

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS EXATAS

MARINA CLÁUDIA BRUSTELLO SARAN

**ASTROFÍSICA DE PARTÍCULAS NA SALA DE AULA - UMA
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE RAIOS
CÓSMICOS PARA O ENSINO MÉDIO**

SÃO CARLOS
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS EXATAS

MARINA CLÁUDIA BRUSTELLO SARAN

**ASTROFÍSICA DE PARTÍCULAS NA SALA DE AULA - UMA
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE RAIOS
CÓSMICOS PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Exatas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Barros

SÃO CARLOS

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S243ap Saran, Marina Cláudia Brustello.
Astrofísica de partículas na sala de aula : uma sequência de ensino e aprendizagem sobre raios cósmicos para o ensino médio / Marina Cláudia Brustello Saran. -- São Carlos : UFSCar, 2013.
129 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Física - estudo e ensino. 2. Ensino - aprendizagem. 3. Astronomia. I. Título.

CDD: 530.07 (20ª)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Marcelo Alves Barros (orientador)
IFSC - USP



Prof. Dr. Elio Carlos Ricardo
FE – USP



Prof. Dr. Nelson Studart Filho
DF – UFSCar

Ao meu esposo David, aos meus pais Rita e José e irmãos Mariana e Diego, preciosidades em minha vida.

“Comece a escrever hoje a sua própria história de sucesso! Estabeleça suas metas e persiga-as até que se tornem realidade. Lembre-se: você tem que acreditar realmente nelas, mesmo antes de vê-las concretizando-se. Tudo aquilo que sua imaginação puder conceber e idealizar pode ser alcançado!”

Mary Kay Ash

AGRADECIMENTOS

Poder escrever algumas palavras neste momento constitui para mim muito mais do que um simples agradecimento a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista. Faz-me acreditar que fui e sou capaz de conquistar meus objetivos pessoais e profissionais e, principalmente, saber que realizei um sonho com a ajuda e a compreensão de pessoas tão importantes em minha vida.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que é minha coluna, a base de sustentação de minha vida. Sem a Fé e o Amor que tenho em Deus e em Nossa Senhora Aparecida não teria superado muitos obstáculos que a vida me colocou nesse caminho, principalmente durante esta jornada do mestrado.

Ao meu esposo David, amado, companheiro, amigo que sempre me apoiou em todas as minhas decisões, aconselhou-me, consolou-me inúmeras vezes quando a insegurança insistia em tomar conta de mim, impedindo que meu trabalho caminhasse. Sempre me confortando, incentivando-me e ajudando-me com revisões, comentários sobre o trabalho com todo o carinho e atenção mais que especial.

À minha família, meus pais José e Rita e irmãos Diego e Mariana, que desde o princípio, quando decidi que faria o mestrado e tornaria este sonho realidade, apoiaram-me, preocuparam-se e estiveram sempre me tranquilizando nos momentos de fraqueza, especialmente minha mãe, que com todo seu amor incondicional esteve sempre me colocando em suas orações diariamente.

Agradecimento especial à minha cunhada Maria Natália, que sempre se envolveu em meu trabalho, que me acompanhou inúmeras vezes a São Carlos e sempre esteve ao meu lado, apoiando-me com todo seu carinho e dando-me conselhos, pois é uma garota muito inteligente e especial, e sabe muito mais coisas do que eu! Aprendo muito com essa menina! Obrigada também à minha outra cunhada e não menos especial, a Bárbara, que me faz

rir desesperadamente, mesmo em momentos difíceis. Sua maravilhosa companhia é inigualável.

Ao meu orientador Marcelo Barros, que durante todo este tempo que passamos juntos, lutando pela realização completa deste trabalho, foi muito mais que meu professor, foi conselheiro, amigo e sempre me ajudou a levar o trabalho adiante, sem me desanimar; e o mais importante para mim, nesse período todo, foi sua crença em meu trabalho; e isto, posso dizer, com certeza, foi um ponto-chave para que eu não desistisse no meio do caminho.

Ao Observatório Pierre Auger, por ter contribuído para a realização da atividade desenvolvida em sala de aula, fornecendo dados reais de eventos registrados por seus detectores.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Luiz Vitor, que foi o responsável por trazer os dados do Observatório Pierre Auger e, junto com sua equipe, elaborar o roteiro da atividade da determinação da direção de um Raio Cósmico, além de ter cedido seus slides da apresentação de uma palestra para que pudéssemos utilizá-los e adaptá-los para este trabalho.

À Letícia e à Larissa, por me incentivarem e por todo apoio que me deram em vários trabalhos que fizemos juntas. Vocês tiveram uma participação mais que especial em minha vida e em minha pesquisa.

E não poderia deixar de agradecer ao professor Nelson Studart, por inúmeras contribuições e ensinamentos desta pessoa maravilhosa para a minha vida profissional e pessoal. Admiro seu entusiasmo e sua crença de que somos capazes de levar para nossos alunos algo inovador, novas tecnologias, aulas de Física muito mais atrativas para o professor e para o aluno. Não só admiro, mas aprendi a acreditar também, e este trabalho é prova disto.

Também gostaria muito de agradecer à professora Ducinei Garcia, que, como eu, sobrevivente no meio de tantos homens, tornou-se para mim mais que uma professora, tornou-se uma amiga que merece meu respeito e admiração. Além disto, ajudou-me no início de meu projeto, quando eu ainda estava sem orientador e apresentou-me o professor Marcelo, sendo muito atenciosa comigo e com ele.

Ao Júnior, secretário do PPGECE da UFSCar, que sempre esteve à disposição para nos auxiliar, socorrendo-nos em momentos difíceis para nós e para ele.

À minha amiga e professora Riama, que me incentivou a entrar para o programa e ajudou-me muito, principalmente durante o primeiro ano, período de disciplinas, pelos momentos de descontração, pelas risadas, pelas viagens juntas e pela confiança em meu trabalho.

E por fim e não menos importante, quero agradecer aos meus amigos do mestrado, pessoas de diferentes lugares, de diferentes opiniões, mas todas com um objetivo comum e que me ensinaram muito sobre Física, amizade, companheirismo, persistência, humildade e, principalmente, como sobreviver a esta turma, a única mulher! Obrigada especial aos amigos Dimitrius, Frederico, Ganso (apelido Rodrigo), Varjão, Max, Edson, Fábio Zanoni e Lucas. Mas também um agradecimento aos amigos da matemática Marcela, Maristela, Renata, Rodrigo do Carmo, Felipe, Mário e Fábio.

RESUMO

Atualizar o currículo de Física para o Ensino Médio é um desafio a todos os pesquisadores e professores da área, e há pelo menos duas décadas figuram no meio acadêmico muitas pesquisas que dão conta de justificar as necessidades desta atualização. No entanto, ainda não percebemos nas salas um reflexo desta atualização. Mas já existem algumas pesquisas focadas em estruturar atividades e sequências de ensino e aprendizagem, e que têm surgido com força no campo de pesquisa em ensino de Física, visando a suprir essa carência no currículo de Física do Ensino Médio. Foi neste sentido que refletimos sobre as possibilidades de se realizar um processo de transformação do tema Raios Cósmicos em saber a ensinar, com base nas regras e características da Teoria da Transposição Didática, proposta por Ives Chevallard (1991). Assim, implementamos uma sequência de ensino-aprendizagem sobre Raios Cósmicos com o objetivo de determinar o ponto de impacto e reconstrução da direção de chegada de um Raio Cósmico primário a partir de dados registrados pelo Observatório Pierre Auger e aplicamos tal atividade na forma de um minicurso em uma Escola Pública, na cidade de Sertãozinho – SP. Esta atividade aborda conceitos fundamentais, como conservação de energia, centro de massa, velocidade, sistemas de coordenadas, referências de tempo e observação do céu.

Palavras-chave: Atualização Curricular. Sequência de Ensino e Aprendizagem. Raios Cósmicos. Transposição Didática.

ABSTRACT

Updating the physics curriculum for high school has been a challenge to all researchers and teachers in the area for at least two decades and has appeared in many academic studies that account for the needs justifying this update. However, we still haven't achieved this update in the classrooms. But there is already some research focused on structure and activities for teaching and learning sequences that have emerged in the field of physics education research in order to fill this gap in the curriculum of physics for high school. From this research we reflected on the possibilities of carrying out a process of transformation in regards to the theme of cosmic rays in learning how to teach, based on the rules and features of the Theory of Didactic Transposition, proposed by Ives Chevallard (1991). Thus, we implemented a sequence of teaching and learning about cosmic rays in order to determine the point of impact and reconstruct the direction of arrival of a primary cosmic ray from data recorded by the Pierre Auger Observatory. We applied this activity in the form of a mini course in a public school in the city of Sertãozinho/SP. This activity addressed fundamental concepts such as energy conservation, center of mass, velocity, coordinate systems, time references and observation of the sky.

Keywords: Curriculum Updating. Teaching and Learning Sequences. Cosmic rays. Didactic Transposition.

PUBLICAÇÕES

A pesquisa proposta nesta dissertação serviu de base aos seguintes trabalhos:

BARROS, M. A.; SARAN, M. C. B. Cosmic Ray from the perspective of the Didactic Transposition. EBook Proceedings of The International Symposium of Science Teaching - SIEC, Madrid, Spain, 2012.

GARBELOTTI, C. R., BARROS, M. A., SARAN, M. C. B. *Proposta de uma sequencia de ensino-aprendizagem sobre raios cósmicos para o Ensino Médio*. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física 2013, São Paulo. Cursos e oficinas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. ATUALIZAÇÃO CURRICULAR E A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	22
2.1 Por que a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio?	22
2.2 Sequências de Ensino e Aprendizagem.....	28
3. OS SABERES E A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA PARA O TEMA RAIOS CÓSMICOS.....	32
3.1 A Transposição Didática	32
3.1.1 O Saber Sábio.....	35
3.1.2 O Saber a Ensinar	36
3.1.3 O Saber Ensinado.....	37
3.1.4 A sobrevivência dos saberes	37
3.2 As regras da transposição didática	39
4. RAIOS CÓSMICOS	42
4.1 A História dos Raios Cósmicos	42
4.2 Raios Cósmicos no Brasil.....	46
4.3 Chuveiros Aéreos Extensos.....	48
4.4 Raios Cósmicos Ultraenergéticos	49
4.5 Observatório Pierre Auger.....	52
5. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS E CONTEXTO ESCOLAR	57
5.1 Metodologia de pesquisa.....	57
5.2 A professora pesquisadora e o curso de formação de professores.....	61
5.3 Coleta de dados	64
5.4 Estrutura do minicurso	65
6. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE RAIOS CÓSMICOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	67
6.1 Atividade sobre ordem de grandeza.....	67
6.2 Atividade de escalas de energia.....	73
6.3 Atividade para a determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um Raio Cósmico	76

7. EPISÓDIOS DE ENSINO DA ATIVIDADE PARA A DETERMINAÇÃO DO PONTO DE IMPACTO E DIREÇÃO DE CHEGADA DE UM RAIOS CÓSMICO PRIMÁRIO	89
7.1 Discussões do início da aula	89
7.2 Episódio de Ensino I: Identificação dos tanques detectores no plano cartesiano	94
7.3 Episódio de Ensino II: cálculo do “centro de energia”	98
7.4 Episódio de Ensino III: analogia do tempo com os canudinhos e montagem da maquete	103
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
8.1 Raios Cósicos sob o olhar da transposição didática	107
8.2 Principais aspectos da sequência de ensino e aprendizagem	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXO A	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura global do quadro teórico que relaciona as Grandes Teorias e as Teorias Específicas com o desenvolvimento das ferramentas de ensino. Fonte: traduzido de Tiberghien (2009 p. 2.278).	30
Figura 2. Sequência de ensino e aprendizagem baseada no processo de Transposição Didática. Fonte – traduzido de Tiberghien (2009, p. 2.279).	34
Figura 3. Representação de um eletroscópio. (Fonte – adaptado de http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/fenomenos/eletroscopios/)	43
Figura 4. Victor Hess em seu balão. (Fonte: http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_50/raios_cosmicos.html)	44
Figura 5. Representação dos chuveiros aéreos extensos. (Fonte – disponível em http://www.cienciamao.usp.br/mesonpi/index.php?painel=10)	48
Figura 6. Fluxo de radiação primária incidente na Terra em relação à energia. (Fonte: Mello Neto)	50
Figura 7. Prédio Central do Observatório Pierre Auger. (Fonte: www.auger.org)	53
Figura 8. Comparação entre a extensão territorial do Observatório Pierre Auger e a cidade de Roma. (Imagem retirada do vídeo disponível em http://www.youtube.com/watch?v=cBgUHPyvjhU)	53
Figura 9. Tanque detector. (Fonte: www.auger.org)	55
Figura 10. Telescópios de Fluorescência. (Fonte: www.auger.org)	55
Figura 11. Ilustração mostrando os dois mecanismos de detecção. (Fonte: www.auger.org)	56
Figura 12. Detecção pelos telescópios de fluorescência e taques. (Imagem retirada do vídeo disponível em http://www.youtube.com/watch?v=cBgUHPyvjhU)	56

Figura 13. Indicação da direção de um Raio Cósmico fornecida pelo Observatório Pierre Auger. Disponível em http://auger.colostate.edu/ED/index.php?evid=000004128900&skymap=1	79
Figura 14. Origem e trajetória do centro massa de um Raio Cósmico.....	81
Figura 15. Equação do Centro do Massa-Energia em que E é a energia.....	82
Figura 16. Escala de tempo, tanques e centro de massa.....	83
Figura 17. Maquete final.....	83
Figura 18. Posições dos tanques acionados durante um evento.....	83
Figura 19. Ilustração do desenvolvimento do chuveiro cósmico. Formação de bilhões de partículas que se movem com a velocidade próxima a da luz. (Imagem retirada do vídeo disponível em http://www.youtube.com/watch?v=cBgUHPyvjhU	86
Figura 20. Ilustração da reta imaginária representativa da escala de tempo. (Souza, V., Barros, M. A., Filho, E. C. M., Garbelotti, C. R., João, H. A. Cosmic rays in the classroom. Physics Education, march 2013 - disponível em http://iopscience.iop.org/0031-9120/48/2/238).....	87
Figura 21. Formação dos chuveiros e as novas partículas. (Souza, V., Barros, M. A., Filho, E. C. M., Garbelotti, C. R., João, H. A. Cosmic rays in the classroom. Physics Education, march 2013 - disponível em http://iopscience.iop.org/0031-9120/48/2/238).....	90
Figura 22. Tanques acionados durante um evento registrado no Observatório e as respectivas intensidades dos sinais.....	92
Figura 23. Grupo de alunas no início da atividade.....	95
Figura 24. Identificando os tanques.....	96
Figura 25. Momento dos cálculos do centro de massa-energia.....	100
Figura 26. Maquete da direção do raio primário finalizada.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Cronograma resumido das atividades do curso de formação de professores	62
Tabela 2. Quadro informativo para planejamento da atividade de ordem de grandeza	68
Tabela 3. Folha da atividade 1 - Ordem de grandeza (corta papel).....	69
Tabela 4. Anotações dos alunos na lousa.....	70
Tabela 5. . Medida do tamanho aproximado dos papeis cortados ao meio	70
Tabela 6. Medida das áreas dos papezinhos em função do comprimento e largura inicial	72
Tabela 7. Quadro informativo para planejamento da atividade de escalas de energia	73
Tabela 8. Folha da atividade sobre escalas de energia	74
Tabela 9. Quadro informativo para planejamento da atividade da direção de um raio primário.....	77
Tabela 10. Folha da atividade da determinação do ponto de impacto e direção de chegada de um Raio Cósmico primário	80
Tabela 11. Dados do evento, entregues a um dos grupos	84

SUGESTÕES DE SITES DE FÍSICA

[NUPIC](http://www.nupic.fe.usp.br/) - <http://www.nupic.fe.usp.br/>

[Moodle-STOA](http://moodle.stoa.usp.br/course/view.php?id=974) - <http://moodle.stoa.usp.br/course/view.php?id=974>

[Site de Ensino da Sociedade Brasileira de Física - PION](http://www.sbfisica.org.br/v1/pion/) -

<http://www.sbfisica.org.br/v1/pion/>

[Ciência Hoje - Matérias sobre o LHC](http://cienciahoje.uol.com.br/) - <http://cienciahoje.uol.com.br/>

[Ciência Hoje – Matérias sobre Cesar Lattes](http://cienciahoje.uol.com.br/) - <http://cienciahoje.uol.com.br/>

[Ciência Hoje – Matérias sobre Raios Cósmicos](http://cienciahoje.uol.com.br/) - <http://cienciahoje.uol.com.br/>

[Aventura das Partículas](http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/) - <http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/>

[O Discreto Charme das Partículas Elementares](http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf) -

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>

[CPEP - Projeto Educacional de Física Contemporânea](http://www.cpepweb.org/particles.html) -

<http://www.cpepweb.org/particles.html>

[CPEP - Atividades para a classe](http://www.cpepweb.org/Class_act.html) - http://www.cpepweb.org/Class_act.html

[Canal Ciência - Notável: Cesar Lattes](http://www.canalciencia.ibict.br/) - <http://www.canalciencia.ibict.br/>

[Canal Ciência - Notável: José Leite Lopes](http://www.canalciencia.ibict.br/) - <http://www.canalciencia.ibict.br/>

[CERN – LHC](http://home.web.cern.ch/about/accelerators/large-hadron-collider) - <http://home.web.cern.ch/about/accelerators/large-hadron-collider>

[CERN](http://home.web.cern.ch/) - <http://home.web.cern.ch/>

[Grupo de Física de Altas Energias – Cambridge](http://www.hep.phy.cam.ac.uk/) - <http://www.hep.phy.cam.ac.uk/>

[Física de Partículas – UK](http://www.particlephysics.ac.uk/index.html) - <http://www.particlephysics.ac.uk/index.html>

[Observatório Pierre Auger-Ar](http://www.auger.org.ar/) - <http://www.auger.org.ar/>

[Revista Física Na Escola - SBF](http://www.sbfisica.org.br/fne/) - <http://www.sbfisica.org.br/fne/>

[Revista Brasileira de Ensino de Física - SBF](http://www.sbfisica.org.br/v1/) - <http://www.sbfisica.org.br/v1/>

1. INTRODUÇÃO

A ciência e o cotidiano das pessoas sofreram uma mudança significativa a partir do final do século XIX. As novas descobertas da Mecânica Quântica, Física Nuclear e a Teoria da Relatividade revolucionaram o mundo, gerando novas tecnologias incorporadas à vida da sociedade.

Porém, todo o conhecimento referente aos avanços tecnológicos vivenciados no último século é completamente desconhecido para a grande maioria das pessoas e, de certa forma, as escolas e o ensino de ciências são os grandes responsáveis por este quadro quando não oferecem aos alunos uma atualização condizente com a sociedade moderna.

As inovações tecnológicas avançam a passos largos, novos aparelhos e dispositivos eletrônicos são lançados e logo substituídos. Vivemos em um mundo onde a grande maioria das pessoas possuem aparelhos celulares, sendo muitos de última geração, do tipo Android, por exemplo, computadores, TVs de plasma, LCD e de LED, ou mesmo a grande “febre” do momento e tendência para os próximos anos: os tablets.

Além destes aparelhos bastante familiares, podemos ainda ter o contato com inovações e avanços tecnológicos na medicina. Atualmente, os exames de diagnósticos por imagem, como a Ressonância Magnética (MRI) ou Tomografia de Emissão de Pósitrons (PET), são amplamente utilizados para diagnosticar diversos tipos de doenças, especialmente o câncer. Além de diagnósticos, também podemos aplicar a Física e seu desenvolvimento tecnológico nos tratamentos de várias doenças degenerativas, como exemplo a Radioterapia, aplicada nos pacientes para destruir células cancerosas.

Com todo esse turbilhão de inovações presentes cada vez mais em nosso cotidiano, certamente existe uma curiosidade dos alunos sobre o funcionamento desses aparelhos tão familiares e estranhos ao mesmo tempo. Muitos professores já foram surpreendidos por seus alunos com perguntas sobre o funcionamento de um CD ou DVD, sobre códigos de barra, fibra óptica e sistemas de transmissão de dados, e, talvez, mais atualmente, sobre o funcionamento das telas *touchscreen*. Isso porque a Física que vemos nas

salas de aula é a Física desenvolvida entre os séculos XVII e XIX, deixando de fora todas as descobertas ferveilhantes do século XX.

Esses temas [de Física Moderna] raramente entram no currículo 'real' das nossas aulas de Física. Quando muito, são citados como curiosidades em momentos de descontração, sem compromisso com o currículo "oficial" (PEREIRA et al., 1997, p.315).

É inegável a necessidade urgente de se atualizar o currículo de Física do Ensino Médio, permitindo o aprimoramento dos conhecimentos dos alunos sobre as novas tecnologias.

Existem vários estudos que apontam diferentes caminhos para se realizar uma inovação curricular, dentre os quais o ensino Cognitivista, o ensino pela História e Filosofia da Ciência, a Interdisciplinaridade e uma abordagem que leve em conta o cotidiano dos alunos e a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Acreditamos que este último constitui-se numa boa escolha, já que aborda conteúdos sobre as pesquisas atuais e de mais alto nível, inovando conteúdos existentes e revelando uma nova visão da natureza e dos fenômenos.

Há pouco mais de duas décadas, pesquisas nacionais e internacionais vêm discutindo fortemente essa atualização. Foi a partir de 1986 que esta preocupação em ensinar Física Moderna e Contemporânea se intensificou, com a "Conferência sobre Ensino de Física Moderna", realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, em Illinois, Estados Unidos.

Observamos uma forte relação entre o ensino de ciências nos Estados Unidos com o modo de se fazer ciência e pesquisa. No documento de reforma curricular norte-americano, o *National Science Education Standards* (1996), verifica-se uma preocupação com um currículo de ciências baseado em uma aprendizagem investigativa, permitindo aos estudantes envolverem-se mais ativamente no processo de aprendizagem, tornando-se capazes de explorar, fazer observações, testar ideias, coletar dados, analisar resultados, tomar decisões, construir modelos, manipular instrumentos de medida, etc., em diferentes contextos e graus de sofisticação.

O Ensino de Ciências deve envolver os estudantes em investigações de pesquisa orientada na qual eles interajam com seus professores e

colegas. Os estudantes estabelecem conexões que seu conhecimento de Ciência e o conhecimento científico encontrado em várias fontes, aplicam o conteúdo científico para novas questões, se engajam na resolução de problemas, planejamento, tomada de decisão e discussões em grupo; e experimentam avaliações que são consistentes com uma perspectiva de aprendizagem ativa (STANDARDS, 1996. p. 20).

Estas perspectivas deveriam possibilitar aos estudantes:

- A experiência da riqueza e a emoção de conhecer e compreender o mundo natural;
- O uso adequado de processos e princípios científicos na tomada de decisões pessoais;
- A participação de forma crítica no discurso público e o debate sobre assuntos de interesse científico e tecnológico;
- O aumento de sua produtividade econômica através do uso do conhecimento, compreensão e habilidades da pessoa cientificamente alfabetizada em sua carreira.

No Brasil, a preocupação em aproximar o conhecimento tecnológico e científico do conhecimento dos alunos e, conseqüentemente, da sociedade está explícita nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM):

As novas tecnologias da comunicação e da informação permeiam o cotidiano, independentemente do espaço físico, e criam necessidades de vida e convivência que precisam ser analisadas no espaço escolar. A televisão, o rádio, a informática, entre outras, fizeram com que os homens se aproximassem por imagens e sons de mundos antes inimagináveis (BRASIL, 1999, p.132).

Complementada nas Orientações curriculares para o Ensino Médio:

Deve-se tratar a tecnologia como atividade humana em seus aspectos prático e social, com vistas à solução de problemas concretos. Mas isso não significa desconsiderar a base científica envolvida no processo de compreensão e construção dos produtos tecnológicos.

A tão falada metáfora da alfabetização científica e tecnológica aponta claramente um dos grandes objetivos do ensino das ciências no nível médio: que os alunos compreendam a predominância de aspectos

técnicos e científicos na tomada de decisões sociais significativas e os conflitos gerados pela negociação política (BRASÍLIA, 2006, p. 47).

Fica claro que existe grande expectativa de que a escola desempenhe um papel que contribua para o desenvolvimento e o crescimento pessoal de seus alunos, formando cidadãos críticos capazes de compreender a ciência e todo o investimento que se faz em grandes experimentos científicos e que, de uma maneira direta ou indireta, acabam por influenciar a vida das pessoas.

Nos dias atuais, tão repletos de novas informações, nós, professores de Física, não podemos permitir que os alunos recebam informações sobre as novidades da ciência apenas através de revistas de divulgação científica, mas que possamos complementar tais informações, discutindo os temas e todo o processo por trás das grandes pesquisas, para que os alunos compreendam o real significado e a importância dessas pesquisas, posicionando-se criticamente perante todas as novidades científicas divulgadas pela mídia.

