em seus estados excitados.

Para que os elétrons saltem para seus níveis mais energéticos, é preciso fornecer energia. Esse é o trabalho de uma fonte externa de energia, que é a segunda parte principal do laser. A fonte terá a obrigação de produzir estados excitados, a fim de que nos decaimentos haja produção de luz. Ela atua no meio ativo, muitas vezes emitindo fótons sobre ele, e isso faz com que um grande número de átomos fiquem no estado excitado. Quando a maioria dos átomos apresentam elétrons no estado excitado, dizemos que ocorreu uma inversão de população. Esse estágio é fundamental para a produção do laser.

A terceira parte importante do laser é a cavidade ótica ou ressonador. Sua função é justamente a de fazer com que os fótons que emergem do sistema voltem para ele, produzindo mais e mais emissão estimulada. Isso é feito por meio de espelhos que são colocados nas extremidades dessa cavidade e provocam a reflexão dos fótons de volta à amostra. A Figura 11 é um esquema simplificado dessas 3 partes do laser.

A Figura 12 faz um resumo do

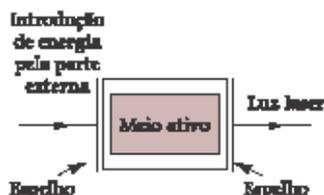


Fig. 11. Esquema simplificado das partes que constituem um laser.

que foi falado acima, mostrando a produção da luz laser (adotaremos os círculos vazios como sendo átomos no estado fundamental e círculos cheios como sendo átomos com estados excitados).

Começando do esquema (a), temos um meio ativo com seus átomos no estado fundamental. Uma fonte externa (que pode ser uma descarga elétrica no meio, outro laser etc.) deixa a maioria dos átomos em seus estados excitados, criando o que se chama de uma inversão de população (b). A emissão espontânea de um fóton por um desses átomos, adiciona mais luz à porção já existente (c). Esses fótons se refletem nos espelhos da cavidade, voltando para a amostra e provocando mais emissão estimulada, até que todos tenham decaído (esquemas (d), (e) e (f)). Essa é a máxima quantidade de luz que pode ser extraída desse meio. Uma porção dessa luz emerge do sistema, constituindo o feixe da luz laser (g). É claro que todos esses processos ocorrem de uma maneira contínua, fazendo com que a luz emergente seja um feixe contínuo e não interrompido.

#### Características da Luz Laser

Após a inversão de população ter ocorrido, produzindo a excitação dos elétrons com ajuda de uma fonte externa, o decaimento espontâneo de um dos átomos para o estado fundamental começa a provocar a emissão estimulada dos demais átomos e, conseqüentemente, produz luz. Somente a luz que se propaga ao longo do eixo principal do laser é que vai sofrer as várias reflexões no interior da cavidade ressonante, fazendo com que haja emergência de um feixe de luz. As principais características desse

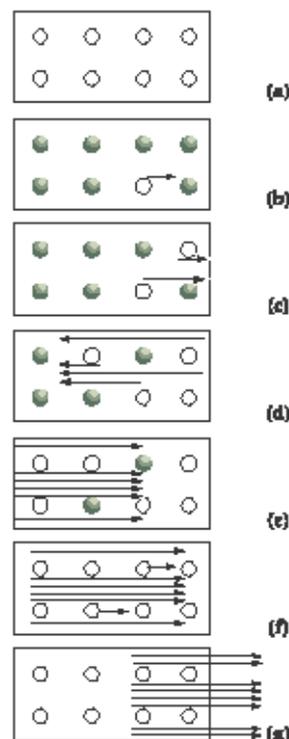


Figura 12. Esquema mostrando as várias etapas da produção de luz laser.

feixe emergente são as seguintes:

- primeiramente, a mais marcante é que a luz laser é monocromática, já que a energia carregada pelo fóton estimulante e pelo fóton emitido são as mesmas. Portanto, se verificarmos o espectro da luz laser, veremos apenas uma linha, mostrando que ela é composta de apenas um comprimento de onda, enquanto uma fonte de luz incandescente é formada por vários comprimentos de onda. O esquema da Figura 13 mostra os dois espectros. A monocromaticidade da luz laser é importante em espectroscopia e em outras áreas de pesquisa que requerem luz com uma energia determinada.