Além disto, a Astrofísica de Partículas, área da Física que estuda os Raios Cósmicos, constitui-se numa área de pesquisa inovadora e interdisciplinar, cruzando as fronteiras da Astronomia e da Cosmologia. Ter domínio dos conhecimentos dessas áreas fundamenta o raciocínio dos alunos de maneira mais racional, impedindo que as crenças e superstições populares acerca da origem e evolução do Universo se perpetuem entre os jovens e adultos futuros.

Embora não tenha sido o foco deste trabalho, o tema Raios Cósmicos permite caminhar para uma abordagem histórica e filosófica, podendo mostrar aos alunos parte do processo de desenvolvimento da ciência e que esta não constitui uma verdade absoluta, pois a ciência renova-se constantemente. De tempos em tempos, surgem novos modelos que tentam descrever a Natureza. Trata-se de um processo dinâmico, que envolve um número significativo de pesquisadores que trabalham arduamente para que seus experimentos se mostrem, de alguma maneira, positivos.

Outro aspecto que podemos ressaltar é sobre o significado de algumas palavras utilizadas para o tratamento do tema Raios Cósmicos. Isso porque existe certo grau de abstração em alguns aspectos e fenômenos, por

exemplo, dizemos que os Raios C3smicos s3o part3culas altamente energ3ticas que viajam a velocidades pr3ximas 3 da luz. Pois bem, essas part3culas s3o pr3tons, em sua maioria, mas como podemos “ver” objetos t3o pequenos? Como detectar essas part3culas? Quando falamos em tanques detectores e telesc3pios, nos referimos a rastros deixados pelas part3culas. Tanto na Astrof3sica de Part3culas como no estudo das Part3culas Elementares, n3o conseguimos ver os objetos diretamente; logo, devemos tomar o devido cuidado com o significado de certas palavras que n3o correspondem ao significado comum do dia a dia.

Por fim, se repensarmos na hist3ria da F3sica no Brasil, a primeira pesquisa de repercuss3o internacional foi a descoberta dos chuveiros penetrantes, em 1940, por Gleb Wataghin, Marcelo Damy e Paulus Pomp3ia. O estudo dos Raios C3smicos foi um marco importante para o desenvolvimento da F3sica no Brasil.

Essas s3o algumas das justificativas que nos levaram a escolher este tema como abordagem principal deste trabalho, com o objetivo de apresentar uma sequ3ncia de ensino e aprendizagem sobre Raios C3smicos, no formato de um minicurso, que poder3 auxiliar os professores de F3sica do Ensino M3dio quanto 3 inser3o deste tema como t3picos de F3sica Moderna e Contempor3nea.

2. ATUALIZAÇÃO CURRICULAR E A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

Neste capítulo apresentamos uma reflexão sobre a necessidade de atualizar o currículo de Física do Ensino Médio e, principalmente, porque a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea contribui satisfatoriamente para esta atualização. Além disto, podemos utilizar uma ferramenta didática que contribua para este processo; as sequências de ensino e aprendizagem.

2.1 Por que a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio?

Embora percebamos um aumento crescente das propostas de reforma curricular em diversos países, o ensino tradicional tem permanecido resistente às novas mudanças, e isto se deve em grande parte aos conhecimentos e crenças que os professores possuem sobre a natureza de sua disciplina, sua identidade pessoal e profissional, assim como o ensino e a aprendizagem dos conteúdos específicos.

Segundo Terrazan (1997), o currículo das escolas brasileiras continua tradicional em sua estrutura básica, constituindo-se em listas de conteúdos onde o planejamento nada mais é do que uma cópia dos índices dos livros didáticos mais adotados.

Carvalho e Vannuchi (1996) refletem sobre esta estrutura estagnada e a Física contemplada no currículo do Ensino Médio:

Vivemos hoje um mundo altamente tecnológico – fibra óptica, código de barras, microcomputadores, etc... – e o nosso ensino ainda está em Galileu, Newton, Ohm – ainda não chegou ao século XX (CARVALHO; VANNUCHI, 1996, p. 7).

Pinto e Zanetic (1999) também criticam o currículo de Física e a necessidade de inovações, não para substituir, mas para mostrar aos alunos que existe uma Física Nova por trás de todas as necessidades que a cada dia se tornam mais básicas a toda a humanidade:

Estamos nos aproximando do final do século XX e a Física nele desenvolvida está longe de comparecer às aulas de nossas escolas. É preciso transformar o ensino de Física Tradicional oferecido por nossas escolas em ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna. [...] Uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básica para o homem contemporâneo, um conhecimento que extrapola os limites da ciência e da tecnologia, influenciando outras formas de saber humano (PINTO; ZANETIC, 1999, p. 7).

É evidente a necessidade e a urgência dessa inovação curricular, e muitas são as justificativas que nos fornecem base para inserir tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, dentre elas:

- Formar um cidadão capaz de compreender a realidade em que vive;
- Reconhecer a Física como fundamento da tecnologia presente no cotidiano do aluno;
- Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles, podendo atraí-los para a carreira científica, pois serão eles os futuros pesquisadores e os professores de Física;
- Fazer com que os estudantes tenham contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- Mostrar que é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- Fazer os alunos verem que, apesar de a Física Moderna ser considerada conceitualmente difícil e abstrata; os

resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além de a Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Torre (1998) também justifica a inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio:

- Conectar o estudante com sua própria história;
- Protegê-lo do obscurantismo, das pseudociências e das charlatanias pós-Modernas;
- Fazer com que o aluno localize corretamente o ser humano na escala temporal e espacial da natureza;
- Mostrar que a Física Moderna e Contemporânea possui múltiplas e evidentes consequências tecnológicas;
- Demonstrar tudo isto por sua beleza, pelo prazer do conhecimento, porque é uma parte inseparável da cultura, porque o saber nos faz livres e valoriza a humanidade.

No entanto, alguns destes argumentos podem gerar um sentimento de inquietação sobre o papel da escola e especialmente da disciplina de Física, pois pode parecer-nos em primeiro momento que o interesse é que os alunos se apropriem apenas do conhecimento e da formação técnica. É importante, sim, que conheçam ao menos o básico, pois assim podem posicionar-se de maneira crítica quanto à tomada de decisões referentes a algum assunto que envolva certa tecnologia ou mesmo para tomar devidas precauções e cuidados no manuseio e na utilização dos aparelhos, garantindo segurança ao realizar procedimentos de maneira correta, além de uma vida útil maior aos equipamentos eletrônicos.

Existem também outros olhares sobre o modo de como a inserção da Física Moderna e Contemporânea contribui para a formação dos alunos. Maxwell (2006) acredita que a inserção destes temas pode contribuir para desmistificar a imagem que os alunos possuem de que a Física é “coisa de gente doida”, mostrando que, para se fazer ciência, é preciso muito trabalho e dedicação na busca de respostas às perguntas que movem a Natureza e o

Mundo. Como exemplo bastante atual, podemos citar o trabalho intenso de cientistas do mundo todo, nos experimentos realizados, no CERN (em francês: *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*) com a finalidade de completar experimentalmente todo o Modelo Padrão, permitindo compreender a composição da matéria.

Zanetic (1989) também reflete a importância do papel da escola não só na transmissão do conhecimento em ciências, mas também na forma com que os alunos a apreciam. Aponta que seria fundamental que os alunos olhassem para o ensino de ciências com o mesmo entusiasmo e prazer com que apreciam as artes, a música e a literatura. Brockington mostra-se a favor desta aproximação entre a Física e a Arte, no sentido da contemplação destas áreas do conhecimento e dos saberes.

Como muito dos temas de FMC não têm uma aplicação direta, pode-se trabalhar mais essa dimensão “contemplativa”, prazerosa do conhecimento, focando os processos da ciência, suas motivações, seus problemas e questionamentos. Assim, podem-se discutir questões fundamentais da construção das teorias e suas relações com a realidade, na tentativa de desenvolver nos alunos a satisfação intelectual que se tem ao compreender esses assuntos (BROCKINGTON, 2005, p. 20).

Foram apresentados alguns trabalhos sobre as justificativas para atualização curricular na perspectiva da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, dentre muitos outros existentes na literatura nacional e internacional. No entanto, embora este quadro ainda esteja se modificando, são poucos os trabalhos que apresentam as inovações curriculares e como elas se dão efetivamente na sala de aula, como nos mostram Ostermann e Moreira (2000, p. 36):

É possível perceber que ainda predomina, na literatura, a simples apresentação de tópicos de FMC. No entanto, questões de ensino vêm sendo incorporadas aos trabalhos e, talvez, seja uma tendência em crescimento. A abordagem de temas atuais de Física em revistas dirigidas a professores é, sem dúvida, uma contribuição importante para a atualização curricular. Mas, além disso, é preciso investir na possibilidade de introduzir alguns destes tópicos no Ensino Médio,

verificando resultados da aprendizagem em condições reais de sala de aula.

Azevedo (2008, p. 19) faz um levantamento da evolução do currículo escolar desde o momento em que a Física passou a figurar como disciplina – início do século XIX, segundo Nicionli Junior (2007) – e destaca quais os aspectos que as novas propostas vêm apresentando neste cenário:

Do ponto de vista prático, as mudanças propostas até o presente contemplaram mais os aspectos metodológicos do que os relacionados ao conteúdo, que de certa forma permanece, em pleno século XXI, limitado a conteúdos do século XIX [...] A segunda metade do século XX foi palco de mudança na perspectiva metodológica, com abordagens de ensino centradas no aluno. O cenário atual parece mais propício às mudanças de conteúdo; em que a introdução de teorias modernas possam passar a compor o currículo da Educação Básica.

Existem trabalhos que refletem sobre a utilização de novas tecnologias no ensino. Por exemplo, Cavalcante (1999) defende a utilização de novos recursos tecnológicos como softwares de simulação, caracterizando-se como uma ferramenta importante no ensino de temas de Física Moderna e Contemporânea, já que existe grande complexidade na tecnologia necessária à prática laboratorial destes temas.

Alguns outros trabalhos sobre desenvolvimento de atividades experimentais de Física Moderna e Contemporânea com materiais de baixo custo aparecem principalmente nas revistas científicas, na área de ensino de Física, como exemplo: Ostermann e Cavalcante (1999), Cavalcante e Tavolaro (2002, 2004), Siqueira (2006), entre outros.

Quanto ao tratamento dado pelos livros didáticos aos temas de Física Moderna e Contemporânea, verifica-se certa insuficiência e superficialidade, já que esta abordagem aparece apenas ao final do último volume das coleções para o Ensino Médio, após esgotar todo o conteúdo da Física Clássica. É claro que os professores não conseguem nem mesmo introduzir esses tópicos, pois com um número de aulas de Física tão reduzido, é impossível contemplar todo o cronograma da Física Clássica, quanto mais introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea.

Brockington (2005) faz um levantamento sobre os temas mais abordados nos principais livros didáticos utilizados no Ensino Médio no Brasil. Os tópicos mais comuns nestes livros, de maneira geral são:

- Teoria da Relatividade Restrita;
- Física Quântica: Radiação de Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico e Dualidade Onda-Partícula;
- Física Nuclear: Radioatividade.

Esta superficialidade dos temas com pouco tratamento conceitual prejudica o desenvolvimento e o planejamento das aulas, pois dificulta o entendimento dos objetivos de ensino propostos em cada tópico. Assim, parece-nos bastante claro que estes temas somente estão presentes nos livros por uma obrigação imposta pelo PNLD.

Embora existam muitas propostas para que esta atualização realmente ocorra de maneira efetiva, existe uma grande preocupação em como realizar tais modificações no currículo. Existem muitos obstáculos que impedem esse processo, sendo um deles proposto pela complexidade dos temas de Física Moderna e Contemporânea e pela insegurança e despreparo dos professores quanto ao tema. Os cursos de licenciatura, quando abordam a temática, fazem-no de maneira mais superficial, e ainda são poucos os cursos de formação continuada sobre esses temas. Além disto, existe uma resistência inerente a todo o processo de mudança e transformação, uma vez que o professor possui seus costumes e repertórios enraizados na cultura da escola de que faz parte, e isto lhe transmite maior segurança, dificultando a introdução de novas atividades e nova visão sobre suas práticas didáticas.

Romper com a formação ambiente se constitui em condição necessária para investir na atualização curricular. O elemento que torna essa condição suficiente é a existência de alternativas de ensino capazes de serem implementadas no dia a dia dos professores. Ou seja, o rompimento com as práticas tradicionais requer que novas práticas sejam implementadas e para isso é essencial a existência de propostas de ensino testadas e bem fundamentadas (AZEVEDO, 2008, p. 22).

Segundo Zabala (1998), estas novas práticas testadas e bem fundamentadas podem ser expressas pelas *sequências didáticas*:

Um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (ZABALA, 1998, p.18).

Este tipo de atividade é bastante válida, pois permite que a pesquisa e o desenvolvimento das sequências de ensino e aprendizagem ocorram de maneira simultânea. No item seguinte deste capítulo, refletiremos sobre esse assunto.

2.2 Sequências de Ensino e Aprendizagem

As primeiras ideias e propostas de atividades curtas e específicas sobre ciências aparecem nos trabalhos de Lijnse (1995), onde tal estratégia didática passa a ser conhecida como sequências de ensino e aprendizagem – Teaching Learning Sequences (TLS) – que são concebidas, segundo Meheut e Psillos (2004), como união entre o desenvolvimento das concepções dos alunos e o desenvolvimento e replanejamento das sequências de atividades de temas específicos, que duram poucas semanas em um ciclo evolutivo e que enriquecem a pesquisa com novos dados.

No entanto, mesmo sendo uma atividade curta, que deve ser trabalhada em pouco tempo, há necessidade de adequação dos conteúdos e saberes escolares como tema das sequências. Assim, tanto o desenvolvimento como o replanejamento ou mesmo a aplicação das sequências de ensino e aprendizagem devem passar pelo processo de didatização, buscando atender a todos os critérios de sobrevivência no sistema didático.

Atualmente, encontramos muitas pesquisas na linha das sequências de ensino e aprendizagem com resultados importantes para a pesquisa em ensino de ciências, em que os principais trabalhos discutem diversos temas e conteúdos, como os trabalhos de Andersson et al. (2005); Leach e Scott (2002); Lijnse (1995); Lijnse e Klaassen (2004); Méheut (2005); Psillos, Tselfes e Kariotoglou (2004); Tiberghien (1996). Segundo Méheut (2005), as sequências de ensino e aprendizagem surgiram com a iniciativa de responder às pesquisas sobre as concepções informais dos alunos, desde as décadas de 70 e 80.

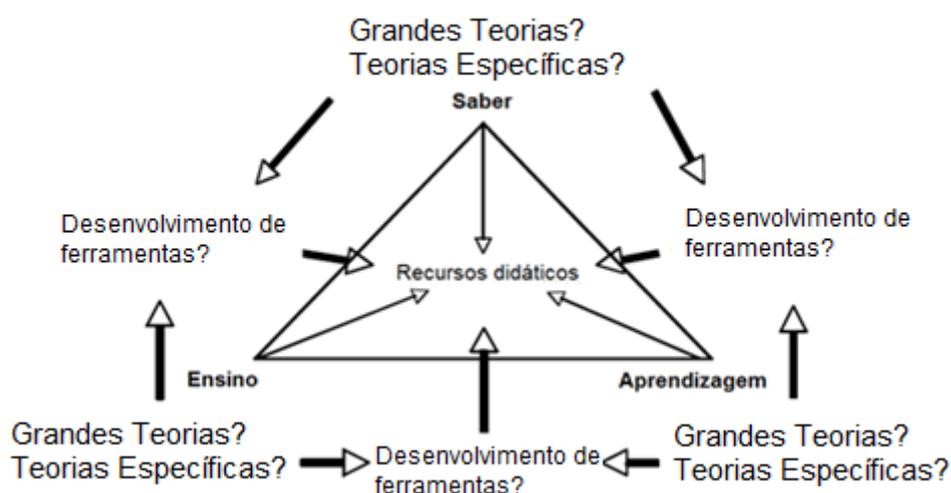
O planejamento real de uma sequência de ensino e aprendizagem exige a tomada de decisões importantes e específicas quanto ao conteúdo, à estrutura dos aspectos principais, à ordem em que são introduzidos, à duração de cada atividade e às estratégias de ensino. Assim, no planejamento de uma TLS, são necessários quatro componentes básicos e que estão inteiramente interligados: professor, alunos, mundo material e conhecimento científico. Devemos romper com as abordagens tradicionais, valorizando as concepções informais dos alunos quanto ao mundo real.

Além disto, para Tiberghien (2009), a estruturação de uma sequência de ensino e aprendizagem depende das Grandes Teorias, como exemplos a Sociologia do Conhecimento e Epistemologia do Conhecimento. A Teoria da Sociologia do Conhecimento é a responsável por intermediar as relações entre o sistema de ensino, a comunidade científica e a sociedade, envolvendo política para definir os objetivos educacionais e coloca os pesquisadores e educadores como responsáveis de estruturar o currículo oficial. Esta Grande Teoria pode ser representada pela Teoria da Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991). Porém, muitas vezes, as Grandes Teorias não são suficientes, pois não refletem diretamente a realidade das salas de aula, sendo necessárias Teorias Específicas para o desenvolvimento dos recursos didáticos. Essas Teorias podem ser:

- *Reconstrução Educacional* (DUIT et al.): reconstruir o conteúdo para que o aprendizado seja mais interessante.
- *Demanda de Aprendizagem* (LEACH et al.): operacionaliza a distância entre o saber a ensinar e o saber ensinado, permitindo que os alunos consigam transpor este obstáculo para efetiva aprendizagem.
- *Estruturas Didáticas* (LINJSE et al.): centrada na motivação dos alunos através da aprendizagem baseada em problemas.
- *Modelagem* (TIBERGHIEEN et al.): relaciona fenômeno analisado com o modelo inicial dos alunos e suas concepções, e o modelo científico.

A Figura 1 enfatiza os três polos da didática por meio das Grandes Teorias e das Teorias Específicas.

Figura 1. Estrutura global do quadro teórico que relaciona as Grandes Teorias e as Teorias Específicas com o desenvolvimento das ferramentas de ensino.



Fonte: traduzido de Tiberghien (2009 p. 2.278).

Segundo Tiberghien (2009), uma sequência de ensino e aprendizagem pode envolver várias etapas e componentes em sua estruturação e a organização didática, sendo importante destacar que não há ordem específica para introduzir um conteúdo, principalmente de maneira expositiva, como acontece no ensino de Física tradicional. Todo novo conhecimento é apresentado aos alunos por meio de atividades “mão na massa”, onde eles se reúnem em grupos para desenvolver a tarefa e compreendê-la; em seguida, o professor contextualiza a atividade, indicando os conceitos físicos mais relevantes.

Foi com base nesta ideia que aplicamos uma sequência de ensino e aprendizagem sobre o tema Raios Cósmicos no formato de um minicurso, cujo planejamento e elaboração foram organizados por um grupo de pesquisa em Astrofísica de Partículas e Ensino de Física, do Instituto de Física da USP de São Carlos. No capítulo 4, descreveremos como se deu a organização desta atividade, as pessoas envolvidas e como adaptamos o minicurso para ser aplicado no Ensino Médio.

Assim, neste trabalho, nosso objetivo é apresentar um minicurso de Raios C3smicos, j3 transformado e adaptado para a sala de aula, com base na Teoria da Transposi33o Did3tica, fornecendo aos professores de F3sica de Ensino M3dio um produto educacional que permite a inser33o de T3picos de F3sica Moderna e Contempor3nea no curr3culo de F3sica.

3. OS SABERES E A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA PARA O TEMA RAIOS CÓSMICOS

Quando se deseja inovar o conteúdo de uma disciplina, é necessário que um processo de transformação ocorra. Isto porque este novo conteúdo, nunca antes abordado, pertence apenas ao mundo acadêmico, ou seja, está apresentado em linguagem acessível apenas para cientistas ou especialistas na área, o que significa que está muito distante do universo escolar.

Quando falamos em Raios Cósmicos notamos de imediato um desconhecimento e até mesmo receio do que possam ser estes tais raios. Isso porque se trata de um conteúdo não ensinado nas salas de aula, e, para que passe a figurar no currículo escolar de Física, deve sofrer tal processo transformador. Neste capítulo apresentamos uma reflexão sobre como este processo ocorre, utilizando a Teoria da Transposição Didática de Yves Chevallard (1991).

3.1 A Transposição Didática

No intuito de investigar os processos de ensino e aprendizagem de conceitos da Matemática, surgiu na década de 60 a Didática Matemática, cujas principais vertentes de seus estudos são apresentadas pela Teoria das Situações Didáticas desenvolvidas por Guy Brousseau, e a análise do processo de Transposição Didática proposta por Yves Chevallard (1991). A ideia original de Transposição Didática foi proposta inicialmente por Michel Verret, em 1975, e inserida no contexto da Didática Matemática por Chevallard.

Para Chevallard, todo o saber¹ produzido pela comunidade científica deve ser transmitido primeiramente à comunidade científica e, posteriormente, à sociedade e especialmente à comunidade escolar, porém observamos constantemente que as novas descobertas e os novos saberes são transmitidos e veiculados apenas dentro da própria comunidade científica,

¹ Utilizaremos as palavras saber e conhecimento como sinônimos, no entanto, optamos por utilizar a palavra saber (savoir), opção adotada por Chevallard.

através de revistas especializadas e fazendo uso de uma linguagem bem particular: a matemática (PIETROCOLA, 2002).

Um dos principais papéis da escola é a transmissão do conhecimento produzido pela humanidade; mas, para que tais conhecimentos possam ser aprendidos pelos alunos, precisam ser ensinados de maneira diferente, específica apenas aos alunos, ou seja, precisam de uma “roupagem didática”, o que implica a existência de processos modificadores do conhecimento (PINHO ALVES, 2000a).

À Ciência cabe o papel de responder às perguntas que são formuladas e necessárias de serem respondidas em um determinado contexto histórico e social. Por outro lado, esses novos saberes precisam ser comunicados à comunidade científica, em primeiro plano, e à própria sociedade, em um segundo plano (MATOS FILHO et al., p. 1.191).

Dessa forma, faz-se necessária uma adaptação à linguagem dos alunos, mais simples e familiar, como mecanismo facilitador do aprendizado deste saber divulgado e compreendido apenas no âmbito científico.

Segundo Valdemarin (1998), o objetivo principal deste saber é promover a aprendizagem e, para tal, é necessário selecionar temas e conteúdos, propor e avaliar a execução de tarefas, propor modelos de raciocínio e investigação, e criticar as proposições existentes, salientando ainda a diferença entre o saber escolar e o saber comum.

Quando o professor faz uso de livros didáticos para preparar suas aulas, ele encontra um saber já modificado, adaptado às necessidades escolares, em linguagem acessível aos alunos e menos abstrata. Porém, este saber ainda mantém algum vínculo como saber científico.

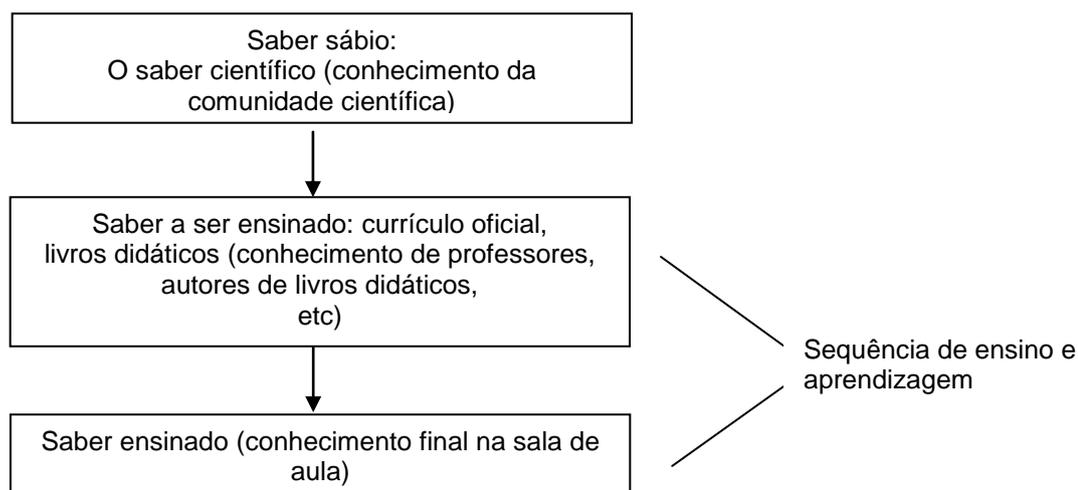
Muitos saberes não precisam ser ensinados na sala de aula, mas com o passar do tempo e o avanço nas pesquisas científicas, os saberes ensinados ficam ultrapassados e precisam ser atualizados, pois corremos o risco de que esses saberes antigos se popularizem, podendo ser ensinados pelos pais e, assim, a escola perde um de seus principais papéis.

Para Chevallard, o processo da Transposição Didática é constituído de duas etapas principais e apresenta alguns níveis bem definidos para os

saberes: **saber sábio** (científico), **saber a ensinar** (apresentado nos livros didáticos) e **saber ensinado** (o que o aluno aprendeu). Na primeira etapa, um grupo de pessoas deve encarregar-se de escolher os saberes a serem ensinados e realizar uma adequação desses saberes para que cheguem à sala de aula em linguagem apropriada aos alunos, ou seja, essas pessoas são responsáveis pela transformação de um saber sábio em um saber a ser ensinado. Essa equipe ou grupo de pessoas, responsáveis pela escolha e transformação dos saberes, pertencem ao que Chevallard denominou de **Noosfera** e está presente em todos os processos de transformação de um saber. Esse primeiro momento da transposição recebeu o nome de *Transposição Externa*.

A segunda etapa da transformação refere-se a um trabalho interno do professor, que é o responsável pela maneira como se dará o ensino do saber contido nos documentos oficiais, ou seja, o professor realiza um novo processo de transposição, pois a forma e o que ele realmente vai ensinar dependem muito de suas condições de trabalho e varia de escola para escola. Esta etapa recebe o nome de *Transposição Interna*.

Figura 1. Sequência de ensino e aprendizagem baseada no processo de Transposição Didática.



Fonte – traduzido de Tiberghien (2009, p. 2.279).

A Noosfera é definida por Chevallard como “*instituições de transposição de saberes*”, ou seja, uma esfera que pensa todo o funcionamento

didático, articulando as interações entre o ambiente social e o sistema didático. Em cada etapa do processo de transformação do saber, existem diferentes grupos de pessoas, dentro da Noosfera. Na primeira etapa da transformação, ou seja, na *Transposição Externa*, pertencem à Noosfera os pesquisadores, professores e educadores, especialistas, técnicos, autores de livros didáticos, e representantes do poder político, caracterizando um grupo bastante diversificado, e que pode figurar como palco de muitos conflitos e negociações sobre quais as mudanças efetivamente devem ser realizadas. Na etapa de *Transposição Interna*, a Noosfera é constituída pelos membros que convivem num mesmo ambiente escolar, professores, alunos, proprietários de escolas, diretores, coordenadores, pais de alunos, ou seja, toda a comunidade escolar.

3.1.1 O Saber Sábio

Nesta esfera do saber, encontramos o conhecimento produzido pelos cientistas em instituições de pesquisas. É tido como saber original e de mais alto nível. Este saber aparece nas revistas específicas para a comunidade científica, é bem estruturado e em linguagem própria aos acadêmicos, constitui um saber livre de emoções e subjetividades, pois antes de ser publicado, passa por um processo interno de transformação no qual assume um caráter impessoal adapta-se às normas e regras próprias da comunidade científica, conferindo, assim, anuência ao trabalho desenvolvido pelos pesquisadores. Esse processo de mudança e adaptação interna faz-se necessário para legitimar um saber.

Aqui, de certa forma, há uma transposição – não didática, mas, diríamos, científica caracterizada por uma **despersonalização** e **reformulação** do saber” (PINHO ALVES, 2000, p.224).

Além desse processo de adequação, o tempo tem um papel importante na construção do saber sábio, já que muitas vezes há um grande intervalo de tempo para a aceitação do saber teórico e, muitas vezes, maior ainda com o aguardo dos experimentos que visam a corroborar a teoria. Esse tempo de espera no processo de constituição do saber sábio é denominado “tempo real”. No entanto, ao ser publicado, o saber exhibe apenas um “tempo lógico” (SIQUEIRA, 2006).

O saber sábio, muitas vezes, não sofrerá um processo de transposição, ou seja, nem todo saber obrigatoriamente deverá chegar à sala de aula. No entanto, quando há um desgaste, surge a necessidade de atualização dos saberes com a produção de novos saberes para a sala de aula (AZEVEDO, 2008). Segundo Chevallard, um saber sofre com o tempo um desgaste “biológico” (afasta-se demais do saber sábio) e “moral” (torna-se obsoleto e aproxima-se muito do saber comum, podendo ser banalizado).

3.1.2 O Saber a Ensinar

O saber a ensinar surge no momento em que o saber sábio passa pela transposição didática, ajustando-se às novas demandas no âmbito escolar. Esse processo de modificação de um saber sábio envolve um número significativo de pessoas, e nesse momento temos uma Noosfera bastante abrangente e diversificada como autora desse processo de transformação; autores de livros didáticos, professores, especialistas e educadores, representantes do poder político e a opinião pública, caracterizando-se assim como uma esfera do saber diversificada e possível geradora de conflitos, mas que visa sempre à melhoria do processo de ensino e aprendizagem.

No Brasil, o saber a ensinar aparece nas Referências Curriculares do MEC e nos documentos de diretrizes curriculares das disciplinas, livros didáticos e materiais instrucionais, porém é apresentado de forma modificada em relação ao saber original, o que não figura apenas como uma mera simplificação de conhecimento. Essa mudança faz-se necessária, pois a linguagem presente na sala de aula é bem diversificada da linguagem dos cientistas, pois cada esfera da sociedade possui funções e interesses próprios, inviabilizando a difusão de um saber de maneira igual para todos.

Para que possa ser levado à sala de aula e, assim, ser difundido para a comunidade leiga, o saber sábio deve modificar-se e perder qualquer ligação com o ambiente epistemológico que o originou, o que significa, segundo Pinho Alves (2000b), que um novo nicho epistemológico, uma organização a-histórica passa a ter uma identidade e uma sequência própria e novos objetos de ensino que não fazem parte do saber sábio, passam a vigorar no saber a ensinar, mudando totalmente o contexto de cada saber.

3.1.3 O Saber Ensinado

Após sofrer a transposição externa, o saber a ser ensinado passa por uma nova etapa de modificação, a transposição interna. Este é o momento em que o professor, ao preparar suas aulas, adapta o saber a ensinar, contido nos livros didáticos, às suas diferentes necessidades, como o tempo disponível para as aulas, seus objetivos, público-alvo, infraestrutura escolar, podendo ser diferente de uma escola para outra. Assim, o professor torna-se o personagem principal desta etapa, já que é através de suas escolhas que o saber a ensinar chega ao aluno de fato e constitui o saber efetivamente ensinado.

Nesta esfera, predominam os valores didáticos, já que faz parte do trabalho e do planejamento do professor em suas práticas didáticas. Deve ter como foco as noções básicas que os alunos precisam efetivamente aprender, as dificuldades e os problemas com espaço físico e materiais, a necessidade de constituir e sustentar a comunicação didática e a autoridade do professor quanto ao domínio que deve apresentar sobre o saber (AZEVEDO, 2008).

3.1.4 A sobrevivência dos saberes

A Transposição Didática funciona como ferramenta de análise do caminho percorrido pelo saber sábio, desde o instante em que parte do meio acadêmico e científico até o momento em que chega à sala de aula, cabendo à noosfera as escolhas de quais saberes deverão passar por essas etapas de transformação e passarão a integrar o currículo escolar. Assim, o papel da noosfera é muito importante para garantir escolhas adequadas para que o saber sobreviva e não se torne obsoleto.

Muitos são os fatores que devem ser levados em consideração na escolha dos saberes, desde interesses políticos e comerciais até acadêmicos e pedagógicos, mas se um saber não atender a alguns critérios definidos por Chevallard, poderá não sobreviver no ambiente escolar, devendo permanecer apenas na esfera do saber sábio.

Segundo Chevallard, para que um saber possa ser transposto efetivamente, precisa possuir **consensualidade**, ou seja, o saber a ser ensinado, precisa apresentar um status de “verdade” histórica ou mesmo que

esta “verdade” seja momentânea. O professor não pode ensinar uma Física que nem mesmo os cientistas sabem ou não se constitui uma verdade. Esse é um motivo pelo qual conceitos da Física Clássica, como a cinemática, são amplamente abordados nas salas de aula, pois possuem um status de “verdade” há muito tempo.

Além disto, um saber deve ter **atualidade moral**. O saber deve ser adequado à sociedade e avaliado como importante e necessário à composição curricular. Se a sociedade julgar que este saber não é necessário, corre o risco de ser banido.

Deve possuir também **atualidade biológica**, devendo ser consistente com a ciência atual, ou seja, não dá para ensinar um conceito que há muito já foi superado e modificado, a menos que seja em uma abordagem histórica; por exemplo, podemos ensinar o modelo atômico utilizando o modelo de Thomson ou Rutherford apenas em um contexto histórico, de como se deu a evolução do modelo atômico até como o conhecemos atualmente.

Um saber precisa ser **operacional**, permitindo que diversos tipos de atividade possam ser desenvolvidas e trabalhadas em sala de aula, isto é, uma boa transposição deve gerar atividades possíveis de serem avaliadas.

Por fim, um saber, para ser transposto, deve apresentar **criatividade didática**, possuindo uma identidade própria, gerando atividades que existam apenas no âmbito escolar, não necessitando ter equivalência ao que a ciência realmente faz, como é o caso de atividades com escalas termométricas ou aplicações das Leis de Newton, pois estas são atividades desenvolvidas num contexto próprio, escolar, mas que carregam uma relação com o conhecimento sábio.

Além desses critérios, um teste fundamental é capaz de firmar a sobrevivência dos saberes. É o que Chevallard denominou de **Terapêutica**, que consiste em avaliar os resultados da aplicação em sala de aula, verificando se a “experiência” deu certo. Desta forma, o saber continua dentro do sistema didático, caso contrário deverá ser excluído.

3.2 As regras da transposição didática

Astolfi (1997) extraiu dos critérios apontados por Chevallard algumas regras da transposição didática, facilitando a análise e a validação de um processo transformador.

Regra I. Modernizar o saber escolar

Nos últimos anos, novos saberes, no âmbito científico, vêm sendo produzidos cada vez mais rapidamente, sendo utilizados nas novas tecnologias tão presentes no dia a dia da sociedade e dos alunos, como aparelhos e dispositivos eletrônicos mais modernos, devendo passar a figurar no contexto escolar e sendo inseridos nos livros didáticos com a finalidade de aproximar o conhecimento dos alunos com o que a ciência produz, permitindo uma nova visão da ciência e da própria sociedade.

É importante fazer uma aproximação dos conteúdos no livro didático, incluindo os novos saberes, pois, além de interesses comerciais, é fundamental a atualização da formação básica dos futuros profissionais nos cursos de graduação. A introdução de tópicos como “código de barras, funcionamento de um CD, termômetros ópticos, fotocopadora...”, por exemplo, são os indicativos de uma modernização do saber a ensinar (PINHO ALVES, 2000a, p. 235).

Regra II. Atualizar o saber a ensinar

Além de acrescentar novos saberes, é importante que outros muito “velhos” e já banalizados deixem os livros didáticos. Alguns saberes já não são mais reconhecidos pela comunidade científica e, com o tempo, acabam por aproximar-se demasiadamente do saber dos pais. Logo, o professor não pode ensinar algo que já está difundido na cultura cotidiana, obrigando o sistema didático a adequar-se, substituindo esses saberes pelos novos.

A introdução do novo leva ao descarte do antigo que não tem mais serventia. Atualmente tópicos como estudo de máquinas simples, entre elas o “sarilho”, régua de cálculo, termômetro de máximas e mínimas não fazem mais parte dos livros-texto, confirmando a presente regra. Regra que poderia ser entendida como a “luta contra obsolência didática” (PINHO ALVES, 2000a, p. 236).

Regra III. Articular o saber “novo” com o “antigo”

O processo da transposição torna-se mais adequado quando o “novo saber” possui boa articulação com o “antigo”. Nem todo saber “antigo” deve deixar os livros didáticos, apenas os que já se tornaram obsoletos; logo, quando inserimos um saber novo, é importante que ele carregue algum elo com o saber já existente, para que não crie nos alunos uma insegurança quanto ao que está sendo ensinado. Os alunos não podem achar que estão “jogando fora” tudo ou boa parte do que já aprenderam.

A introdução de elementos novos não pode negar ou refutar radicalmente os conteúdos antigos [...] A negação radical de um dado conteúdo gera sentimento de desconfiança, de dispensável, de prescindível por parte do estudante, fazendo-o evitar esforços no seu aprendizado (PINHO ALVES, 2000a, p. 237).

Regra IV. Transformar um saber em exercícios e problemas

Quanto maior for a operacionalidade de um saber, maior será sua chance de sobreviver nos programas escolares, novamente, quanto maior for a possibilidade de realizar atividades, exercícios, tarefas, que possam ser avaliadas pelo professor, mais chance esse novo saber terá de sobreviver no contexto escolar e de ser definitivamente inserido nos novos currículos.

A aquisição e o domínio deste saber, por parte do estudante, devem ser confirmados pela sua habilidade na solução de exercícios e problemas, cuja resposta envolve um resultado numérico do tipo “certo ou errado” (PINHO ALVES, 2000a, p.238).

Regra V. Tornar um conceito mais compreensível

É importante realizar uma adequação à linguagem do aluno, facilitando seu aprendizado. O novo saber não pode chegar à sala de aula nos mesmos moldes e linguagens que possui no mundo acadêmico. É necessário que se crie uma identidade própria do contexto escolar para os novos saberes. Atividades que existam apenas nos livros didáticos, com analogias que os alunos sejam capazes de compreender.

O saber a ensinar desenvolve uma linguagem própria, compatível com o nível de entendimento do estudante. Neste processo são criados objetos didáticos que permitem inserir elementos novos e facilitadores

do aprendizado, assim como utilizar uma matemática adequada para aqueles que estão sendo iniciados neste tipo de saber. Pode-se exemplificar por meio do conceito de força que substitui a derivada pelo “delta” (PINHO ALVES, 2000a, p. 238).

As atividades propostas aos alunos no minicurso sofreram um processo transformador, buscando atender a todos os critérios e regras da Transposição Didática. No entanto, só podemos dizer que foi bem-sucedida quando olhamos e analisamos o desenvolvimento da sequência de ensino e aprendizagem durante muito tempo, ou seja, somente depois de passar pela Terapêutica.

4. RAIOS CÓSMICOS

Neste capítulo apresentaremos a história e os conceitos físicos sobre o tema Raios Cósmicos. A Terra é constantemente bombardeada por uma radiação altamente energética vinda do espaço. Essa radiação recebeu o nome de *Raios Cósmicos*; e são consideradas partículas carregadas, predominantemente prótons, que viajam com velocidades próximas à da luz, atingindo a atmosfera da Terra com energias extraordinárias.

Muitos dos Raios Cósmicos são provenientes do Sol e estão intimamente relacionados aos fenômenos de fulgurações solares (ou “flares”), explosões violentas e abruptas das manchas solares. Ao atingir a Terra, a radiação interage com o campo magnético terrestre, e as partículas seguem as linhas de campo até a ionosfera (camada acima de 80 km de altitude), onde, em contato com os gases ali presentes, brilham, produzindo a Aurora Boreal. Podem ainda modificar o clima global da Terra, pois a ionização catalisa a formação de nuvens na parte superior da atmosfera.

Os efeitos que essa radiação vinda do Sol causa na Terra são bem conhecidos; no entanto, esses não são os únicos Raios Cósmicos que chegam à Terra. Partículas ultraenergéticas, vindas de distâncias cosmológicas, nos bombardeiam, mas conhecemos pouco sobre suas origens.

4.1 A História dos Raios Cósmicos

Se pensarmos em todo o desenvolvimento da história da Física, perceberemos que se trata de um caminho longo e de uma história muito antiga, nascida nos primórdios da Grécia Antiga, quando ainda tínhamos esta ciência como *filosofia natural*. No entanto, o tema em questão apresenta uma história muito recente, do início do século XX.

A sociedade do final do século XIX e início do século XX pode apreciar momentos de grandes e fervilhantes descobertas da ciência, em particular a das radiações. No final de 1895, Roentgen descobriu os raios-X, fato que revolucionou a Física e a medicina. Logo no início de 1896, Henri Becquerel interessou-se pelos resultados de Roentgen e, investigando corpos

fosforescentes, descobriu que estes emitiam continuamente uma radiação. Estava descoberta a radiatividade. Muitos, na época, interessaram-se por tantas novidades, inclusive Marie e Pierre Curie e Rutherford. Logo descobriram que as emissões radioativas eram no mínimo compostas por dois tipos diferentes de “raios”: os *raios beta*, (β), que penetravam facilmente barreiras grossas, e os *raios alfa*, (α), que apresentavam uma carga bem maior e não atravessavam nem mesmo uma barreira muito fina.

Toda a comunidade científica encontrava-se alvoroçada com tantos “raios” e acreditava que ainda havia muito que se descobrir. Por volta de 1910, um fato interessante chamou a atenção dos físicos que estudavam os raios α , β e γ . Eles perceberam que objetos carregados e isolados perdiam suas cargas após certo tempo. Para verificar esse fenômeno, utilizaram um *eletroscópio*, carregado e completamente isolado, e este também se descarregava depois de decorrido algum tempo. Este aparelho simples consiste em duas folhas de ouro muito finas, mantidas no interior de uma caixa com paredes de vidro. Com uma haste carregada e de carga conhecida, tocam-se as folhas de ouro, que se carregarão e sofrerão uma repulsão, afastando-se uma da outra.

Figura 2. Representação de um eletroscópio.



(Fonte – adaptado de <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/fenomenos/eletroscopios/>)

O que se observava era que, depois de decorrido certo tempo, as folhas de ouro perdiam essas cargas, voltando a ficar juntas, mesmo estando

isoladas eletricamente, isso porque, às vezes, as moléculas do ar contido dentro da caixa de vidro perdiam alguns elétrons, ou seja, o ar era ionizado, e estes elétrons livres eram atraídos pelas folhas de ouro, neutralizando-as novamente. Mas o que causava esta ionização do ar? Sabia-se que tanto os raios-X, como as radiações α , β e γ eram capazes de descarregar imediatamente um eletroscópio; logo, a primeira justificativa foi que, na composição dos materiais que constituíam o aparelho, havia resíduos de substâncias radioativas. Esse argumento é válido, mas não suficiente para justificar o fenômeno nos eletroscópios. Assim, a segunda justificativa foi que, no solo da Terra, existem muitas dessas substâncias radioativas e podem ser a fonte da radiação ionizante do ar.

Se a radiação é proveniente do solo, então quanto mais distante da superfície, menor será seu efeito sobre os eletroscópios. Este foi o pensamento de Theodor Wulf (1868-1946), padre jesuíta e físico holandês, que, em 1910, subiu no alto da torre Eiffel, a 325 metros de altura, para verificar a ionização do ar. Para sua surpresa, este fenômeno ocorria em níveis maiores do que na superfície.

Entre 1911 e 1913, Victor Hess (1883-1964), físico e balonista, fez 10 voos de balões carregando eletroscópios, chegando até a 5 km de altitude, em voos sem nenhuma segurança.

Figura 3. Victor Hess em seu balão.



(Fonte: http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_50/raios_cosmicos.html)

As observações de Hess levaram-no a resumir suas conclusões anunciando: “os resultados de minhas observações são mais bem explicados pela hipótese que uma radiação de grande poder penetrante entra em nossa atmosfera vinda de cima”. Hess também observou que a taxa de ionização era a mesma de dia ou de noite, o que significa que não é proveniente do Sol. A confirmação dessa observação veio no voo que fez em 12 de abril de 1912, durante o eclipse Solar. Em 1936, Hess ganhou o prêmio Nobel pela descoberta dos Raios Cósmicos (ENDLER, 2007).

Robert Millikan (1868-1953) também se interessou pelo estudo dessa nova radiação; no entanto, sugeriu que esta seria uma radiação neutra, muito energética (200 MeV) e extragaláctica. Também realizou experimentos nos fundos de lagos, confirmando que a radiação vem de cima. Millikan nomeou a radiação penetrante como a conhecemos hoje, *Raios Cósmicos*. Nos anos seguintes, muitos físicos, em diversos locais do mundo, realizaram novas medições, com novos voos com cabines pressurizadas, o que permitiu atingirem maiores altitudes, e a conclusão a que todos chegaram foi que essa radiação cósmica é muito mais penetrante do que qualquer outra radiação conhecida.

Mas qual a constituição dessa radiação? Em 1927, o físico holandês Jacob Clay (1882-1955) mediu a intensidade da ionização do ar em função da latitude geomagnética da Terra. Viajando entre a Holanda e Java, pôde perceber que a taxa de ionização diminuía no Equador. Deduziu, então, que os Raios Cósmicos que chegavam à Terra eram, em sua grande maioria, partículas carregadas. Em 1930, Arthur Compton (1892-1962) realizou esta experiência em diversos locais do mundo, confirmando as observações de Clay. Logo depois, em 1933, Compton também observou que há uma incidência maior de raios chegando à Terra da direção oeste. Este efeito é devido ao campo magnético terrestre, que desvia as partículas carregadas. Assim, puderam concluir que a carga dos Raios Cósmicos é *positiva*.

O campo de estudo dos Raios Cósmicos possibilitou à Física uma nova vertente na qual, novas partículas puderam ser descobertas, sendo a primeira delas o *pósitron*, a antimatéria do elétron, prevista por Paul Dirac (1902-1984) e descoberta acidentalmente por Carl Anderson (1905-1991),

quando tentava, sem sucesso, que seu mestre, Millikan, se convencesse de que os Raios Cósmicos eram prótons e não raios gama.

Durante a década de 30, na França, o físico Pierre Auger (1899-1993) dedicou-se aos estudos dos Raios Cósmicos e, em 1938, espalhou alguns detectores na região dos Alpes e verificou que dois deles, próximos um do outro, registram um sinal de partículas que chegaram simultaneamente. Foram descobertos os chamados “chuveiros aéreos extensos” ou “chuveiro cósmico”.

4.2 Raios Cósmicos no Brasil

No Brasil, as pesquisas em Raios Cósmicos iniciaram-se com a chegada do físico alemão Bernhard Gross (1905-2002) no Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro, em 1933, e com a chegada do físico ítalo-russo Gleb Wathagin (1899-1986), em 1934, na Universidade de São Paulo. Wathagin formou um grupo experimental, do qual integravam Marcelo Damy de Souza Santos (1914-2009) e Paulus Aulus Pompéia (1911-1993). Seus trabalhos sobre chuveiros penetrantes conduziram a importantes descobertas, uma das quais foi sobre a forma de produção das partículas penetrantes que não poderiam ser produzidas por materialização de fótons na matéria (caso de elétrons e prótons), mas, sim, por interações nucleares². Além disso, Wathagin, Damy e Pompéia publicaram o primeiro trabalho brasileiro na *Physical Review*, em 1939.

No entanto, foi em 1947 que os estudos sobre Raios Cósmicos levaram a uma importante descoberta de repercussão internacional na área: a detecção do méson pi (píons), e o brasileiro César Lattes (1924-2005) teve fundamental participação nos trabalhos.

Em meados da década de 30, Hideki Yukawa (1907-1981) fez uma previsão teórica da existência de uma partícula responsável pela força forte, que mantém estável e coeso o núcleo atômico. Essa partícula, o méson de Yukawa, apresentava-se extremamente relevante na época, e sua verificação era fundamental.

² Informações obtidas na Revista do CBPF disponível em <http://portal.cbpf.br/index.php?page=divulgacao.revista>, Laboratório de Raios Cósmicos.

O italiano Giuseppe Occhialini (1907-1993), professor de Lattes, foi afastado da Universidade de São Paulo devido à Segunda Guerra Mundial. Com o fim da Guerra, Occhialini foi para a Universidade de Bristol, atraído pelas inovações em emulsões fotográficas, pois estas eram fundamentais para suas pesquisas com partículas nucleares. Conseguiu do chefe do laboratório, Cecil Frank Powell (1903-1969), um estipêndio para Lattes, permitindo que fizesse, então, parte do grupo de pesquisas na Universidade de Bristol, em 1946.