- uma segunda característica é o fato de que a intensidade do feixe laser pode ser extremamente grande, ao contrário das fontes de luz convencionais. Sua potência pode atingir ordens



Figura 13. Espectro contínuo (vários comprimentos de onda) e espectro discreto do laser (apenas um comprimento de onda).

de tera watt ( $10^{12}$  W). Essas grandes intensidades ocorrem em lasers pulsados, onde a energia acumulada em longo tempo é emitida toda em um intervalo de tempo muito pequeno, da ordem de  $10^{-12}$  s.

- em terceiro lugar temos o caráter direcional do feixe laser. Fótons emi-

tidos inclinados com relação ao eixo central não contribuirão para o feixe de laser final. O feixe resultante, que é constituído de ondas caminhando na mesma direção, é bastante estreito; ou seja, todo feixe propaga-se na mesma direção, havendo um mínimo de dispersão. Essa característica é extremamente importante para uma série de aplicações em comunicação, na indústria, na eletrônica etc.

**Luz laser é:**

- monocromática
- de alta intensidade
- direcional
- coerente

- a quarta característica importante da luz laser é sua coerência. Para explicar o que significa a luz ser coerente devemos lembrar da natureza ondulatória da luz. Radiação é espacialmente coerente se as ondas sucessivas da radiação estão em fase e temporalmente coerente se os trens de onda têm todos a mesma direção e o mesmo comprimento de onda. Para exem-

plificar nossa idéia de coerência, vamos tomar um exemplo simples. Vamos considerar as águas calmas de um lago. Ao jogarmos uma pedra, haverá produção de ondas de uma forma periódica e ordenada. Com isso, vemos em todos pontos desse lago ondas coerentes.

Agora, vamos jogar de maneira desordenada várias pedras no interior do lago. Nessa situação, as ondas da superfície estarão totalmente desordenadas,

provenientes de pontos diferentes. Essas não são ondas coerentes, mas incoerentes.

Concluindo, são essas as propriedades da luz laser que fazem dela um dos instrumentos de maior aplicabilidade. Por isso, há mesmo quem diga que o laser é a solução à procura de problemas. Em um próximo artigo, falaremos das inúmeras aplicações do laser.



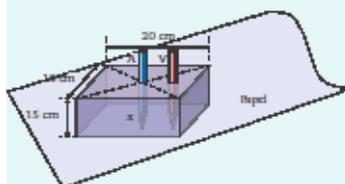
## Movimento do Centro de Massa\*

### Objetivo

Visualização do movimento do centro de massa de um corpo.

### Montagem

Em um bloco de madeira de (20 x 10 x 15 cm), praticam-se dois orifícios que atravessam o bloco ao longo de sua altura (15 cm), como se ilustra:



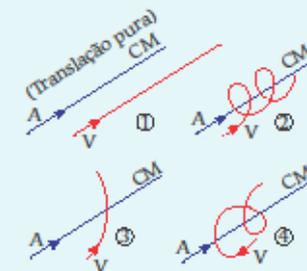
### Preparo do bloco

Esses orifícios apresentam diâmetros que permitem a introdução de canetas esferográficas comuns (bem macias), uma azul (A) e outra vermelha (V). Um dos orifícios passa pelo centro de massa do bloco e o outro, próximo à borda mais afastada do centro. O bloco, com as canetas inseridas nos orifícios, é colocado sobre uma grande folha de papel. A seguir, vamos à pancada.

### Procedimento

Com um martelo, golpee o bloco próximo da região X, indicada na face lateral. Com as experimentações você regulará a adequada intensidade da martelada e o local pretendido X.

Como resultado, a caneta azul registra o movimento do centro de



Trajetórias registradas no papel

massa do bloco (uma linha reta azul) e a caneta vermelha traçará uma linha (em geral, uma curva) vermelha em torno da linha azul, como ilustramos acima (resultado de alguns ensaios):

Prof. Luiz Ferraz Netto  
leo@barretos.com.br

\*Esta experiência consta do site [http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05\\_36.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05_36.asp), gerenciado pelo Prof. Luiz Ferraz Netto.