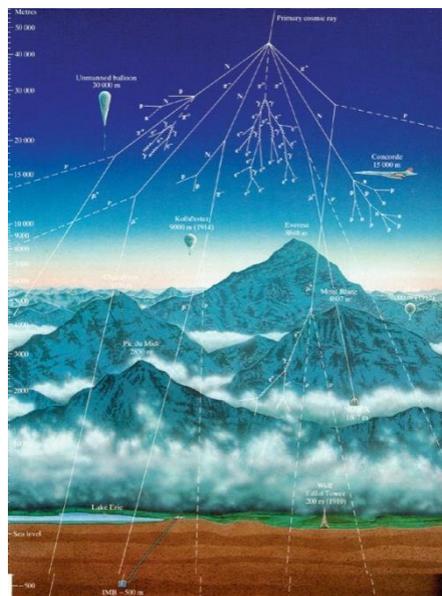
Lattes e Occhialini expuseram chapas nos Pirineus, por cerca de um mês e, ao revelarem, perceberam que uma nova partícula havia sido detectada, o méson que todos estavam procurando, previsto anteriormente por Yukawa. Em seguida, Lattes viajou para a Bolívia com o intuito de confirmar a existência dessa partícula, realizando experimentos no monte Chacaltaya, a 5,2 km de altitude.

Em 1947, Lattes deixou Bristol e seguiu para a Universidade da Califórnia, em Berkeley, para estudar píons produzidos artificialmente no ciclotron que havia entrado em funcionamento recentemente. Ele e o norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) conseguiram detectar mésons pi produzidos nos choques entre partículas que ocorriam no acelerador. Assim, as descobertas de Lattes, em Bristol e em Berkeley, renderam-lhe reconhecimento internacional.

4.3 Chuveiros Aéreos Extensos

A todo instante, nosso corpo é atravessado por minúsculos invasores do espaço, que são subprodutos dos Raios Cósmicos. O próton (ou outros núcleos), altamente energético, vindo do espaço e que atinge o topo da atmosfera da Terra, recebe o nome de *radiação primária* e interage com os átomos da atmosfera, produzindo novas partículas, que constituem, então, a *radiação secundária*. Este processo ocorre de maneira a formar realmente um chuveiro ou uma cascata de novas partículas, pois estas também interagem com os átomos da atmosfera, formando novas partículas, e outras sofrem um decaimento, transformando-se novamente. É um fenômeno de reação em cadeia, do qual, a partir de um único próton incidente no topo da atmosfera obtemos no solo, algo em torno de 100 000 000 000 de partículas, espalhadas em uma área que pode abranger dezenas ou centenas de km².

Figura 4. Representação dos chuveiros aéreos extensos.



(Fonte – disponível em <http://www.cienciamao.usp.br/mesonpi/index.php?painel=10>)

Ao interagir com a atmosfera, a radiação primária produz píons carregados, píons neutros e fragmentos nucleares. Esses fragmentos, e eventualmente alguns píons, sofrerão novas interações nucleares, desencadeando todo o processo. Os píons neutros decaem rapidamente,

dando origem ao chuva eletromagnético, e os píons carregados decaem em múons e neutrinos, e alguns múons decaem em elétrons e mais neutrinos. Grande parte de todas estas interações ocorre a dezenas de quilômetros de altitude; no entanto, como os múons sofrem o efeito da dilatação do tempo segundo as transformações de Lorentz, conseguem facilmente penetrar a atmosfera e chegar à superfície da Terra, o que implica que uma considerável quantidade de múons compõe a radiação detectada no solo.

4.4 Raios Cósmicos Ultraenergéticos

Na Astrofísica de Partículas, o tema mais instigante e fascinante envolve os Raios Cósmicos Ultraenergéticos. Estas partículas viajam a velocidades próximas à da luz (300 000 km/s) com energias aproximadamente um milhão de vezes maiores que as fornecidas pelos maiores aceleradores de partículas do mundo. Para que um acelerador de partículas conseguisse atingir a energia de um Raio Cósmico Ultraenergético, seu tamanho seria equivalente a um anel de raio igual a distância da Terra ao Sol.

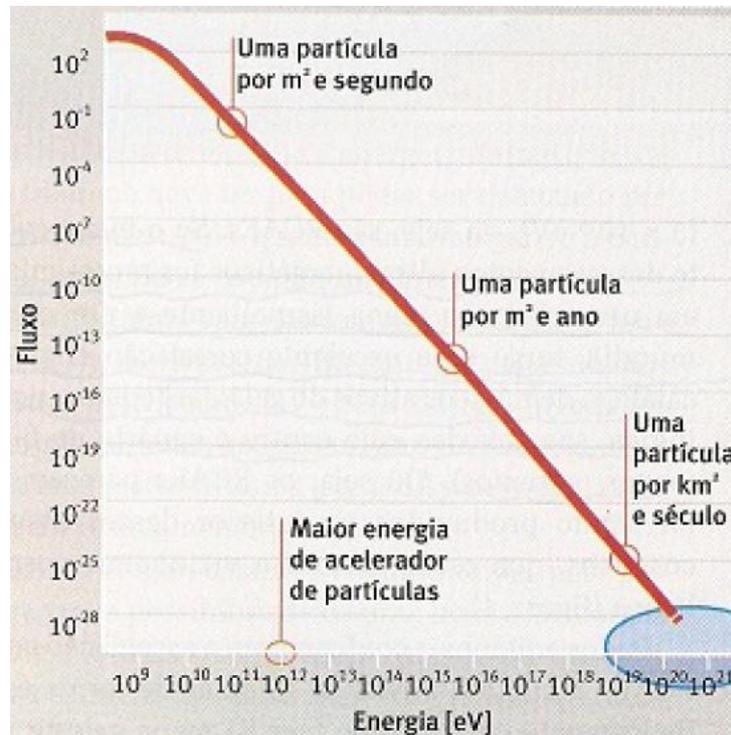
Os Raios Cósmicos menos energéticos, com até 10^9 eV, são provenientes do Sol e chegam à Terra em quantidade bastante grande. Os raios com energia de até 10^{17} eV, são criados a partir das supernovas, estrelas que explodem ao chegar ao final da vida. Já os Raios Cósmicos Ultraenergéticos, com energias acima de 10^{19} eV, constituem um grande mistério, pois nada sabemos sobre suas origens.

Essas energias são medidas em unidade elétron-volt (eV) que, comparadas às energias dos fenômenos de nosso dia a dia, são desprezíveis, no entanto as entidades que as transportam são cerca de um trilhão de vezes menores que um grão de areia e se apenas um micrograma desse Raio Cósmico Ultraenergético atingisse a Terra, o impacto equivaleria ao de um asteroide com a massa do monte Everest, viajando a uma velocidade de 200 000 km/h.

Para descobrir a origem dos raios ultraenergéticos, é necessário detectar e analisar uma amostra significativa de eventos, no entanto o fluxo de

raios que chegam à Terra depende da energia que eles carregam, como nos mostra a Figura 6.

Figura 5. Fluxo de radiação primária incidente na Terra em relação à energia.



(Fonte: Mello Neto)

Sabemos que os Raios Cósmicos Ultraenergéticos viajam pelo espaço intergaláctico com velocidades próximas à da luz. No caminho, interagem violentamente com fótons, perdendo energia rapidamente. Os cálculos preveem que um Raio Cósmico Ultraenergético não poderia viajar além de 100 megaparsecs³, o que significa que, se conseguir chegar à Terra, é porque este raio se originou em um lugar cosmologicamente “perto”. Se esta previsão estiver correta, devemos realmente observar uma queda brusca no fluxo de Raios Cósmicos para energias muito altas. Esta queda recebe o nome de corte GZK, em homenagem aos físicos Kenneth Greisen (1918-2007), Georgiy Zatsepin (1917-2010) e Vadim Kuzmin (1937-), pioneiros no estudo desse fenômeno.

³1 megaparsec equivale a 3,3 milhões de anos-luz; 1 ano-luz equivale a 9,5 trilhões de quilômetros.

Vários experimentos foram realizados para estudar esse efeito, porém os resultados foram controversos. A solução encontrada foi reunir um grupo de cientistas e formar um consórcio internacional para a construção do maior laboratório de Raios Cósmicos da história, o Observatório Pierre Auger.

Os resultados obtidos pelo observatório mostram-nos que os Raios Cósmicos Ultraenergéticos são anisotrópicos, ou seja, não vêm com a mesma probabilidade de todas as regiões do céu. Se olharmos o mapa celeste, que contém todos os eventos ultraenergéticos registrados pelo observatório, percebemos uma correlação com núcleos ativos de galáxias (AGN), sugerindo, fortemente, que esses raios podem estar sendo produzidos no interior destes objetos, confirmando a previsão de que estejam originando-se nas vizinhanças da Terra.

Porém, existem outros mecanismos candidatos a produtores e aceleradores desses raios, mas para que sejam avaliados como possíveis fontes com maior certeza, é necessário que todos estes efeitos se distribuam no céu da mesma maneira que os AGNs.

- *Explosões de raios gama*: são os eventos mais luminosos e energéticos do Universo, originados possivelmente no nascimento dos buracos negros ou nos choques de estrelas de nêutrons ou de buracos negros.
- *Objetos na Via Láctea*: são estrelas de nêutrons jovens, pulsares ou buracos negros. Porém, é muito mais improvável que esses raios sejam produzidos no interior de nossa galáxia.
- *Partículas exóticas*: são previstas, mas nunca foram detectadas. Seriam partículas pesadas de matéria escura que, ao decaírem, produziriam os Raios Cósmicos Ultraenergéticos.
- *Defeitos topológicos*: são diminutos volumes de espaço-tempo que se “esqueceram” de explodir no Big Bang, armazenando incríveis quantidades de energias.

É necessário coletar muitos dados para obtermos respostas sobre a origem dos Raios Cósmicos Ultraenergéticos com maior clareza e certeza, porém os esforços já começaram, pois além do observatório na Argentina, está em andamento um projeto para a construção de um segundo sítio em Utah, nos Estados Unidos, o que garante o monitoramento de todas as regiões do céu. Como a extensão do novo sítio será maior e com tanques mais espaçados, prevê-se detectar chuvecos com energias muito mais elevadas, que nem mesmo se encaixe no modelo utilizado para se estudar o microuniverso atômico, permitindo emergir uma nova Física. Esta é, sem dúvida, uma das áreas de pesquisas mais misteriosas e instigantes da atualidade.

4.5 Observatório Pierre Auger

A energia de um Raio Cósmico Ultraenergético é tão grande que não poderia ser reproduzida por nenhum acelerador de partícula existente atualmente na Terra. Para estudarmos essas partículas viajantes do Universo, suas altíssimas energias e como conseguiram uma aceleração para se propagarem com a velocidade da luz, foi necessário construir o maior experimento de Raios Cósmicos do mundo, o Observatório Pierre Auger, localizado na cidade de Mendoza, Argentina, contando com a colaboração de mais de 490 cientistas dos países: Argentina, Austrália, Bolívia, Brasil, Croácia, República Checa, França, Alemanha, Itália, México, Holanda, Polônia, Portugal, Eslovênia, Espanha, Reino Unido, Estados Unidos e Vietnã. Também já está em andamento o projeto de construção do segundo sítio, no Colorado, permitindo aos astrofísicos de partículas um monitoramento de todo o céu.

Figura 6. Prédio Central do Observatório Pierre Auger.



(Fonte: www.auger.org)

O tamanho deste observatório deve ser suficientemente grande para se detectar um número significativo de eventos, pois os Raios Cósmicos Ultraenergéticos são muito raros. A Figura 8 mostra um comparativo entre o tamanho do campo de detectores e a cidade de Roma.

Figura 7. Comparação entre a extensão territorial do Observatório Pierre Auger e a cidade de Roma.



(Imagem retirada do vídeo disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=cBgUHPyvjhU>)

Para detectar partículas elementares, utiliza-se tecnologia relacionada à sua faixa de energia e a que tipo de interação ela está sujeita. O tamanho dos detectores está diretamente relacionado à energia das partículas. Podemos pensar da seguinte maneira: uma partícula com energia muito alta percorre uma distância muito grande em um determinado intervalo de tempo. Além disso, pelo Princípio da Inércia, quanto maior a massa inercial, maior será a dificuldade em modificar o movimento da partícula, ou seja, este processo leva um tempo maior. Dessa forma, são utilizados grandes detectores para partículas de altas energias, oferecendo maior volume pelo qual as partículas podem mover-se e em tempo suficiente para interagir com o meio.

No caso do Observatório Pierre Auger, podemos dizer que se trata de um detector “híbrido”, pois faz uso de dois métodos distintos para detectar a energia dos Raios Cósmicos. O primeiro detecta a partícula através de sua interação com a água, e o segundo, de sua interação com o ar. Como os eventos ultraenergéticos são raros, a extensão do laboratório deve ser grande. São 1.624 tanques detectores de luz Cherenkov distantes 1,5 km uns dos outros e espalhados por uma área de 3 mil km², equivalente a três vezes o município do Rio de Janeiro. Cada tanque, com 1,5 m de altura e 3,5 m de diâmetro, contém 12 toneladas de água pura para evitar o crescimento de bactérias, garantindo maior transparência possível. Dentro dos tanques, existem três tubos fotomultiplicadores que captam e amplificam uma luz muito tênue emitida pela partícula quando ela atravessa a água com uma velocidade maior do que a velocidade da luz neste meio. O índice de refração da água é aproximadamente 1,33 logo, a velocidade da luz na água é $c' = \frac{c}{n} = 2,26 \cdot 10^8$ m/s. Qualquer partícula que atravesse a água com velocidade maior que c' produz uma luz natural azulada, devido ao efeito óptico denominado efeito Cherenkov.

Figura 8. Tanque detector.



(Fonte: www.auger.org)

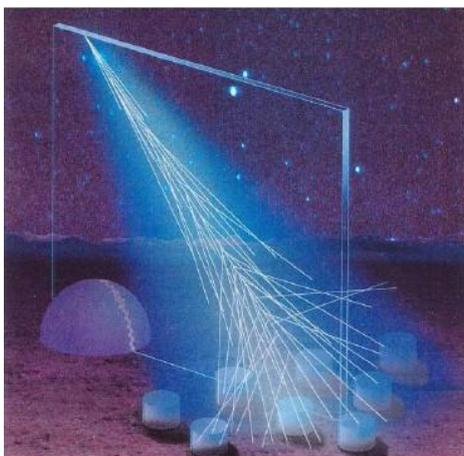
Além dos detectores terrestres, o observatório conta com 24 telescópios de fluorescência, localizados em quatro pontos estratégicos ao redor do observatório. Ao atravessar a atmosfera, as partículas carregadas ionizam as moléculas de nitrogênio e, na recombinação dos íon, uma luz ultravioleta é emitida através do processo de fluorescência. Essa luz é invisível ao olho humano, mas não para os telescópios do Auger, que detecta o brilho deixado pelo rastro como se fosse uma lâmpada UV, podendo chegar a 4 Watts quando a cascata atinge seu tamanho máximo. No entanto, só funciona quando não há Lua no céu.

Figura 9. Telescópios de Fluorescência.



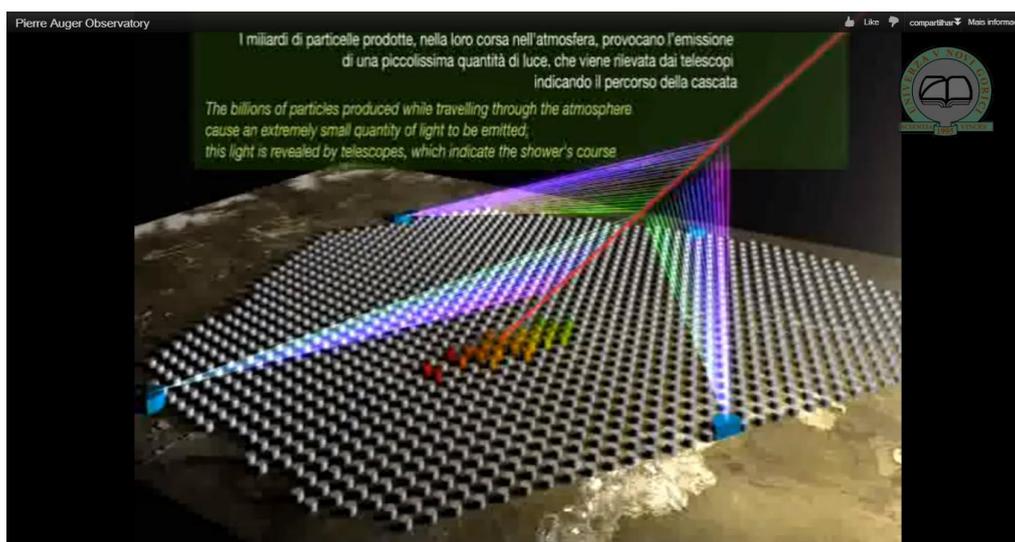
(Fonte: www.auger.org)

Figura 10. Ilustração mostrando os dois mecanismos de detecção.



(Fonte: www.auger.org)

Figura 11. Detecção pelos telescópios de fluorescência e taques.



(Imagem retirada do vídeo disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=cBqUHPyvjhU>)

Com estes dois métodos, é possível identificar a intensidade do sinal detectado em cada tanque quando um chuveiro chega ao solo e, por conservação de energia, descobrir o valor total da energia do chuveiro e, conseqüentemente, da partícula primária incidente no topo da atmosfera.

5. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS E CONTEXTO ESCOLAR

Neste capítulo serão abordados os aspectos teóricos da metodologia de pesquisa, como surgiu a ideia de utilizar a temática Raios Cósmicos para a sequência de ensino e aprendizagem e qual o contexto escolar em que as atividades foram desenvolvidas.

5.1 Metodologia de pesquisa

Pesquisas em Ensino de Física no contexto da inovação curricular, por meio da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, figuram no cenário acadêmico há duas décadas, pelo menos, como dito anteriormente. No entanto, lembramos que muitas estão focadas nas justificativas para inserir tais tópicos no currículo e poucos são os trabalhos focados na elaboração e aplicação de materiais e sequências de ensino-aprendizagem que possam realmente levar a Física Moderna e Contemporânea para a sala de aula. Nosso trabalho aponta nesta direção, de “como fazer”, e precisamos de uma metodologia de pesquisa apropriada para este estudo. Entretanto, segundo Gonçalves (1997), quando nos referimos à pesquisa em ensino, deparamo-nos com diferentes fenômenos educacionais, o que permite ao pesquisador adequar sua investigação quanto a suas convicções, à sua visão de Ciência e sua formação acadêmica.

A pesquisa em Educação pode ser classificada quanto à forma de abordagem do problema, podendo ser *quantitativa*, traduzindo em números as opiniões e informações a fim de classificá-las e analisá-las, ou *qualitativa*, na qual a objetividade e a subjetividade do sujeito estão intrinsecamente ligadas e é a interpretação do fenômeno a base da pesquisa. Para este trabalho, escolhemos caminhar com base na pesquisa qualitativa devido à complexidade e à subjetividade no desenvolvimento e na implementação da sequência de ensino e aprendizagem que nos propomos a realizar.

Luna (2000) diz que, na pesquisa qualitativa, a escolha da técnica de análise está diretamente relacionada ao problema a ser investigado, devendo a teoria sugerir perguntas, mas também indicar possibilidades de interpretação.

Minayo (1994) afirma que a pesquisa qualitativa permeia o mundo real, onde as questões são particulares e não podem ser traduzidas em números, pois carregam inúmeros sentimentos e significados, motivos, aspirações, valores e crenças.

Para Suassuna, o pesquisador conduz sua investigação e analisa à medida que o processo se desenvolve, tomando suas hipóteses como ferramenta que o norteia em um contexto real.

Numa abordagem qualitativa, o pesquisador coloca interrogações que vão sendo discutidas durante o próprio curso da investigação. Ele formula e reformula hipóteses, tentando compreender as mediações e correlações entre os múltiplos objetos de reflexão e análise. Assim, as hipóteses deixam de ter um papel comprobatório para servir de balizas no confronto com a realidade estudada (SUASSUANA, 2008, p.349).

A pesquisa qualitativa não é evidente, obrigando o pesquisador a ter uma postura bastante flexível para formular e reformular hipóteses. No entanto, toda a subjetividade inerente a este processo não se classifica como obstáculo na construção de conhecimentos científicos, pois a subjetividade pode ser considerada parte integrante da singularidade do fenômeno social (MINAYO, 2000).

Segundo André (2000), em uma abordagem qualitativa, a teoria se constrói e reconstrói no próprio processo de pesquisa, onde a análise ocorre de maneira paralela à observação. A todo o momento, o pesquisador decide o que deve selecionar e o que irá abandonar.

Cavalcanti e Moita Lopes⁴ *apud* Suassuna (2008) apontam algumas características da pesquisa qualitativa:

- Ser uma pesquisa eminentemente exploratória;
- Não exigir hipóteses prévias nem categorias rígidas de análise;
- Permitir ao pesquisador tomar decisões ao longo do estudo;

⁴ CAVALCANTI, M. C.; MOITA LOPES, L. P. Implementação de pesquisa na sala de aula de línguas no contexto brasileiro. **Trabalhos em Linguística Aplicada**, n.17, p. 133-144, jan./jun.1991.

- Possibilitar uma teorização calcada nos dados;
- Preocupar-se com o particular.

Erickson (1998) também nos mostra como a pesquisa qualitativa se encaixa de maneira mais adequada neste trabalho.

Os objetivos essenciais da pesquisa qualitativa são detalhar a condução de eventos diários e identificar o significado que estes eventos têm para aqueles que participam deles e para quem os presenciam.[...] A pesquisa qualitativa em educação é especialmente apropriada quando se deseja: informações detalhadas sobre implementação; identificar nuances do entendimento subjetivo que motiva vários participantes (ERICKSON⁵ *apud* BROCKINGTON, 2008, p. 116).

Lüdke e André (1986) apontam a insuficiência da abordagem analítica experimental no caso de estudos na área da Educação, pois no processo de se isolar as variáveis envolvidas no problema, corre-se o risco de perder informações, submetendo a complexa realidade a um simples mecanismo de análise de dados.

O fenômeno educacional encaixa-se num contexto sócio-histórico mais amplo, e o pesquisador preocupa-se mais com o processo do que com o produto, é mais interessante consolidar abstrações do que comprovar hipóteses. Porém, a ausência de hipóteses não reflete a falta de referencial teórico para a coleta de dados ou não significa que tal pesquisa seja desprovida de rigor e confiabilidade, pois simplesmente, neste tipo de abordagem, os procedimentos são um pouco diferentes, atendendo às demandas de diferentes dimensões que, após análise de dados, deverão ser possivelmente explicadas por meio de princípios subjacentes ao fenômeno estudado, situando-os em um contexto amplo dentro do qual o fenômeno possa ser interpretado.

Na pesquisa qualitativa, os dados não estão evidentes e devem ser cuidadosamente selecionados pelo pesquisador. Na verdade, segundo Lüdke e

⁵ ERICKSON, F. Qualitative Research Methods for Science Education. In: FRASER, B.J.; TOBIN, K.G. (Org.). **International Handbook of Science Education**, Part One. Kluwer Academic Publishers, 1998.

André (1986), os melhores dados são aqueles que ajudam o pesquisador a compreender e a interpretar melhor o fenômeno estudado.

Neste trabalho, tomamos como referencial metodológico o estudo de caso no qual buscamos analisar se uma sequência de ensino e aprendizagem que tenha sofrido um processo transformador pôde ser aplicada com êxito em sala de aula.

O estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto, ou indivíduo, de uma fonte de documentos ou de um acontecimento específico (MERRIAM⁶, 1988 apud BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 89).

Neste tipo de pesquisa, os dados e as respectivas análises vão afunilando no decorrer de todo o processo, pois no início de um estudo qualitativo as perguntas aparecem num âmbito mais amplo, sem muita especificidade. A condução do estudo e as estratégias a serem utilizadas podem sofrer modificações à medida que se aprofunda o conhecimento da pesquisa.

Os instrumentos de coleta de dados podem ser de diferentes naturezas: observação participante, entrevista aberta ou semi-estruturada e análise documental. Segundo Bogdan e Biklen (1994), estes estudos estão centrados em três setores:

- Um local específico dentro de uma organização (neste trabalho, focamos a sala de aula dentro da organização escola).
- Um grupo específico de pessoas (um determinado grupo de alunos na sala de aula).
- Qualquer atividade dentro dessa organização (a atividade da determinação da direção de um Raio Cósmico).

O estudo de caso de observação participante exige uma interação entre o pesquisador e o pesquisado. As informações coletadas e as respostas às indagações da pesquisa dependem, de certo modo, do comportamento e das relações do pesquisador com o pesquisado. Como estamos analisando um grupo de alunos em uma situação de sala de aula, na qual há um envolvimento

⁶ MERRIAM, S. B. *Case study research in education*. São Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1988.

direto do professor/pesquisador, que tem um papel de condutor e norteador dos conflitos e atividades desenvolvidas por seus alunos, escolhemos a observação participante como instrumento de coleta de dados mais relevante.

É através deste referencial e de dados gerados por meio de gravações das atividades de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre Raios Cósmicos que vamos buscar uma análise subjetiva, mas que nos permita levantar possíveis explicações a fim de interpretarmos e compreendermos de maneira satisfatória como se dá o processo de implementação desta sequência sobre Raios Cósmicos.

5.2 A professora pesquisadora e o curso de formação de professores

Juntamente com as pesquisas sobre a inovação curricular, um assunto que muito se discute é a necessidade de mudanças também na prática docente tradicional; no entanto, as propostas existentes não são claras e acabam por confundir mais os professores, impedindo que eles se manifestem rumo a alguma mudança. Além disso, na grande maioria das vezes, os professores estão sobrecarregados em sua carga horária, com outras tarefas pessoais e não têm tempo para se dedicar aos estudos de teorias pedagógicas nem mesmo em como aplicá-las.

Felizmente, existe um grande esforço de muitos pesquisadores que oferecem aos professores cursos de formação e que podem auxiliar neste processo de inovação, alavancando novas ideias e motivando trabalhos diferentes e significativos em sala de aula.

Este trabalho surgiu como meio de concretizar novas perspectivas no cenário da Física no Ensino Médio, através de um curso de formação de professores no qual, assuntos de Física Moderna e Contemporânea foram abordados a fim de focar a introdução destes tópicos no currículo atual de Física.

A professora pesquisadora possui formação em licenciatura em Física, e leciona há 5 anos no Ensino Médio e Superior, no entanto não contemplou em sua graduação, nenhuma disciplina específica envolvendo o assunto abordado na sequência proposta neste trabalho: Raios Cósmicos.

No início de 2011, quando conheceu o Prof. Dr. Marcelo Alves Barros, do Instituto de Física de São Carlos – USP, teve a oportunidade de participar de um curso de formação de professores multiplicadores de Física, cujo tema foi “Partículas Elementares e Raios Cósmicos”. O curso ocorreu entre os dias 19 de março e 14 de abril de 2011, com carga horária de 40 horas presenciais e 10 horas de atividades em sala de aula, tendo como público-alvo PCOPs (Professores Coordenadores das Oficinas Pedagógicas) de Ciências da Natureza, professores de Física do Ensino Médio da Rede Estadual de Ensino e alunos de graduação em Licenciatura em Física ou Ciências Exatas.

O objetivo principal do curso era formar professores multiplicadores de Física que pudessem contribuir com a implementação da Proposta Curricular do Estado de São Paulo, voltada para as atividades de Física Moderna e Contemporânea.

O número de inscritos foi bastante grande: 758, e apenas 50 foram selecionados. Os participantes contribuíram para que diversos municípios do Estado de São Paulo fossem atendidos: São Carlos, Ribeirão Preto, Olímpia, São Sebastião do Paraíso, Franca, São João da Boa Vista, Pirassununga, Espírito Santo do Pinhal, Araraquara, Itapetininga, Sertãozinho, Limeira, São Joaquim da Barra, Itirapina e Cravinhos.

A tabela mostra um resumo das atividades.

Tabela 1 Cronograma resumido das atividades do curso de formação de professores

Data	Conteúdo	Recurso
19-03 Aula 1	Palestra: Inovações Curriculares (Prof. Marcelo Barros)	Expositiva
	Relato - experiência de aplicação	Expositiva
	Atividade- Discussão sobre dimensões e ordem de grandeza. Atividade cortar papel (PC). Animação e Vídeo (power of ten) “escalas de grandezas”	Atividade 1
	Espalhamento Rutherford	Atividade 2
	Apresentação da Linha do Tempo até modelo-padrão (avanço do modelo atômico)	Expositiva
	Resolução de Exercício	Teste 1
	Construção do experimento	Atividade 3
	02-04	Palestra: Prof. Dr. Marcelo Gameiro Munhoz (IF-USP)

Aula 2	Interativa – Direto do CERN (videoconferência via skype)	
	Troca de Experiências entre os participantes	Discussão
	Atividade- Rastro das partículas Atividade de rastros da proposta (transparências) Trajetória de partículas LHC (CPEP)	Atividade 4
	Apresentação: “Zoológico das partículas”	Expositiva
	Jogo “Partículas Elementares” + tabela de partículas	Atividade 5
	Jogo “carga-cor”	Atividade 6
	Mapa-Conceptual: Partículas Elementares e Forças Fundamentais	Atividade 7
	16-04 Aula 3	Palestra: Profa. Dra. Cibelle Celestino Silva
Leitura de textos e apresentações Cesar Lattes (CH, FNE, SA) César Lattes e a descoberta do Píon (PC)		Atividade 8
Troca de Experiências entre os participantes		Discussão
Conceitos de Relatividade e uso de simuladores		Expositiva
Escalas de Energia/Raios Cósmicos		Atividade 9
Resolução de Exercícios: “Tempo de vida de Múons”		Teste 2
30-04 Aula 4	Palestra: Prof. Dr. Luiz Vitor de Souza Filho	Expositiva
	Apresentação Câmara de Nuvens	Expositiva
	Atividade: Raios Cósmicos	Discussão
	Observatório Pierre Auger: Determinação de direção de um Raio Cósmico primário	Atividade 10
	Exercícios	Teste 3
	Troca de Experiências entre os participantes	Discussão
14-05 Aula 5	Palestra: Profa. Dra. Tereza Cristina da Rocha Mendes	Expositiva
	Atividade – Raios-X	Atividade 11
	Troca de experiências + Feedback dos profs. em relação ao curso/autoavaliação	Discussão

Fonte: Elaborada pelo autor.

Participar deste curso permitiu que escolhêssemos, como produto deste trabalho, a adaptação de algumas atividades no formato de uma sequência de ensino e aprendizagem desenvolvida durante um minicurso sobre Raios Cósmicos. Dessa forma, escolhemos três atividades apresentadas aos professores no curso de formação: **ordem de grandeza, escalas de energia e**

determinação do ponto de impacto e direção de chegada de um Raio Cósmico primário. Tais atividades estão descritas mais adiante, porém damos uma atenção especial à última por se tratar de uma atividade inédita. Analisamos como este saber foi transformado para a sala de aula, ou seja, como podemos reproduzir de maneira mais simples a detecção de Raios Cósmicos e determinar a direção de origem e o ponto de impacto da partícula primária. Esta atividade envolve dados reais de eventos identificados no Observatório Pierre Auger.

5.3 Coleta de dados

O minicurso teve como público-alvo alunos de Ensino Médio da 2ª e 3ª séries do Ensino Médio da Escola Estadual Professor Bruno Pieroni, na cidade de Sertãozinho, São Paulo, em um bairro de classe média, próximo ao centro da cidade, mas que também atende alunos de periferia, constituindo um público bem diversificado. Porém, como uma das atividades práticas ainda não havia sido aplicada em sala de aula poderiam surgir algumas necessidades e dúvidas tanto dos alunos como da professora, algumas dificuldades que não foram previstas no planejamento da atividade, assim, optamos por abrir um processo de inscrição, para atender alunos interessados no assunto, formando uma turma de, no máximo, 15 alunos.

Neste trabalho, apresentaremos a sequência utilizada no minicurso e faremos uma análise quanto ao processo de transformação do saber sábio sobre Raios Cósmicos em saber a ensinar, ou seja, vamos analisar este tema sob as regras da Transposição Didática. Utilizamos os referenciais teóricos de Chevallard e Astolfi, para então pensarmos na adaptação das atividades planejando uma sequência de ensino e aprendizagem que pudesse ser aplicada em sala de aula.

Embora tenhamos aplicado a sequência, não fizemos nenhuma análise sobre a validação da atividade. Realizamos gravações em vídeo de todos os encontros, focados em um único grupo, e destacamos algumas falas dos alunos quanto à atividade de determinação do ponto de impacto e direção de chegada de um Raio Cósmico primário. No entanto, como ainda é uma atividade muito nova, concentramos esforços apenas na verificação da

transposição didática e na implementação da sequência de ensino e aprendizagem. As alunas participantes do grupo gravado são Vívian, Natália e Maria, todos nomes fictícios.

5.4 Estrutura do minicurso

O minicurso foi proposto em contraturno, nos dias 12, 19 e 26 de abril de 2012, para que não interrompesse o cronograma normal da disciplina, totalizando 9 horas de curso. Esta escolha foi devido ao fato de que a professora não lecionava nesta escola e, também, por se tratar de um assunto novo, apresentado em uma sequência de ensino e aprendizagem nova, por isso, optamos por realizá-lo como uma introdução à futuras aplicações em um contexto real de sala de aula, na qual a atividade poderá fazer parte do cronograma da disciplina de Física.

A professora apresentou-se aos alunos da 2ª e 3ª séries do Ensino Médio, falou rapidamente sobre sua pesquisa de mestrado e sobre a proposta do minicurso de Raios Cósmicos que seria oferecido por ela e pediu que os alunos que tivessem interesse em participar se inscrevessem e levassem para os pais as autorizações para a participação no minicurso e também para gravações das aulas.

Embora toda esta sequência possa ser aplicada separadamente, em diferentes momentos do cronograma regular de Física, optou-se por não oferecer aos alunos da 1ª série, pois a atividade de escalas de energia requer que os alunos já saibam como calcular energia cinética ou que o professor tenha de explicar esse conteúdo para avançar na atividade. Como o tempo não permitiria aprofundar tais assuntos, e que também precisávamos de um grupo mais reduzido de alunos, escolhemos oferecer o minicurso para os alunos de 2ª e 3ª séries.

Durante os encontros, foram utilizados recursos multimídias para apresentação de slides e vídeos, fornecidos pela escola, materiais de baixo custo para montagem de maquete, fornecidos pela professora, e atividades que envolveram cálculos.

Os alunos organizaram-se em grupos, escolhidos por eles mesmos, para a realização das atividades práticas. A professora solicitou apenas que os grupos se mantivessem até o final do minicurso. Esta organização deu-se através das amizades, de alunos que estudavam na mesma série e turma.

6. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE RAIOS CÓSMICOS E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo, apresentaremos as três atividades da sequência de ensino e aprendizagem aplicada no minicurso. Como dito anteriormente, essas atividades fizeram parte do curso de formação de professores e foram escolhidas para a implementação de um produto educacional no sentido de inserirmos tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Elaboramos um quadro informativo, ressaltando o tempo previsto de cada aula, os conteúdos abordados nas atividades, as competências e habilidades, as estratégias de ensino, os recursos didáticos e a avaliação. As atividades também podem ser utilizadas pelos professores, separadamente, para abordagem de diversos temas da Física.

6.1 Atividade sobre ordem de grandeza

Esta atividade refere-se a escalas de tamanho e ordem de grandeza, na qual tentamos “visualizar” os diferentes tamanhos dos objetos do nosso mundo, ou seja, como conseguimos perceber o macro e o micro. Nossa escolha foi de apresentar esta atividade no início, pois quando falamos em Raios Cósmicos, entendemos, neste contexto e referencial, estes raios como partículas. Para nós, pesquisadores e professores, tais relações e escalas muitas vezes nos confundem, pois não conseguimos entender e “visualizar” grandezas tão diminutas ou tão imensas; assim, imaginamos que para os alunos esta dificuldade é ainda maior.

Mas qual o tamanho destas partículas? Precisamos realmente conseguir visualizar um tamanho tão diminuto? Acreditamos que sim, pois mesmo não sendo essencial para a atividade principal da determinação da direção de um Raio Cósmico primário, ela é necessária perante a construção do conhecimento sobre a natureza destas partículas e da matéria.

A tabela a seguir sugere ao professor o planejamento desta aula.

Tabela 2. Quadro informativo para planejamento da atividade de ordem de grandeza.

Tempo previsto: 3 aulas de 50 minutos

Conteúdos e temas: ordem de grandeza, modelo atômico e tamanho do átomo, espectro eletromagnético de energia e frequência.

Competências e habilidades: identificar e “visualizar” os diferentes tamanhos dos objetos que cercam nosso mundo, desde o macro ao micro; reconhecer o modelo atômico e utilizar procedimentos e instrumentos de observação; apresentar resultados experimentais; elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações que refletem o tamanho de um átomo; reconhecer e interpretar o espectro eletromagnético da luz, compreendendo as faixas de energia e frequência, e construindo analogia aos fenômenos observados no dia a dia.

Estratégias: organização de conhecimentos prévios a partir de discussões com o professor e de atividades em pequenos grupos.

Recursos educacionais: projetor multimídia para apresentação dos temas e de vídeos, materiais para atividades práticas.

Avaliação: verificar as manifestações dos alunos e seus questionamentos; capacidade de organizar e estabelecer relações entre as informações adquiridas; capacidade de levantar hipóteses e possíveis soluções.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Estamos interessados em avaliar o tamanho das partículas altamente energéticas que atingem o topo da atmosfera da Terra. Em geral, temos a ideia de que são corpos muito pequenos, mas será que conseguimos “visualizar” realmente o quanto são pequenos?

Para responder a essa pergunta, podemos partir de outra: *Quantas vezes conseguimos cortar uma folha de papel de tamanho A4 ao meio com uma tesoura, com uma régua e com a mão?*

A ideia é descobrir quantas vezes mais devemos cortar o pedacinho de papel que sobrar para se chegar ao tamanho do diâmetro de um átomo. Devemos sempre dobrar a folha ao meio, pelo maior lado, e então cortar. Utilizamos diferentes instrumentos para cortar o papel com a finalidade de observar que diferentes instrumentos nos permitem realizar tarefas e medições com maior ou menor precisão.

Os alunos dividiram-se em grupos e receberam uma folha de papel tamanho A4 com a finalidade de realizar cortes ao meio das folhas até atingir o menor tamanho e uma atividade apresentada na tabela abaixo.

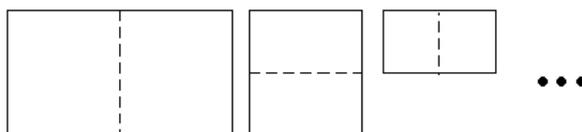
Tabela 3. Folha da atividade 1 - Ordem de grandeza (corta papel).

Atividade 1 – Ordem de grandeza (corta papel)

Objetivo: tentar dar uma ideia do tamanho dos objetos estudados na Física e astrofísica de partículas.

Material: folha de papel A4, tesoura e régua.

Procedimento: Pegue a folha de papel e corte-a ao meio. Com uma das metades, faça outro corte, também ao meio. Repita esse procedimento quantas vezes forem possíveis até chegar a um pedaço que você não consiga mais cortar, conforme indica a figura abaixo. Conte os números de cortes feitos e faça a medida do menor pedaço de papel que você conseguiu.



Quantas vezes você conseguiu cortar os papezinhos?

Qual o tamanho do menor papel que você cortou? (em milímetros).

Quantas vezes mais você acha que seria necessário cortar o menor pedacinho de papel para conseguir o tamanho de um átomo?

Coloque seus resultados na tabela desenhada na lousa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 4 foi colocada na lousa para que pudéssemos comparar o número de cortes e o tamanho do menor pedaço que conseguiram cortar.

Tabela 4. Anotações dos alunos na lousa.

Grupos	Número de cortes	Medida do menor pedaço (mm)
A (mão)		
B (régua)		
C (tesoura)		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para descobrir corretamente quantas vezes mais precisamos cortar o último papelzinho para atingir o tamanho do diâmetro de um átomo, fazemos a seguinte análise: consideramos um átomo como uma esfera de raio igual a 1Å (10^{-10}m ou 10^{-8}cm). Como estamos cortando o papel sempre pela metade da área, o intuito é que a área do menor papelzinho seja igual à área da seção reta do maior diâmetro da esfera.

Lembrando que a área desta seção é dada por:

$$A_{cir} = \pi r^2 \quad (1)$$

Para o átomo, a maior seção transversal terá uma área aproximada de $3,14 \times 10^{-16}\text{cm}^2$. Guarda-se esta informação.

Consideramos agora o tamanho da folha de papel sulfite A4. Suas dimensões são da ordem de $21,1\text{cm} \times 29,7\text{cm}$. Para facilitar as contas, vamos aproximar esta medida para $20,0\text{cm} \times 30,0\text{cm}$ e começar a cortar a folha, escolhendo sempre o maior lado para dobrar e fazer a marcação de corte. Obteremos papezinhos com os seguintes tamanhos:

Tabela 5. . Medida do tamanho aproximado dos papéis cortados ao meio.

Número de cortes (n)	Tamanho do papel (cm)
1	20 x 15
2	10 x 15

3	10 x 7,5
4	5 x 7,5
5	5 x 3,75
6	2,5 x 3,75
7	2,5 x 1,875
8	1,25 x 1,875
9	1,25 x 0,9375
10	0,625 x 0,9375
11	0,625 x 0,4685
12	0,3125 x 0,4685
13	0,3125 x 0,23425
14	0,15625 x 0,23425

Fonte: Elaborada pelo autor.

Note que, com 14 cortes, chegamos a um papelzinho de tamanho aproximado de 1,6 mm x 2,3 mm e que, a olho nu, parece-nos um quadrado de 2,0 mm x 2,0 mm.

Para equacionarmos estas relações de modo a conseguir igualar a área do papelzinho à área da seção reta do átomo, vamos considerar a área inicial da folha de papel A4 como:

$$A_{inicial} = L \times C \quad (2)$$

Em que L é a largura da folha e mede 20,0 cm e C é o comprimento da folha e mede 30,0 cm.

Observamos na tabela acima que os cortes de números pares nos fornecem áreas, cujos dois lados da folha, comprimento e largura, são a metade do corte par anterior, ou seja, para o corte número 2 temos uma área

de $10 \times 15 \text{ cm}^2$, para o corte número 4 temos uma área de $5 \times 7,5 \text{ cm}^2$, para o corte número 6 temos uma área de $2,5 \times 3,75 \text{ cm}^2$. Observe agora a Tabela 6.

Tabela 6. Medida das áreas dos papezinhos em função do comprimento e largura inicial.

Número de cortes (n)	Tamanho do papel (cm)	Tamanho do papel em função de L e C
2	10 x 15	$\frac{L}{2} \times \frac{C}{2} = \frac{L \times C}{2^2}$
4	5 x 7,5	$\frac{L}{4} \times \frac{C}{4} = \frac{L \times C}{2^4}$
6	2,5 x 3,75	$\frac{L}{8} \times \frac{C}{8} = \frac{L \times C}{2^6}$
8	1,25 x 1,875	$\frac{L}{16} \times \frac{C}{16} = \frac{L \times C}{2^8}$

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir destes dados, definimos que a área do menor papelzinho, sempre que o número de cortes for par, é dada por:

$$A_n = \frac{L \times C}{2^n} \quad (3)$$

Podemos encontrar o valor de n por meio de uma equação exponencial.

$$n = \frac{[-\log A_n + \log(L \times C)]}{\log 2} \quad (4)$$

Substituindo os valores de comprimento e largura da folha e a área da maior seção reta do átomo, encontramos um número de cortes aproximadamente igual a 60, partindo da folha de papel A4. Isto significa que, se cortarmos a folha ao meio, sempre pelo maior lado, 60 vezes, teremos um papelzinho do tamanho aproximado de um átomo.

A atividade em sim é bastante simples e não oferece dificuldade aos alunos; no entanto, se o professor desejar que os alunos calculem o número de cortes, é preciso que saibam calcular equações exponenciais e utilizar

logaritmo. No minicurso que oferecemos, mostramos aos alunos como se chega à equação (4) e, então, substituindo os valores determinamos o número de cortes. Este processo foi realizado pela professora com a utilização dos slides e da lousa.

6.2 Atividade de escalas de energia

Esta atividade aborda o significado das energias dos Raios Cósmicos altamente energéticos que incidem no topo da atmosfera da Terra e que viajam com a velocidade da luz. Por serem partículas muito pequenas, carregam uma energia muito alta. Mas será que temos uma percepção real desta quantidade de energia? Vimos no capítulo 3 que os Raios Cósmicos Ultraenergéticos possuem energia superior a 10^{19} eV, mas o que isto significa? Qual o efeito dessa energia nos objetos macroscópicos?

Esta também não é uma atividade essencial para encontrar a direção de um Raio Cósmico primário, mas no contexto da construção do conhecimento sobre a natureza e a origem das partículas, julgamos importante, pois através desta atividade, os alunos são capazes de compreender a ordem de grandeza da energia que as partículas incidentes na atmosfera da Terra carregam. Qual o efeito dessas energias quando aplicadas em objetos macroscópicos? A partir do momento em que conseguimos realizar esta conexão, e juntamente com a ideia prévia do tamanho das partículas, podemos entender a magnitude do fato de algo tão pequeno carregar energia tão grande.

A tabela a seguir permite orientar o professor no planejamento e na construção de uma aula que envolva esta atividade.

Tabela 7. Quadro informativo para planejamento da atividade de escalas de energia.

Tempo previsto: 3 aulas de 50 minutos.

Conteúdos e temas: ordem de grandeza, escalas de energia, energia cinética Clássica e relativística.

Competências e habilidades: entender o significado da ordem de grandeza da energia associada aos Raios Cósmicos e dos eventos estudados em Física de Altas Energias. Diferenciar e identificar fenômenos que envolvam energia cinética clássica

e relativística, elaborar hipóteses e interpretar resultados em diferentes situações que refletem a velocidade de um objeto.

Estratégias: organização de conhecimentos prévios a partir de discussões com o professor e de atividades em pequenos grupos.

Recursos educacionais: projetor multimídia para apresentação dos temas e de vídeos, materiais para atividades em grupos.

Avaliação: verificar as manifestações dos alunos e seus questionamentos; capacidade de organizar e estabelecer relações entre as informações adquiridas; capacidade de levantar hipóteses e possíveis soluções.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na atividade de escalas de energia, propomos que os alunos percebam este efeito, calculando as velocidades de diversos objetos macroscópicos quando possuem uma energia cinética da mesma ordem que os Raios Cósmicos. Esta atividade permite trabalharmos o conceito de energia cinética clássica e relativística, e que pode ser utilizada para inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio.

A folha desta atividade está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Folha da atividade sobre escalas de energia

Atividade 2 – Escalas de Energia

Objetivo: entender o significado da ordem de grandeza da energia associada aos Raios Cósmicos e dos eventos estudados em Física de Altas Energias.

Procedimento: os alunos serão divididos em grupos, mas cada um será responsável por realizar um cálculo apenas. Podemos calcular a velocidade de um objeto a partir de sua energia cinética, pois esta é a energia de movimento de um corpo, ou seja, energia quando o corpo possui velocidade. Para baixas velocidades, utilizamos a fórmula Clássica e, para altas velocidades (próximas à da luz), utilizamos a fórmula relativística.

Energia Cinética Clássica

Energia Cinética Relativística

$$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$E_C = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \cdot c^2$$

Porém, como nos interessa o cálculo da velocidade, podemos isolar v nas equações acima e encontramos o seguinte:

Velocidade Clássica

$$v = \sqrt{\frac{2E_C}{m}}$$

Velocidade Relativística

$$v = \sqrt{c^2 - \left(\frac{m_0 \cdot c^3}{E_C + m_0 \cdot c^2} \right)^2}$$

Em que:

v : velocidade (m/s);

E_C : energia cinética dos objetos (J);

m e m_0 : massas dos objetos (kg).

Problema1: Os Raios Cósmicos mais energéticos têm a energia de $1,13 \times 10^{20}$ eV, ou 18,103 J (SI). O que significa essa energia aplicada ao movimento dos objetos abaixo? Ou seja, qual a velocidade que eles teriam se tivessem essas energias?

- | | |
|---|--|
| 1) Bola de tênis ($m = 5,8 \times 10^{-2}$ kg) | 2) Bola de gude ($m = 1,0 \times 10^{-2}$ kg) |
| 3) Mosquito ($m = 2,0 \times 10^{-6}$ kg) | 4) Pequeno vírus ($m = 1,0 \times 10^{-20}$ kg) |
| 5) Hemoglobina ($m = 1,1 \times 10^{-22}$ kg) | 6) Próton ($m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg) |

Problema2: Um pacote de prótons do LHC tem a energia de $7,0 \times 10^{24}$ eV, ou $1,12 \times 10^6$ J (SI). O que significa essa energia aplicada ao movimento dos objetos abaixo? Ou seja, qual a velocidade que eles teriam se tivessem essas energias?

- | | |
|---|--|
| 1) Bola de tênis ($m = 5,8 \times 10^{-2}$ kg) | 2) Bola de gude ($m = 1,0 \times 10^{-2}$ kg) |
| 3) Bola de boliche ($m = 7,0$ kg) | 4) Carro ($m = 4,0 \times 10^2$ kg) |
| 5) Ônibus ($m = 1,0 \times 10^4$ kg) | 6) Avião Airbus A380 ($m = 5,6 \times 10^5$ kg) |

Problema3: Um feixe de prótons do LHC tem a energia de $1,97 \times 10^{28}$ eV, ou $3,15 \times 10^9$ J (SI). O que significa essa energia aplicada ao movimento dos objetos abaixo? Ou seja, qual a velocidade que eles teriam se tivessem essas energias?

- | | |
|---|--|
| 1) Bola de tênis ($m = 5,8 \times 10^{-2}$ kg) | 2) Bola de gude ($m = 1,0 \times 10^{-2}$ kg) |
| 3) Bola de boliche ($m = 7,0$ kg) | 4) Carro ($m = 4,0 \times 10^2$ kg) |

5) Ônibus ($m = 1,0 \times 10^4$ kg)

6) Avião Airbus A380 ($m = 5,6 \times 10^5$ kg)

Obs: as massas foram encontradas na Wikipédia.

Fonte: Elaborada por grupo organizador do curso para professores.

Consideremos a bola de tênis para realizar o cálculo de sua velocidade quando possui a energia cinética de um Raio Cósmico de energia $1,13 \times 10^{20}$ eV (problema 1). Para este exemplo, vamos supor inicialmente que a velocidade da bola de tênis será suficientemente baixa para utilizar a equação clássica para energia cinética. Partindo da equação abaixo e substituindo os valores de massa e energia, calculamos uma velocidade de 90 km/h.

$$v = \sqrt{\frac{2E_C}{m}} \quad (5)$$

É importante que, para realizar esta atividade, os alunos tenham em mãos calculadoras científicas, pois algumas contas envolvem números muito grandes e também muito pequenos.

6.3 Atividade para a determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um Raio Cósmico

No terceiro encontro, culminamos com a atividade⁷ principal sobre Raios Cósmicos, cujo objetivo principal é determinar o ponto de impacto e reconstruir a direção de chegada de uma partícula cósmica detectada no Observatório Pierre Auger, abordando conceitos fundamentais, como conservação de energia e momento, centro de massa, velocidade, sistemas de coordenadas, orientação geomagnética, referências de tempo e observação do céu.

Os Raios Cósmicos constituem, ainda, um grande mistério para a Ciência. Atualmente, os astrofísicos de partículas são capazes de identificar sua natureza e de sinalizar possíveis mecanismos de origem e aceleração das partículas incidentes na atmosfera terrestre. Com esta atividade, pretendemos mostrar aos alunos o primeiro passo para se chegar a novas descobertas, ou

⁷BARROS, M. A., FILHO, E. C. M., GARBELOTTI, C. R. JOÃO, H. A. Proposal for a teaching and learning sequence on cosmic rays for High School curriculum. EBook Proceedings of The World Conference on Physics Education - WCPE, Istanbul, Turkey, 2012.

seja: para saber de onde os Raios Cósmicos vêm, é preciso saber detectá-los e qual a direção de incidência na Terra, para depois buscar respostas sobre sua origem no Universo.

Apresentamos a seguir o quadro informativo para o planejamento de uma aula que envolva essa atividade.

Tabela 9. Quadro informativo para planejamento da atividade da direção de um raio primário

Tempo previsto: 3 aulas de 50 minutos.

Conteúdos e temas: Raios Cósmicos, centro de massa, sistemas de coordenadas, conservação de energia e momento.

Competências e habilidades: entender o mecanismo de detecção de um Raio Cósmico, calcular o centro de massa de um sistema de muitas partículas e identificá-lo em um sistema de coordenadas, analisar dados e interpretar tabelas, identificar a direção de um Raio Cósmico primário de alta energia, observar o céu e levantar hipóteses sobre a origem dos Raios Cósmicos.

Estratégias: organização de conhecimentos prévios a partir de discussões com o professor e de atividades práticas em pequenos grupos.

Recursos educacionais: projetor multimídia para a apresentação dos temas e de vídeos, materiais para atividades em grupos.

Avaliação: verificar as manifestações dos alunos e seus questionamentos; capacidade de organizar e estabelecer relações entre as informações adquiridas; capacidade de levantar hipóteses e possíveis soluções, construção de uma maquete identificando a direção de origem de um Raio Cósmico de alta energia.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos observar, no quadro referente ao cronograma do curso de formação de professores, no item 5.2, que outras atividades foram propostas para abordar o tema Partículas Elementares e Raios Cósmicos. Poderíamos ter escolhido estas outras atividades, mas focamos na atividade inédita para se detectar a direção de um Raio Cósmico, que fora desenvolvida por um grupo⁸ de pesquisa, e organizador do evento, e ainda não fora testada nem validada.

⁸ Luiz Vitor de Souza, Marcelo Alves Barros, Edson César Marques Filho, Cristiano Rodrigo Garbelotti, Herbert Alexandre João. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A atividade de ordem de grandeza, trabalhada no primeiro encontro, pode ser utilizada no contexto dos Raios Cósmicos ou Partículas Elementares, ou mesmo quando o professor introduz o assunto sobre modelos atômicos, da mesma forma a atividade do espalhamento de Rutherford, apresentada somente no curso de professores, que objetiva identificar a forma das partículas. Não escolhemos esta última, pois ela acabaria ficando “de fora”, de certo modo, do caminho escolhido, que foi compreender o que são e como se detectam Raios Cósmicos.

Como vimos anteriormente, as partículas provenientes do chuveiro cósmico são detectadas ao atingirem o solo, e um sinal equivalente à intensidade de energia de cada partícula é capturado, assim como seus tempos exatos das detecções. Precisamos, então, determinar o centro de massa do sistema de partículas que atingem o solo e, assim, fazer uma analogia a um “centro de energia”, já que o que temos de informação é a intensidade do sinal detectado. Como os tanques são igualmente espaçados, podemos localizar no plano cartesiano as coordenadas dos tanques detectores sensibilizados pela passagem de uma partícula do chuveiro cósmico, e assim estar de posse das ferramentas necessárias para iniciar o processo de reconstrução da direção do raio primário incidente no topo da atmosfera.

Com materiais de baixo custo, possibilitamos aos alunos reconstruir um modelo que represente este fenômeno. É uma maneira mais simplificada de representar o processo de detecção no Observatório Pierre Auger.

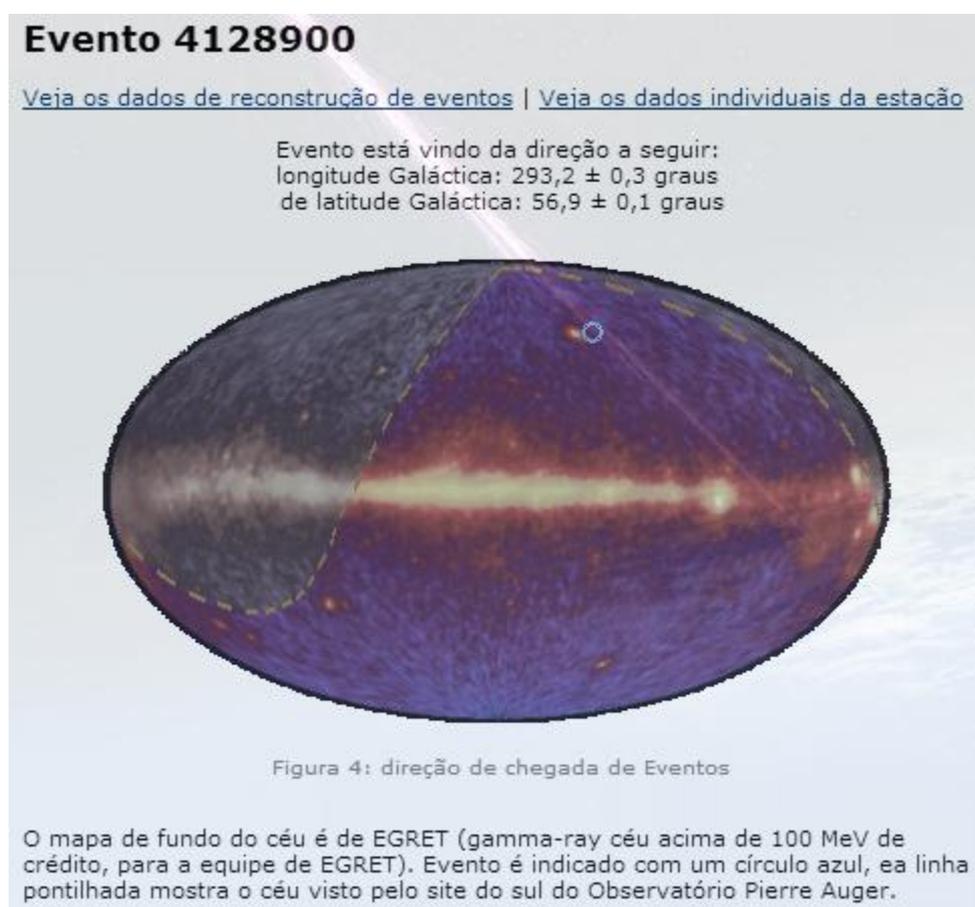
Esta atividade caracteriza-se como inovadora, já que traz para a sala de aula dados de eventos reais sobre um fenômeno natural, mas pouco compreendido por pesquisadores da área e menos ainda por alunos e muitos professores de Física no Ensino Médio. Permite, ainda, ambientar os alunos em um mundo novo e ilustrativo, oferecendo ao professor um caminho alternativo no processo de aprendizagem dos alunos.

Os dados dos eventos utilizados nesta atividade foram selecionados pelo Prof. Dr. Luiz Vitor de Souza, que é membro do Observatório Pierre Auger, e apresentados no curso de formação de professores. No site⁹ do

⁹<http://auger.colostate.edu/ED/>

Observatório, existem outros eventos disponíveis, que são atualizados diariamente, porém estão apresentados de forma diferente da que utilizamos nesta atividade, pois realizamos um processo transformador, adequando os dados à linguagem dos alunos. Além de publicar os dados dos eventos, o site oferece também imagens indicando a direção de propagação do Raio Cósmico, mostrando um mapa celeste e indicando o ponto do Universo de onde ele vem. Estas imagens podem ser utilizadas pelos professores. A Figura 13 ilustra um desses mapas.

Figura 12. Indicação da direção de um Raio Cósmico fornecida pelo Observatório Pierre Auger.



Fonte: <http://auger.colostate.edu/ED/index.php?evid=000004128900&skymap=1>

Os eventos detectados pelos tanques correspondem a um sinal proporcional à energia e não à massa das partículas; assim, no cálculo do centro de massa, em vez de utilizarmos massa, utilizamos o valor do sinal

detectado no tanque. Podemos observar, na Tabela 11 com os dados registrados de cada evento, que a unidade utilizada é chamada de VEM (Vertical Equivalent Muon), o que significa que o sinal detectado é caracterizado pela passagem de um múon na direção vertical, em cada estação.

Apresentamos, na tabela a seguir, a folha de atividade entregue aos alunos. Todos os exemplos e exercícios propostos nesta folha foram discutidos com os alunos.

Tabela 10. Folha da atividade da determinação do ponto de impacto e a direção de chegada de um Raio Cósmico primário.

Atividade 3 – Dados reais do Observatório Pierre

Objetivo: Entender como se calcula a trajetória de um Raio Cósmico.

Problematização

a) Raios Cósmicos

Raios Cósmicos como eventos naturais em que núcleos atômicos muito energéticos colidem com átomos da atmosfera, gerando um “chuveiro” de novas partículas.

b) Pierre Auger

O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger tem como objetivo estudar, através de detectores em formato de tanques, os Raios Cósmicos, mapeando de ONDE eles vêm, para compreender COMO eles são produzidos. Nesta atividade, trabalharemos com a questão relacionada à de ONDE eles estão vindo.

E como podemos descobrir a posição em que o Raio Cósmico primário deveria atingir a superfície da Terra?

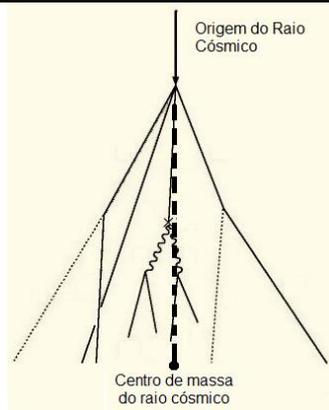
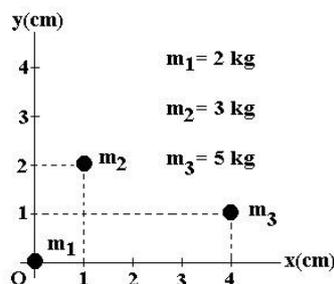


Figura 13. Origem e trajetória do centro massa de um Raio Cósmico.

Determine as coordenadas do centro de massa do sistema de partículas indicado a seguir:



As coordenadas das partículas são:

$$m_1 \rightarrow x_1 = 0; y_1 = 0$$

$$m_2 \rightarrow x_2 = 1 \text{ cm}; y_2 = 2 \text{ cm}$$

$$m_3 \rightarrow x_3 = 4 \text{ cm}; y_3 = 1 \text{ cm}$$

Deste modo, as coordenadas do centro de massa são:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$x_{CM} = \frac{2 \cdot 0 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 4}{2 + 3 + 5}$$

$$x_{CM} = 2,3 \text{ cm}$$

$$y_{CM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y_{CM} = \frac{2 \cdot 0 + 3 \cdot 2 + 5 \cdot 1}{2 + 3 + 5}$$

$$y_{CM} = 1,3 \text{ cm}$$

Exemplo de relação massa-energia

Uma fábrica de produtos metalúrgicos consome por mês cerca de $2,0 \times 10^6$ KWh de energia elétrica ($1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$). Suponha que essa fábrica possui uma usina capaz de converter diretamente massa em energia elétrica, de acordo com a relação de Einstein, $E = mc^2$. Nesse caso, qual a massa necessária para suprir a energia requerida pela fábrica durante um mês?

Resposta:

Massa = $0,8 \times 10^{-4} \text{ Kg} = 0,8 \times 10^{-2} \text{ g}$

Materiais utilizados: Isopor, palitos de madeira (espetos de churrasco), papel sulfite, canudos de plástico, régua, cola e tesoura.

Procedimento: Serão feitos grupos de trabalho na classe onde o professor distribuirá tabelas com dados reais do Observatório Pierre Auger e será pedido que se calcule o centro de massa através das equações a seguir:

$$x_{CM} = \frac{E_1x_1 + E_2x_2 + E_3x_3 + \dots + E_nx_n}{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}$$
$$y_{CM} = \frac{E_1y_1 + E_2y_2 + E_3y_3 + \dots + E_ny_n}{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}$$

Figura 14. Equação do Centro do Massa-Energia em que E é a energia.

Marcar a posição calculada do centro de massa no gráfico fornecido com as posições dos tanques.

Feito isso responda à questão inicial: *Analisando um determinado chuveiro de partículas detectado no Observatório Pierre Auger, como podemos descobrir a posição em que o raio cósmico que o gerou deveria atingir a superfície da Terra?*

A seguir, devemos buscar a resposta à seguinte pergunta: *Qual a direção do centro de massa deste raio cósmico?*

Observar a tabela de tempo e associar os instantes ao comprimento dos canudinhos em escala, ou seja, quanto maior o tempo, maior será o tamanho do canudo. Assim, cada tanque indicado no gráfico terá seu respectivo tempo de acionamento indicado por um canudo em escala que perfurará, perpendicularmente, o gráfico colado sobre uma placa de isopor conforme a foto a seguir:

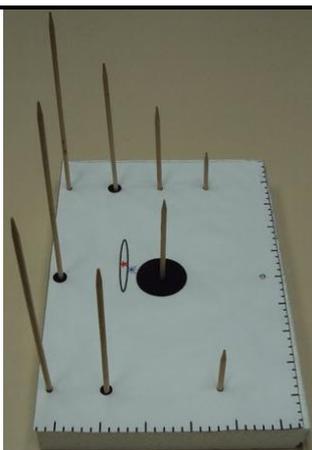


Figura 15. Escala de tempo, tanques e centro de massa.

Obs: Contabilize a espessura do isopor e some ao comprimento final de todos os palitos que serão cortados.

Conforme colocamos os palitos, formaremos um plano que na verdade representa a “frente de onda” do chuveiro de partículas. Assim, se formos capazes de encontrar a reta perpendicular a este plano e que passa pelo centro de massa, então teremos a direção do raio cósmico conforme as fotos a seguir:

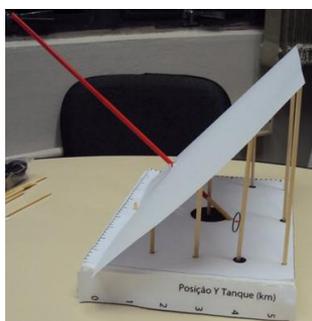
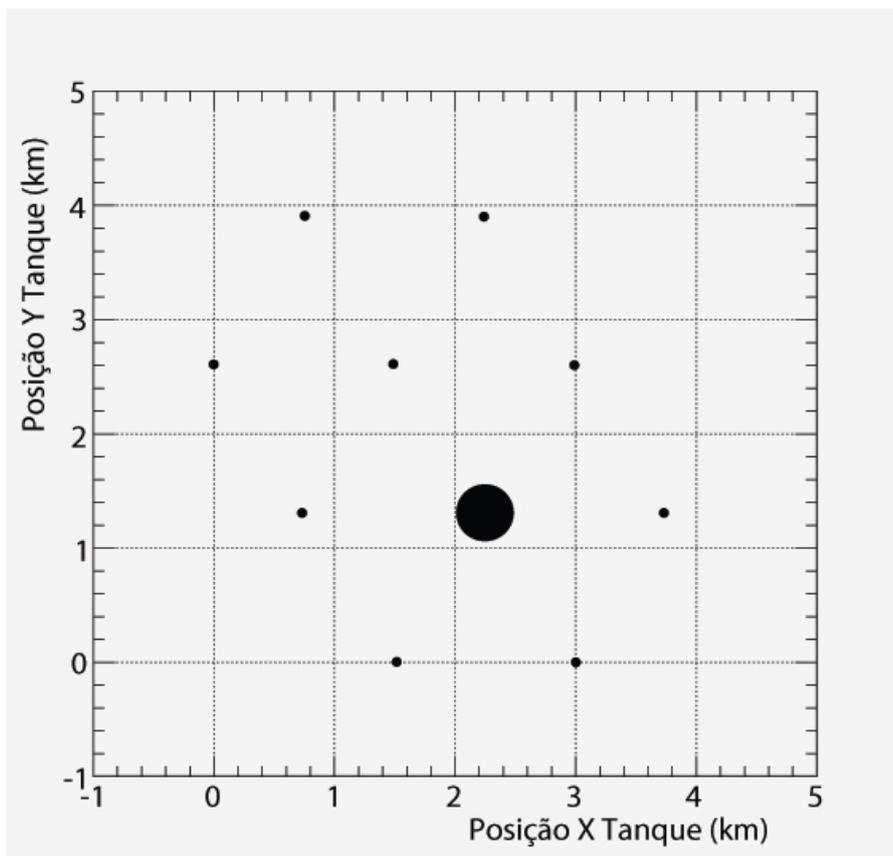


Figura 16. Maquete final.

Fonte: Elaborada por grupo organizador do curso para professores.

Cada grupo recebeu também uma folha na qual representamos as posições dos tanques detectores, num sistema de referência arbitrário, e uma tabela com as posições dos tanques e seus respectivos valores de sinal, como representados nas figuras abaixo.

Figura 17. Posições dos tanques acionados durante um evento.



Fonte: Elaborada por grupo organizador do curso para professores.

Tabela 11. Dados do evento, entregues a um dos grupos.

	Id	Dia	Mês	Ano
	3637800	1	7	2007
Tanque	X (km)	Y (km)	Sinal (VEM)	Tempo (μs)
0	2,25	1,31	2184,72	1,62
1	1,49	2,61	129,01	2,41
2	2,99	2,60	71,81	0,56
3	0,74	1,31	65,43	3,96
4	1,52	0,01	23,27	3,39
5	3,73	1,31	23,13	0,00
6	3,00	0,00	9,31	1,64
7	0,00	2,61	7,48	4,95

8	2,24	3,90	6,45	1,69
9	0,75	3,91	2,71	4,69

Fonte: Elaborada por grupo organizador do curso para professores.

Estes dados mostrados na Figura 18 e na Tabela 5 não foram entregues a todos os grupos, pois cada um recebeu um evento diferente, devendo ao final encontrarem diferentes direções para o raio primário. Os dados de todos os eventos encontram-se no anexo A.

A ideia da atividade é que, de posse destas informações, os alunos sejam capazes de identificar, no sistema de coordenadas, os tanques que estão numerados na tabela, para então calcular o “centro de energia” com os dados de posição e intensidade de sinal. Assim, identificamos qual seria o ponto de impacto do raio primário caso não houvesse atmosfera.

Uma partícula primária, com energia da ordem de 10^{20} eV, produz um chuveiro com uma quantidade de partículas altamente grande, em torno de 10^{10} partículas. Pela conservação de energia e momento, podemos afirmar que a energia total detectada quando o chuveiro atinge os tanques no solo do observatório é a mesma energia da partícula primária incidente e que sua trajetória seria a mesma desenvolvida pelo centro de massa do sistema de partículas produzidas na formação do chuveiro cósmico.

Consideramos a propagação da frente de onda do chuveiro como a seção de uma esfera em expansão, aproximadamente com a velocidade da luz semelhante à explosão de uma granada. Se o raio de curvatura desta esfera for suficientemente grande, é possível considerar que uma pequena seção frontal da esfera possa ser aproximada por um plano, cuja direção de propagação é normal à direção do raio primário incidente no topo da atmosfera.

Figura 18. Ilustração do desenvolvimento do chuveiro cósmico. Formação de bilhões de partículas que se movem com a velocidade próxima a da luz.



Fonte: Imagem retirada do vídeo disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=cBqUHPyvjhU>

Como o raio primário entra na atmosfera com uma direção inclinada, a frente de onda do chuveiro atingirá os tanques, também, com uma inclinação e acionando-os em diferentes tempos. Precisamos, então, transformar a escala de tempo em escala de tamanho, para determinar a direção da frente de onda, mas para isso devemos realizar as seguintes conversões:

No observatório Pierre Auger, a distância real entre os tanques é de 1,5 km. Na folha representada na Figura¹⁰ 18, a distância é de 3,5 cm. Agora, vamos pensar na distância que a luz percorre. Em 1 segundo, são 300 000 km, assim, com uma regra de três simples, calculamos a distância percorrida para o tempo de 4,95 μ s, que é o maior tempo de acionamento dos tanques indicado na Tabela 9. Observe:

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ segundo} \text{ -----} 300\,000 \text{ km} \\
 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ segundos} \text{ -----} x
 \end{array}$$

¹⁰ Houve uma redução no tamanho da figura para que ficasse melhor representada, mas o tamanho real entregue aos alunos está apresentado no anexo A juntamente com todos os dados dos eventos utilizados durante a atividade.

Assim, $x = 14,85 \cdot 10^{-1} = 1,485 \text{ km}$

Para este tempo de $4,95 \mu\text{s}$, a luz percorre uma distância de $1,485 \text{ km}$, ou seja, é aproximadamente a distância entre os tanques. Como utilizamos uma escala na qual cada $1,5 \text{ km}$ corresponde a $3,5 \text{ cm}$ na folha de posição dos tanques, podemos dizer que um tempo de $4,95 \mu\text{s}$ corresponde aproximadamente a uma distância de $3,5 \text{ cm}$, e devemos cortar o maior canudinho nesse tamanho. Para os demais, realizamos uma série de regras de três, veja outro exemplo.

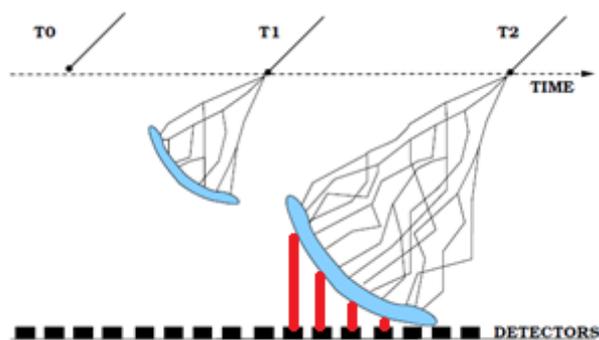
Para o tempo de $1,62 \mu\text{s}$:

$4,95 \mu\text{s}$ ----- $3,5 \text{ cm}$

$1,62 \mu\text{s}$ ----- x

$$x = \frac{1,62 * 3,5}{4,95} = 1,14 \text{ cm}$$

Figura 19. Ilustração da reta imaginária representativa da escala de tempo.



Fonte: Souza, V., Barros, M. A., Filho, E. C. M., Garbelotti, C. R., João, H. A. Cosmic rays in the classroom. Physics Education, march 2013 - disponível em <http://iopscience.iop.org/0031-9120/48/2/238>.

Após identificar os tamanhos dos canudinhos, lembrando sempre de numerá-los, para que possamos coloca-los nas posições corretas, basta espetá-los no isopor, para montar a maquete que está indicada na folha de

atividade. Apoiar-se, então, uma folha de papel ou cartolina nos canudos, de modo a representar o plano que contém a frente de onda do chuveiro. Assim, a direção de chegada do Raio Cósmico primário é dada pela reta perpendicular à folha, que representa o plano da frente de onda.

7. EPISÓDIOS DE ENSINO DA ATIVIDADE PARA A DETERMINAÇÃO DO PONTO DE IMPACTO E DIREÇÃO DE CHEGADA DE UM RAIOS CÓSMICO PRIMÁRIO

Neste capítulo, apresentamos três episódios de ensino identificados durante a aplicação da atividade principal sobre a direção de propagação de um Raio Cósmico primário:

- Episódio I – Identificação dos tanques detectores no plano cartesiano.
- Episódio II – Cálculo do “centro de energia”.
- Episódio III – Analogia do tempo com os canudinhos e montagem da maquete.

Novamente, por esta ser uma atividade inédita, inovadora, que permite a abordagem de um assunto não trabalhado em sala de aula no Ensino Médio, optamos por apresentar somente os episódios e as falas dos alunos desta atividade.

7.1 Discussões do início da aula

Retomamos a discussão sobre a natureza dos Raios Cósmicos e suas energias, indagando aos alunos sobre a possibilidade de reproduzir em algum experimento esta quantidade de energia. A resposta é que precisaríamos de um acelerador de partículas com raio do tamanho da distância da Terra ao Sol.

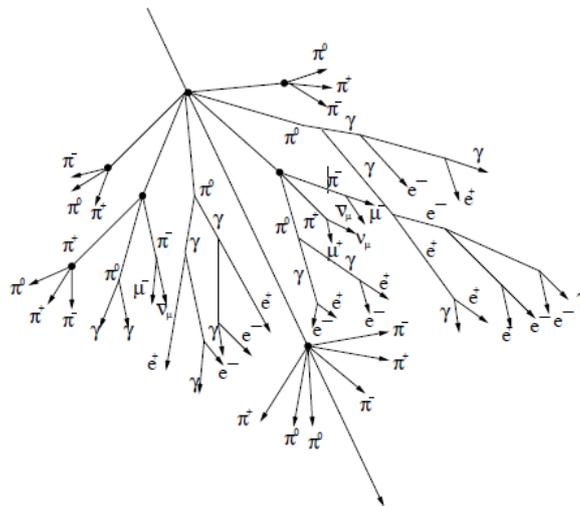
Dessa forma, o que podemos fazer é detectar estas partículas e tentar descobrir de onde elas vêm e como são aceleradas. Assim, a professora apresentou aos alunos o local em que se faz esse tipo de pesquisa: o Observatório Pierre Auger. Para introduzir o assunto, os alunos assistiram a um vídeo do Google Earth¹¹, que mostra a imagem do Observatório, sobrevoando toda a área dos tanques e dos telescópios, e também o acionamento destes quando um chuveiro cósmico é detectado.

¹¹ Vídeo disponível www.auger.org

Após mostrar o vídeo do observatório, falamos sobre o desenvolvimento do chuveiro e como as partículas chegam ao solo e, conseqüentemente, aos detectores. No site do observatório, também existem outros vídeos que simulam o desenvolvimento de um chuveiro desde o momento em que a partícula entra na atmosfera terrestre até chegar aos tanques.

A Figura 21 representa a formação do chuveiro cósmico e quais as principais partículas produzidas.

Figura 20. Formação dos chuveiros e as novas partículas.



Fonte: Souza, V., Barros, M. A., Filho, E. C. M., Garbelotti, C. R., João, H. A. Cosmic rays in the classroom. Physics Education, march 2013 - disponível em <http://iopscience.iop.org/0031-9120/48/2/238>.

Vejamos a seguir um trecho da aula logo após a exibição do vídeo do desenvolvimento do chuveiro.

Profª: Pessoal, então acontece a formação do chuveiro porque tem atmosfera, não é? Porque a partícula vai colidindo aí com os átomos da atmosfera.

Aluna Vívian: Huumm...

Profª: E se não houvesse atmosfera?

Aluna Natália: Viria direto.

Profª: Iria acontecer o chuveiro?

Aluna Vívian: Não.

Aluna Natália: Viria direto.

Profª: Aí então a partícula cairia onde?

Aluna Vívian: Qualquer lugar...

Profª: Qualquer lugar? Ela iria cair direto no solo, será?

Aluna Vívian: Uai, pode ser...

Aluna Natália: Ia fazer um buraco!

Profª: O que vocês acham que aconteceria?

Aluna Vívian: Pode ser.

Profª: Pessoal, se não tivesse atmosfera, a partícula vindo do espaço não se abriria num chuveiro e nos atingiria diretamente com altíssima energia. Então, aquela partícula altamente energética iria nos atingir e não iria se dividir.

Aluna Natália: Professora, causaria algum dano?

Aluna Vívian: Vixi... Bastante!

Profª: Causaria.

Profª: E onde ela cairia, pessoal?

Aluna Vívian: Dependendo do lugar que ela vem.

Profª: Sim, mas e como saber onde ela vai cair?

Fizemos um questionamento sobre o que aconteceria se uma partícula atingisse a Terra sem a presença de atmosfera, esperando que os alunos tivessem compreendido que um chuveiro somente é formado devido à interação do raio primário com os átomos da atmosfera. Verificamos, nas falas, que os alunos deram uma resposta correta, ou seja, que a partícula incidente no topo da atmosfera viria direto ao solo mantendo a mesma direção, mas não conseguiram dar muitas explicações, cabendo à professora o papel de conduzir a discussão.

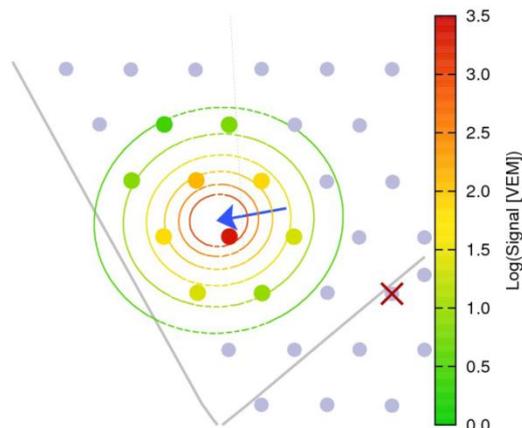
Mas para encontrar o local exato onde o raio primário atingiria o solo, é necessário saber que o centro de massa do sistema de partículas é conservado e que descreve a trajetória do raio primário caso não houvesse

formação do chuveiro. Foi necessário explicar aos alunos o conceito de centro de massa.

Fizemos exemplos na lousa para calcular as coordenadas do centro de massa de um sistema de partículas, já que, na atividade proposta, os alunos trabalham com sistema de coordenadas. Lembramos aos alunos que, para a realização da atividade, não se calcula exatamente o centro de massa, mas um “centro de energia”, uma analogia possível devido ao Princípio da Equivalência Massa-Energia proposto por Einstein.

Em seguida, explicamos como se detecta um chuveiro cósmico no observatório Pierre Auger, mostrando as figuras que contém os tanques em diferentes cores, representando diferentes intensidades de sinais, bem como o local onde o raio primário atingiria o solo, indicado pela seta, como mostra a figura abaixo.

Figura 21. Tanques acionados durante um evento registrado no Observatório e as respectivas intensidades dos sinais.



Fonte: www.auger.org

Essa figura mostra também um tanque descartado, indicado pelo X em vermelho. Esse tanque apresentou algum sinal, ou algum ruído, mas que não faz parte do chuveiro analisado. Pode ser, por exemplo, resquícios de algum outro chuveiro que tenha atingido a Terra do lado oposto e algumas partículas muito leves, como neutrinos, podem atravessá-la sensibilizando os tanques de baixo para cima.

As partículas formadoras do chuveiro viajam com velocidades muito próximas à velocidade da luz no vácuo, e o tempo de detecção em cada tanque depende da direção do raio primário. Podemos observar na Figura 20 o desenvolvimento do chuveiro e perceber os diferentes tempos de acionamento dos tanques.

Dessa forma, os tanques serão acionados em diferentes tempos, já que a frente de onda do chuveiro chega inclinada em relação ao solo. Estabelecemos, então, uma escala de tamanho e tempo para que possamos identificar tal inclinação e, conseqüentemente, a direção normal a este plano, ou seja, a direção de propagação do raio primário incidente.

Abaixo seguem mais alguns trechos da aula nos quais falávamos sobre como determinar a direção do raio primário conhecendo a direção de propagação da frente de onda do chuveiro e seu centro de massa.

***Profª:** Se eu souber o plano da minha frente de onda, pessoal, a direção do raio, ela é o quê?... Perpendicular ao plano. Entenderam? E sabendo onde é o centro de massa, eu sei exatamente de onde esse raio virá, porque ele pode ser perpendicular, mas pode ser perpendicular aqui, aqui, ou aqui, não é? Mas se eu sei onde é o centro de massa, ele é perpendicular e vai ter de cair onde? No centro de massa! Entenderam?*

***Aluna Maria:** Professora, o centro de massa eu entendi o que é, mas aí só vai parar de correr esse tempo quando acionar o outro? É o tempo que demora pra ir de um tanque no outro, não é? (aluna voltou à questão da relação entre as escalas de tempo e comprimento para determinar o plano da frente de onda).*

***Profª:** É isso, vai acionar todos os tanques, aqui são os tempos de acionamento.*

***Aluna Maria:** É o tempo que a partícula demora pra cair nos próximos tanques?*

***Profª:** Isso, caiu aqui primeiro, aí correu o tempo e caiu aqui, correu mais o tempo foi caindo nos outros, entendeu?*

***Aluna Maria:** Ah tá.*

Uma grande preocupação no planejamento da aula foi de como explicar esta escala de tempo, pois pensamos que esta seria uma grande

dificuldade dos alunos, porém percebemos que eles conseguiram compreender, pois estavam atentos à aula e realizando questionamento sobre o que acontece com o tempo de acionamento dos demais tanques.

Se conseguirmos identificar a direção de origem de um Raio Cósmico primário, a hora exata da detecção do chuva e a posição do Observatório na Terra, ou seja, conhecendo as coordenadas de latitude e longitude, é possível complementar a atividade e utilizar um software¹² que imprime o mapa do céu no momento do evento. Assim, apontamos na direção da qual o raio primário se propagou pelo espaço na perspectiva de levantar hipóteses sobre o lugar de origem deste Raio Cósmico e sobre quais são os possíveis mecanismos aceleradores dessas partículas que chegam à Terra com tanta energia.

7.2 Episódio de Ensino I: Identificação dos tanques detectores no plano cartesiano

O primeiro passo da atividade foi a identificação dos tanques, que estão numerados na tabela, mas não na folha representativa da superfície do Observatório e que recebeu o impacto do chuva. Conhecer a posição de cada tanque é fundamental para fazer a analogia com a escala de tempo. Este passo poderia ter sido realizado depois, justamente no momento de se criar esta escala; no entanto, preferimos pedir aos alunos que a fizessem primeiro, antes de calcular o centro de “energia” do chuva, pois assim os alunos poderiam familiarizar-se mais rapidamente com o plano cartesiano, retomando conceitos que talvez estivessem esquecidos.

Iniciamos a atividade dividindo os grupos, e cada um recebeu uma folha com os dados do evento, outra com as posições dos tanques e um pedaço de isopor para servir de base para a construção da maquete.

¹² Podemos utilizar o Stellarium. Trata-se de um planetário de código aberto para computador. Mostra um céu realista em três dimensões igual ao que se vê a olho nu, com binóculos ou telescópio.

É necessário apenas ajustar as coordenadas geográficas para poder observar o céu. Disponível em <http://www.stellarium.org/pt/>

Figura 22. Grupo de alunas no início da atividade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Aluna Natália: Deixa eu ver.

Aluna Vívian: A gente vai ter que transcrever isso aqui aí.

Aluna Natália: Professora!!

Aluna Vívian: Ela vai explicar o que é pra fazer.

Aluna Natália: Nossa, vai fazer os nove?

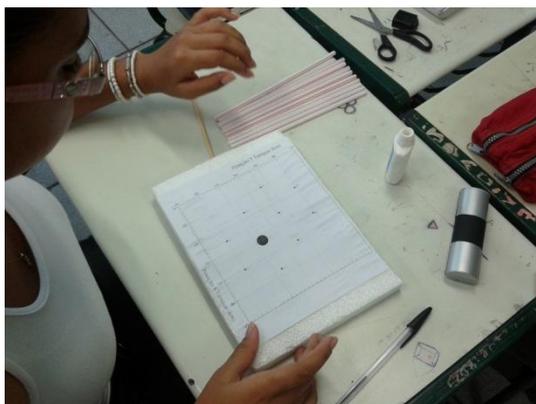
Profª: Gente, olha só! Então eu vou explicar pra vocês o que vocês vão fazer, oh. Então, o que que é isso que vocês receberam? [...] Já conseguiram identificar o que que é isso?

Aluna Vívian: Já!

Aluna Natália: São os tanques!

Profª: Isso! São os nossos tanques, oh! Os detectores do Observatório. Pessoal, esta atividade, isso aqui, são dados reais detectados lá no Observatório.

Figura 23. Identificando os tanques.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em todos os encontros, realizamos atividades que foram desenvolvidas em grupos, no entanto percebemos que esta última causou grande excitação entre os alunos, pois trata-se efetivamente de uma atividade prática, e podemos dizer que é uma reprodução dos experimentos de detecção da direção de um Raio Cósmico primário do Observatório Pierre Auger. Nas falas mencionadas acima, percebemos tal expectativa e a empolgação das alunas, o que pode caracterizar esta atividade como motivadora. Além disso, mostra que elas compreenderam que os tanques possuem coordenadas de posições e identificaram-nos na folha que receberam.

Neste momento, explicamos aos alunos o que deveriam fazer, mas sem dar a resposta. Como já haviam visto na apresentação, todo o processo de detecção e que este exige várias etapas, foi necessária uma intervenção e a orientação dos passos que deveriam seguir. Identificamos os dados fornecidos nas tabelas e como seria o procedimento da atividade, etapa por etapa: identificação dos tanques detectores no plano cartesiano; cálculo do “centro de energia”; e analogia do tempo com os canudinhos com a montagem da maquete.

As alunas do grupo analisado foram logo dando início ao processo de identificação dos tanques. Demonstram grande facilidade com o sistema de coordenadas e a identificação de dados, pois deveriam relacionar as posições fornecidas na tabela com as marcações no plano cartesiano. Abaixo, seguem as transcrições das falas neste momento.

Aluna Vívian: Professora, pode fazer o desenho pra representar, não pode? Tipo, os risquinhos assim, pra representar qual que é o zero, o um, assim...

Profª: Pode, vocês têm que representar...

Aluna Vívian: O zero é esse, né?

Profª: Como você sabe que o zero é esse?

Aluna Vívian: Porque a gente já fez (a aluna falou baixo).

Profª: ah?

Aluna Vívian: A gente já tinha feito (risos).

Profª: Ah, vocês já tinham identificado?

Aluna Vívian: Já... (risos).

Profª: Pelas posições né, vocês identificaram?

Aluna Vívian: Já. 2,25... aí vai indo... (a aluna mostra no plano os pontos que identificou).

Profª: Isso mesmo!

Aluna Natália: Vamos marcar isso direito!

[...]

Aluna Vívian: Será que tem que marcar? O valor?

Aluna Maria: Não sei...

Aluna Vívian: Ó professora, tem que marcar o valor do x e y? Não, né?!

Profª: Não.

Aluna Vívian: Ou só marcar a posição?

Profª: Só marcar os tanques, quais são os tanques.

Aluna Vívian: Então esse aqui é o quatro.

Como esta atividade envolve várias etapas, é de se esperar que haja um pouco de confusão na sequência em que deve ser desenvolvida, e embora estivéssemos a todo instante orientando os alunos, também esperávamos que, ao final de toda a apresentação sobre o processo de detecção do chuveiro, e de posse dos dados, os alunos conseguissem construir suas próprias linhas de raciocínio e levantassem hipóteses sobre os próximos passos. Esperamos

sempre que os alunos tenham estas iniciativas e observamos isto nas falas a seguir.

Aluna Vívian: *Agora, o que é mesmo?*

Aluna Maria: *Agora é o tempo, não é? Saber de onde que vem?*

Aluna Vívian: *É?!*

Aluna Maria: *Aqui tem tempo marcado, oh! O zero foi de um um virgula sessenta e dois segundos.*

Aluna Vívian: *Mas será ..? Deixa eu perguntar pra ela.... Oh professora! Professora! Vem aqui, fazendo favor! Agora o que que a gente faz mesmo?*

Aluna Maria: *Marca o tempo?*

Aluna Vívian: *Marca o tempo?*

As alunas Vívian e Maria discutem o que deverão fazer. Percebemos que entenderam cada etapa separadamente, e que poderiam analisar os tempos de acionamento dos tanques, determinando a escala de tempo e a direção de propagação da frente de onda, como pensaram, porém ficaram inseguras se este passo estaria certo, se era o momento certo, e decidiram pedir ajuda à professora.

7.3 Episódio de Ensino II: cálculo do “centro de energia”

O cálculo do “centro de energia” não precisaria ser o próximo passo, no entanto esta era a organização pensada pela professora, e que refletiu o desenvolvimento da atividade. Quando as alunas perguntaram se deveriam marcar os tempos, respondemos que nesta etapa era preciso realizar o cálculo do “centro de energia”. Esta escolha foi devido ao fato de que os alunos já estavam trabalhando com coordenadas, na identificação dos tanques, e que seguiriam nesta linha ao calcular o “centro de energia” que envolve as coordenadas dos tanques.

Identificamos o segundo episódio de ensino, no qual os grupos calcularam os centros de massa - energia de seus chuveiros de partículas. Segue a continuação da fala anterior.

Profª: Não, agora vocês têm que calcular o centro de massa ou centro de energia, não é?!

Aluna Vívian: É só usar aquela formulinha ali? Pequeninha?

Profª: É, pequeninha. Isso, só que aí vocês vão fazer pro x , né, só que aí vocês têm um número maior, vocês têm dez termos... Então vai ficar, por exemplo, x do zero vezes a energia do zero.

Aluna Vívian: Cadê a energia mesmo?

Profª: Energia é esse aqui, oh, o sinal... Mais o x do um vezes a energia do um, mais o x do dois vezes a energia do dois, mais...

Aluna Maria: É dez números então?

Profª: É, tudo isso, dividido pela soma das energias, entendeu?

Aluna Vívian: Huhumm... Essa parte é com você! (passa para Natália fazer as contas)

Aluna Natália: Vocês fizeram a parte mais fácil!

Aluna Vívian: É um pra cada uma.

Aluna Natália: Vou pegar uma folha. É sacanagem isso... só localizar uns pontinhos....

Aluna Vívian: Oh, vai marcando, eu vou falando e você vai marcando. Você vai marcar a fórmula primeiro? Pode marcar!

Aluna Natália: Vai demorar.

Aluna Vívian: Não, rapidinho faz.

Figura 24. Momento dos cálculos do centro de massa-energia.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A professora sugere às alunas que devem calcular o “centro de energia”, mas fica claro nas falas que realizar contas não é uma tarefa agradável e que o tamanho da fórmula acaba desanimando e diminuindo a motivação. Porém, percebemos também que é a aluna Vívian, líder do grupo, que distribui as tarefas e que tem seu papel de motivadora, encorajando a amiga Natália a realizar as contas. Isto faz com que o grupo caminhe, traçando suas metas para conseguirem desenvolver suas ideias, uma ajudando a outra, sem a necessidade da intervenção da professora a todo o momento no processo de construção do conhecimento.

Embora o grupo estivesse unido e constantemente motivado pela líder, esta etapa da atividade demandou um pouco mais de tempo e com certa incredulidade dos alunos que as contas dariam certo, pois embora estivéssemos trabalhando apenas com operações básicas de soma, multiplicação e uma divisão, cálculo de centro de massa de sistema de partículas, havia muitos termos para utilizarem nas contas. Em torno de dez tanques para cada grupo. É importante observar que a falta de calculadoras científicas dificultou a realização dos cálculos. Com uma calculadora simples, é necessário calcular cada multiplicação entre a energia e a posição, e anotar os valores, para somente depois realizar a soma desses resultados, pois o

número torna-se tão grande que, na maioria das vezes, não “cabe” na calculadora convencional.

Assim, para evitar esse tipo de problema, o professor pode providenciar antecipadamente várias calculadoras científicas ou mesmo solicitar que os alunos providenciem e levem para a aula em que realizarão esta atividade.

Abaixo, um pequeno trecho sobre a opinião da aluna quanto ao cálculo e à utilização da calculadora científica.

Aluna Natália: NOSSA!!! Isso aqui não vai caber!!!

Aluna Maria: Não?

Aluna Natália: Não!!! Eu tô no quatro ainda. É muito número!

Aluna Maria: Não é mais fácil você já ir multiplicando, pra ficar menor?

Aluna Natália: Como ficar menor? Que jeito?

Aluna Maria: Em vez de ficar esse multiplicado por esse, multiplicado por esse, por esse, joga tudo direto.

As alunas do grupo em questão resolveram as contas com uma calculadora científica. Nas falas, podemos observar como as próprias alunas respondem às dúvidas que surgem, sem a necessidade de chamar a professora. A aluna Natália seguiu por um tempo fazendo as contas, enquanto a Vívian ficava observando e auxiliando, quando necessário.

Aluna Vívian: Agora, divide.

Aluna Natália: É né?

Aluna Vívian: Somar tudo e dividir.

Aluna Maria: Não! Tem que multiplicar primeiro.

Aluna Vívian: É, multiplicar.... AH, você nem multiplicou ainda?

Aluna Maria: Você multiplicou já, não foi? Eu falei pra você multiplicar.

Aluna Natália: Eu multipliquei! Mas primeiro tinha que fazer o x e a massa. Eu fiz esse e coloquei...

Aluna Vívian: Ah, agora só falta somar, então?

Aluna Natália: Não! Multiplicar, oh! (Vívian faz cara de que não entendeu)

Aluna Vívian: Como multiplicar?

Aluna Maria: Ah, ela colocou... $x(a).m(a)....x(b).m(b)....$

Aluna Natália: Não! Mano, oh!

Aluna Vívian: Você colocou só os valores?

Aluna Natália: É... não oh oh!! Sabe o x e esse....multiplicando... (as alunas estão perdidas)

Aluna Vívian: Não, então, nem precisa. Porque, oh!

Aluna Natália: Oh, x e esse multiplica! Aí tem que coisar todos... tem que saber o valor de todos.

Aluna Maria: Ah, tá certo, tá certo. Tem que multiplicar tudo pra depois somar, oh!

Aluna Vívian: É, então, por isso que eu tô falando que só falta somar agora.

Aluna Natália: Não, só falta multiplicar o total desse...desse baguizinho aqui e dividir por esse.

Aluna Vívian: Tá, faz aí, eu não entendi, mas tudo bem.

Aluna Natália: Ai Vívian!!! Você... não entendeu!? Nossa!!!

Aluna Vívian: Uai, Natália, eu não entendi, ué! Porque, pra mim, tem que multiplicar primeiro pra depois somar. (as alunas ficam em silêncio)

Aluna Natália: Oh! É o $x(a)$ vezes a massa.

Aluna Vívian: A massa! Ahaham.

Aluna Natália: Vezes a massa, certo?!

Aluna Vívian: Certo! Tá vendo? Tipo, dois vírgula vinte e cinco vezes um.... (aluna mostra para outra e elas ficam em silêncio novamente tentando entender)

.... (risos)

Aluna Vívian: Né....(risos) tá vendo!

Aluna Natália: Ah, então é só somar!!!

Aluna Maria: Tá errado!

Aluna Vívian: Tá errado! Você já multiplicou? Esse por esse?

Aluna Natália: *É, multipliquei esse por esse.*

Aluna Vívian: *Então, agora assim....ai que susto, Natália!!!*

Apresentamos acima um trecho bastante longo deste episódio, mas que mostra claramente como a aluna Vívian, líder do grupo, assume a proposta da professora e orienta a colega, que faz os cálculos de modo que consigam compreender esta etapa, e sozinhas!

7.4 Episódio de Ensino III: analogia do tempo com os canudinhos e montagem da maquete

Foi preciso explicar e mostrar claramente o que deveriam fazer, olhando os valores dos tempos na tabela de dados para cortar os canudinhos no tamanho que correspondesse ao tempo. Porém, em um dos eventos, que foi justamente o fornecido para o grupo analisado, o tempo de acionamento dos tanques era muito pequeno, o que dificultaria cortar os canudinhos nesses tamanhos. Uma sugestão dada às alunas foi de dobrar o tamanho de cada canudinho. Inicialmente, pensamos que isto não faria diferença. No entanto, como um dos tanques tem o tempo nulo, ao aumentarmos o tamanho dos canudinhos, o plano da frente de onda muda de direção; logo, a direção encontrada não é real. Segue o trecho da fala na qual a professora sugere isto à aluna.

Profª: *Só que aqui como esses números estão muito pequenininhos, se você quiser dobrar, por exemplo, pra ele ficar maior...*

Aluna Vívian: *Se tá pequenininho faz pequeno....*

Profª: *Não. É que, às vezes, um e sessenta e dois não vai dar nada...Bom, você que sabe, se quiser fazer desse tamanho, ou se quiser dobrar...*

Aluna Vívian: *Tô brincando, professora!*

Profª: *Bom, ou você faz assim, ou dobra todo mundo. Mas aí você tem que considerar também o tamanho da placa. Tem....vamos ver....um e meio, então tem que somar um e meio no tamanho do canudo, que é o que vai ficar fincado no isopor.*

[...]

Aluna Vívian: *Ó professora, não pode arredondar o número?*

Profª: *Você fala pra cortar o palito, aí?*

Aluna Vívian: *É, porque assim, oh...um e sessenta e dois, aí eu dobrei já....aí eu somei com mais um e meio, deu quatro vírgula setenta e quatro, não pode arredondar pra cinco?*

Profª: *Tenta cortar mais próximo o que você conseguir do número.*

Os dados fornecidos de tempo realmente são trabalhosos, pois além de se apresentarem em números muito pequenos, devemos considerar os decimais. Ao fazer a transposição desses valores para a escala de tempo, é fundamental que se tenha a maior precisão possível, embora estivéssemos utilizando uma tesoura e régua apenas. Isso para que não haja distorções na direção real da frente de onda do chuveiro. Na fala acima, a aluna Vívian pergunta se poderia realizar arredondamentos nos valores dos tempos, e é importante o professor destacar que a precisão é fundamental para se obter bons resultados em um trabalho empírico. Infelizmente, na atividade deste grupo, houve esta falha da professora, permitindo que se dobrasse o tempo e não exigindo tanta precisão no corte dos canudinhos.

Destacamos novamente a importância da realização da atividade em grupo, pois em todos os episódios de ensino, o trabalho ocorreu sempre em conjunto. Na maioria das vezes em que surgiram dúvidas, as próprias alunas orientaram umas às outras, e este processo torna-se cada vez mais claro nestas etapas finais da atividade. A experiência e a vivência de cada membro do grupo tornam-se pontos importantes para a aprendizagem de todos os participantes, resultando em novas ideias, novas estratégias para resolver problemas, facilitando o processo de uma aprendizagem mais significativa.

Aluna Natália: *Professora!*

Profª: *Só um instante.*

Aluna Natália: *Ah não, tem que fazer isso ainda, marcar de onde veio o raio.*

Aluna Vívian: *Ah, então, mas isso eu não sei fazer.*

Aluna Natália: *Então, mas a gente já fez, não é? Não é marcar o x e o y?*

Profª: *É, tem que marcar a posição do x e y do centro de massa, onde é.*

Aluna Vívian: *Na onde?*

Profª: *Aqui.*

Aluna Maria: *X é dois e dezenove e y é dois e quarenta.*

Profª: *Marca aqui, o x e o y do centro de massa.*

Aluna Natália: *É no zero....*

Aluna Vívian: *É no zero?!*

Profª: *É. É no tanque zero. Agora vocês têm de, com o palito, ver a direção do raio.*

Aluna Natália: *Ele tá vindo daqui.*

Profª: *É.*

Aluna Vívian: *De onde?*

Aluna Natália: *Ele tá vindo daqui. (aluna aponta na maquete)*

Aluna Vívian: *Nessa reta...*

O último passo deste terceiro episódio de ensino consiste em identificar a direção de propagação do raio primário, ou seja, o objetivo final da atividade. Como são várias etapas, a aluna Vívian acabou ficando um pouco impaciente em perceber que haveria mais uma tarefa. Parece-nos que ela havia entendido todo o processo, mas que já estava cansada e confusa nesta etapa final. Talvez isso tenha ocorrido justamente por ter assumido a postura de líder do grupo, o que significa, de certo modo, que foi a que mais trabalhou.

Perguntou à professora como saber de onde o raio estava vindo, mas as outras participantes, Natália e Maria, responderam à sua pergunta, cabendo à professora somente a confirmação de como deveriam proceder.

Ao final da atividade, pudemos notar que, mesmo tendo algumas dúvidas, dificuldades com as contas e calculadora, o grupo conseguiu compreender todo o processo para descobrir a direção de incidência do raio primário, como observamos ao final da fala anterior, na qual a aluna Natália conclui e mostra para as participantes do grupo qual deve ser esta direção, utilizando um canudo.

A maquete final, representando a direção de origem do raio primário pode ser observada na Figura 27.

Figura 25. Maquete da direção do raio primário finalizada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma sugestão para as próximas aplicações da atividade é que uma problematização melhor possa ser realizada. Ou seja, o professor poderá comparar alguns conceitos que são utilizados, por exemplo, na explosão de uma granada ou mesmo em uma investigação criminal, na qual é preciso avaliar qual a trajetória de um projétil.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo final, apresentaremos as reflexões que este trabalho nos permitiu, quanto ao processo de Transposição Didática para o tema Raios Cósmicos e, quais são os aspectos importantes identificados na implementação da sequência de ensino e aprendizagem, apresentada neste trabalho.

8.1 Raios Cósmicos sob o olhar da transposição didática

Neste item, refletimos sobre a possibilidade de se transpor o tema Raios Cósmicos, baseando-se e analisando as regras da transposição para este tema, ou seja, vamos verificar se esse saber atende às características apontadas por Chevallard e às regras de Astolfi. Esses critérios avaliam apenas se é possível ou não realizar a transposição didática, não considerando se é uma boa transposição.

O tema Raios Cósmicos está inserido na Física Moderna e Contemporânea dentro da Física de Altas Energias, amplamente pesquisada e difundida na comunidade científica atual e plenamente reconhecida. Os Raios Cósmicos apresentam-se como uma fenomenologia natural e que foram observados pela primeira vez no ano de 1910. A descoberta dos Raios Cósmicos, em 1920, rendeu a Victor Hess o Prêmio Nobel de Física. Logo em seguida, ainda na mesma década, foi comprovado que esses raios são partículas carregadas eletricamente, e a prova final dessa conclusão foi obtida por Arthur Compton, no início da década de 30. Muitas partículas eram previstas teoricamente, e graças aos estudos sobre os Raios Cósmicos é que foram verificadas experimentalmente, e como exemplo temos a descoberta do pósitron, por Carl Anderson, em 1932, a descoberta do decaimento de um fóton em um par elétron-pósitron, por Occhialini e Blackett, em 1933, e em 1937, a descoberta do múon, e a grande contribuição do Físico brasileiro César Lattes com a descoberta do importante méson proposto por Yukawa, o mésonpi, partícula responsável pela união e pela estabilidade no núcleo atômico. A partir daí, as pesquisas sobre Raios Cósmicos desenvolveram-se rapidamente

e, recentemente, renovaram o interesse e a importância sobre o estudo de Raios Cósmicos, em particular daqueles de altas energias. Ao menos momentaneamente, os estudos sobre os Raios Cósmicos apresentam um status de “verdade”, o que garante a **consensualidade** apontada por Chevallard.

Sabemos, atualmente, que os Raios Cósmicos são, em sua grande maioria, prótons e núcleos mais pesados, que atingem a atmosfera da Terra com altíssimas energias. No entanto, as perguntas mais significativas para os pesquisadores é de onde vêm e como adquirem tamanha energia? E na busca de novas respostas, muitos mistérios e muitas dúvidas ainda prevalecem, mas é isso que faz do estudo de Raios Cósmicos uma das áreas de pesquisas mais instigantes da atualidade, garantindo sua **atualidade biológica**.

O primeiro Raio Cósmico Ultraenergético da história foi capturado pela equipe de John Linsley, em 1962, e incentivou a comunidade científica a investigar mais sobre essas partículas com tanta energia (10^{21} eV). Surgiram novos detectores terrestres, como o Agasa (Japão) e Havenah Park (Reino Unido), mas em 1980 outros buscavam capturar uma luz fluorescente da interação do raio com a atmosfera. Segue-se, assim, uma onda de desenvolvimento de novas tecnologias que podem estar presentes na vida da sociedade.

O Brasil tem participação na construção de novos dispositivos, pois a Universidade Estadual de Campinas desenvolveu um equipamento para os telescópios “olho de mosca”, que permite a captação duas vezes maior da luz dos rastros fluorescentes na atmosfera, além de produzir janelas para os telescópios, tanques e baterias. Além disto, já está em funcionamento o maior experimento da história da Física de Altas Energias para detectar Raios Cósmicos, o Observatório Pierre Auger, localizado na Argentina, na cidade de Mendoza.

A construção desse observatório envolveu diretamente a comunidade local, sendo necessário um trabalho de integralização entre os cientistas e a sociedade, pessoas leigas, mas que passaram a conviver diretamente com os avanços da ciência. Novos sistemas de detecção, comunicação e armazenamento de dados podem ser desenvolvidos.

Além disso, o estudo dos Raios Cósmicos permitiu a descoberta de novas partículas, como o pósitron, e a geração de novas tecnologias aplicadas na medicina, como, por exemplo, o PET (Pósitron Emission Tomography) ou mesmo o desenvolvimento de usinas nucleares como fonte alternativa de energia. Todo esse novo conhecimento não pertence aos saberes que possam ser ensinados pelos pais, está muito distante da cultura cotidiana, permitindo, assim, que faça parte do currículo escolar, atendendo à **atualidade moral**.

Além de apresentar-se atual (biológica e moralmente), a inserção desse novo saber no contexto escolar constitui em um processo de modernização do saber. É importante que os alunos tenham conhecimento das pesquisas e de como as descobertas sobre Raios Cósmicos e novas partículas podem estar cada vez mais presentes em seu dia a dia.

Porém, não basta lançarmos este conteúdo como um simples tópico, mas, sim, de maneira articulada com o saber antigo, ou com conceitos fundamentais da Física Clássica para que não gere nos alunos um sentimento de insegurança e questionamento quanto a uma possível natureza instável dos saberes. Por exemplo, é comum que os alunos já tenham realizado algum dia um exame de raios-X, sabem para que serve esse exame, mas não sabem o que são esses raios, assim como não sabem de outros raios, como gama, beta, alfa ou mesmo os Raios Cósmicos. Todos esses tipos de radiação podem ser encontrados, de uma maneira ou de outra, inseridos na vida dos alunos, possibilitando um melhor entendimento do funcionamento de equipamentos eletrônicos, utilizados na medicina ou em usinas nucleares.

Quanto ao critério de **operacionalidade**, podemos desenvolver atividades e exercícios sobre o tema Raios Cósmicos, por exemplo, operacionalizamos o conceito de “centro de energia” para dar conta de compreender o processo de detecção de um chuveiro cósmico. Podemos também desenvolver atividades que abordem alguns conceitos fundamentais, muitos deles já inseridos e enraizados há muito tempo no currículo do Ensino Médio, como, por exemplo, conservação de energia e momento, centro de massa, trajetória, sistemas de coordenadas, velocidade, orientação geomagnética, referências de tempo e observação do céu.

As atividades propostas no minicurso abordaram todos esses conceitos; por exemplo, tentamos mostrar aos alunos o significado macroscópico da energia transportada por um Raio Cósmico; assim, realizamos uma atividade simples sobre escalas de energia, na qual utilizamos matemática básica e conversão de unidades, envolvendo os conceitos de energia e velocidade. A atividade principal sobre a determinação da direção de um Raio Cósmico exigiu dos alunos conhecimento de centro de massa, conservação de energia e momento, para que pudessem “visualizar” o local de queda da radiação primária, conhecimento sobre o sistema de coordenadas cartesianas, para que pudessem localizar os tanques e identificar o centro de massa do chuveiro cósmico, referências de tempo, pois cada partícula do chuveiro aciona os diferentes tanques em diferentes tempos. Assim, uma analogia entre comprimento e tempo precisou ser estabelecida e interpretada pelos alunos.

Além de termos um leque de possibilidades para a criação de exercícios e atividades possíveis de serem avaliadas pelo professor, percebemos ainda que esta é uma maneira de articular o conhecimento “novo” com o “antigo”, garantindo e satisfazendo as regras III e IV da transposição didática. Por se tratar de um tema com aspectos misteriosos para a ciência, podemos desenvolver nos alunos interesse e curiosidade, e raciocínio crítico que podem ser evidenciados por ricas discussões e debates em sala de aula, se bem conduzidos pelo professor.

É fundamental, ainda, que estas atividades passem por outro teste, a **terapêutica**. Somente a experiência da real aplicação dessas atividades podem dizer-nos se elas são efetivas e se sobreviverão no sistema didático. Nossa primeira experiência sobre a aplicação dessas atividades no minicurso realizado indica-nos que existem grandes chances de que esse saber sobreviva, principalmente quanto ao critério de operacionalidade e criatividade didática, uma vez que utilizamos conceitos e materiais simples do cotidiano dos alunos, criando uma linguagem própria e de fácil entendimento no contexto escolar. Para realizar a atividade de determinação da direção de um Raio Cósmico, utilizamos placas de isopor e canudinhos de refrigerante, e claramente essa atividade é uma adaptação do que se faz no Observatório

Pierre Auger, utilizando detectores, computadores e telescópios. Embora tenhamos mantido uma ligação com o real, um fundamento científico por trás da atividade, esta existe apenas na sala de aula.

No entanto, ao analisar a produção de atividades e exercícios para o tema Raios Cósmicos, encontramos ainda algumas dificuldades no sentido de adaptação destes nos mesmos moldes dos famosos exercícios sobre aplicações das Leis de Newton, e este fato pode parecer-nos um obstáculo à didatização do tema em questão, já que o saber que sobrevive é justamente o que permite o maior número de exercícios propostos nos livros e outros materiais. Porém, a transposição didática no critério de operacionalidade deve ser vista com estreita conexão entre as atividades desenvolvidas e as formas de avaliação, ou seja, as atividades não precisam ser apenas resolução de exercícios e problemas matematizados, mas pensadas e analisadas de forma que o processo de avaliação esteja claro, tanto para o professor, como para os alunos, ou seja, todos devem estar habituados e sentirem-se à vontade quando o assunto for a forma de avaliação das atividades e dos exercícios desenvolvidos sobre um tema específico, seja sobre Física Clássica, seja sobre Física Moderna e Contemporânea. (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

8.2 Principais aspectos da sequência de ensino e aprendizagem

O objetivo principal desta pesquisa foi apresentar uma sequência de ensino e aprendizagem sobre a temática Raios Cósmicos que contribuísse para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais significativa e para o conhecimento e a formação do aluno.

Acreditamos e percebemos pelas falas dos alunos, descritas neste trabalho, que a receptividade, aceitação e compreensão da atividade foram bastante positivas. Com uma temática bastante instigante, os alunos foram movidos pela curiosidade e pela vontade de conhecer o desconhecido. Em relação aos conhecimentos de Física e do ponto de vista da professora, podemos dizer que as discussões durante os encontros do minicurso, as respostas aos questionamentos realizados e o desenvolvimento das atividades sugerem que os alunos conseguiram compreender os novos conhecimentos de Física de maneira muito satisfatória.

Podemos dizer ainda que este trabalho permitiu aos alunos um contato com a pesquisa científica, de uma maneira simplificada, mas ainda sim propiciando a oportunidade de vivenciar um processo real de identificação de partículas formadoras de um chuveiro cósmico com a finalidade de determinar qual seria o ponto de impacto do Raio Cósmico primário, bem com a sua direção de chegada à Terra. Podemos afirmar isto pelo fato de que os dados utilizados na atividade do terceiro encontro são reais e esta sequência, embora transformada para a sala de aula, reflete a situação real vivenciada pelos astrofísicos de partículas do Observatório Pierre Auger.

Já do ponto de visto metodológico, esta sequência sobre Raios Cósmicos foi pensada inicialmente como fruto de um processo transformador dos saberes, embasado na Teoria da Transposição Didática e de maneira que pudesse articular temas de Física Clássica com temas de Física Moderna e Contemporânea, o que permitiria ao professor pensar diferentes maneiras de inserir esses tópicos dentro de seu cronograma, já que infelizmente os livros didáticos de Física estão abarrotados de conceitos e fórmulas clássicas, não deixando espaços para a Física Moderna e tudo o que há de novo na ciência atual.

Embora a proposta esteja voltada no sentido de inserir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, pensamos, em primeiro momento, que pudéssemos unir os conceitos fundamentais da Física Moderna com os conceitos da Física Clássica, principalmente quando pensamos nos cálculos envolvidos nos principais problemas e discussões, que se tratam de uma formulação Clássica. Assim, a atividade surgiu como nova perspectiva de inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Porém, observamos um fato que deve ser levado em consideração: a temática Raios Cósmicos está toda centrada na Física Moderna e Contemporânea, onde os conceitos físicos são bastante complexos, por exemplo, a energia e a velocidade das partículas são totalmente relativísticas.

Podemos sim utilizar uma analogia entre a explosão de uma granada e a formação do chuveiro cósmico, por exemplo, quanto a conservação de momento, no entanto mesmo fazendo esse tipo de comparação as diversas partes da granada após a explosão não são de

mesma natureza e comportamento das partículas do chuveiro, estas são ondas-partículas de natureza relativística.

A atividade principal que desenvolvemos no minicurso, que trata da determinação da direção de um Raio Cósmico, não aborda nenhum conceito relativístico, por exemplo, para realizar a atividade, os alunos precisam apenas trabalhar com conceitos clássicos, como cálculo do centro de massa-energia e tempo clássico. No entanto, a energia de uma partícula vinda do espaço é tão grande e que, para estimá-la, utiliza-se um cálculo relativístico para velocidade da partícula, que é aproximadamente a velocidade da luz. A atividade de escalas de energia, e que não é fundamental para realizar a atividade principal, pode justamente abordar o conceito de velocidade e energia relativístico.

Portanto, mesmo que a determinação da direção de um Raio Cósmico não se constitua em atividade que aborde propriamente os conceitos da Física Moderna e Contemporânea, através dela é possível abrir caminhos para muitas abordagens voltadas para a inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio ou mesmo para trabalhar com a Física Clássica de maneira diferente e mais instigante.

Se pensarmos do ponto de vista educacional, a Astrofísica de Partículas é um campo rico a ser explorado. A conexão entre o mundo macroscópico (objetos astronômicos) e o mundo microscópico (partículas fundamentais), presentes neste campo de pesquisa, oferece aos estudantes do Ensino Médio uma oportunidade única para desenvolver importantes conceitos científicos no processo de aprendizagem. E uma possível e importante ferramenta pedagógica para uma aprendizagem significativa ocorre por meio do desenvolvimento de atividades e experimentos nos quais os modelos possibilitam trabalhar com escalas, sistemas de coordenadas, tempo e mapas celestes.

Por fim, ressaltamos que este trabalho teve como objetivo fornecer aos professores de Física do Ensino Médio um produto educacional que permita a inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no currículo escolar. Aplicamos a sequência de ensino e aprendizagem proposta aqui, no formato de um minicurso, realizamos gravações em vídeos que pudessem nos auxiliar numa primeira percepção dos alunos quanto às atividades

desenvolvidas, mas devido ao fato de se tratar de uma sequência com uma atividade totalmente inédita, um estudo mais aprofundado sobre a sua validação real em sala de aula poderá ser realizado em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, B., et al. Discussing a research programme for the improvement of science teaching. In: BOERSMA, K. et al. (Ed.). **Research and the quality of Science Education**. Dordrecht: Springer. 2005. (pp. 221–230).

ANDRÉ, M. E. D. A. A pesquisa no cotidiano escolar. In: FAZENDA, I. (Org.). *Metodologia da pesquisa educacional*. 6.ed. São Paulo: Cortez, 2000. p. 35-45.

ASTOLFI, J. P. *Mots-clés de ladidactique des sciences. pratiques pèdagogies*. Bruxelas: De Boeek & Larcier S. A., 1997.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Situações de ensino – aprendizagem**: análise de uma sequência didática de Física a partir da Teoria das Situações de Brousseau. 2008. 284p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

BARROS, M. A.; SARAN, M. C. B. Cosmic Ray from the perspective of the Didactic Transposition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF SCIENCE TEACHING. 2012. Madrid, Spain. *Proceedings of The International Symposium of Science Teaching - SIEC, Madrid, Spain*. E-book.

BARROS, M. A., et al. Proposal for a teaching and learning sequence on cosmic rays for High School curriculum. In: THE WORLD CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION. 2012. Istanbul, Turkey. *Proceedings of The World Conference on Physics Education - WCPE, Istanbul, Turkey*. E-book.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. *Investigação qualitativa em educação*. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**, vol. 2. Brasília, 2006.

BROCKINGTON, G. **A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARVALHO, A.M.P.; VANNUCCHI, A. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em ensino de ciências**, v.1, n.1, p.3-19,1996.

CAVALCANTE M. A. O Ensino de uma Nova Física e o Exercício da Cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 4, p.550-551, dez.1999.

CAVALCANTE, M. A.; 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, p. 372-389, 2004.

_____ Uma Caixinha para o Estudo de Espectros. **Física na Escola**, v. 3, n. 2, p. 40-42, 2002.

CHEVALLARD, Y. **La Transposicion Didactica: del saber sábio al saber enseñado**. Argentina: La Pensée Sauvage, (1991).

DUIT, R. Science Education Research Internationally: Conceptions, Research, Methods, Domains of Research. **Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education**, v. 3, n. 1, p. 3-15, 2007.

ENDLER, A. M. F. **Vovó conta de que são feitas as coisas**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2007.

GONÇALVES, M.E.R. **As Atividades de Conhecimento Físico na Formação do Professor das Séries Iniciais**, 1997. Tese (Doutorado em Educação).

Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
São Paulo.

LEACH, J.; SCOTT, P. Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. **Studies in Science Education**, v. 38, p.115–142. 2002.

LIJNSE, P-L. Developmental Research' as a way to an empirically based 'Didactical Structure' of science. **Science Education**, v. 79, n. 2, p. 189–199, 1995.

LIJNSE, P.; KLAASSEN, K. Didactical structures as an outcome of research on teaching- learning sequences? **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 537–554. 2004.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

LUNA, S. V. O falso conflito entre tendências metodológicas. In: FAZENDA, I. (Org.). **Metodologia da pesquisa educacional**. 6.ed. São Paulo: Cortez, 2000. p. 21-33.

MATOS FILHO, M. et al. **A Transposição Didática em Chevallard**: as deformações/transformações sofridas pelo conceito de função em sala de aula. Disponível em: http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2008/anais/pdf/431_246.pdf. Acesso em: 23/02/2012.

MAXWELL, R. P. S. **Do Visível ao Indivisível**: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. 2006. 257p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

MEHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-Learning Sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n.5 p.635-652, 2004.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: **Research and Quality of Science Education** (Eds. Kerst Boersma, Martin Goedhart, Onno de Jong e Harrie Eijelhof) Holanda: Spring. 2005.

MELLO NETO, J. T. Astronomia de Raios Cósmicos. **Ciência Hoje**. V. 41, n. 245. jan.\fev. 2008.

MINAYO, M. C. S. Ciência, técnica e arte: o desafio da pesquisa social. In: **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 1994.

_____ **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 7.ed. São Paulo: Hucitec; Rio de Janeiro: Abrasco, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **National Science Education Standards**. Washington, DC: National Academy Press, 1996.

NICOLI JUNIOR, R. B. **O conteúdo de Cinemática nos livros didáticos de 1810 até 1930**. 2007. 170 p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.16, n.3, p.267-286, dez.99.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 23-48. 2000.

PEREIRA, O. S.; et al. Produção, Avaliação e Utilização de um Vídeo para o Ensino de Física Moderna – Radiação Cósmica. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física. XII. 1997. Belo Horizonte. *Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – CECIMIG - FAE*, 1997. p. 314-326.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 88-108. 2002.

PINHO-ALVES, J. **Atividades Experimentais: do método à Prática Construtivista**. 2000a. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências da Educação. Florianópolis.

PINHO-ALVES, J. Regras da Transposição Didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188. 2000b.

PINTO, A.C., ZANETIC, J. É Possível Levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, abr. 1999.

PSILLOS, D.; TSELFES, V.; KARIOTOGLOU, P. An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: The case of fluids. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 555–578. 2004.

SIQUEIRA, M. R. P. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o ensino médio**. 2006. 257p. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

SOUZA, V., et al. Cosmic rays in the classroom. **Physics Education**, march 2013. Disponível em: < <http://iopscience.iop.org/0031-9120/48/2/238>>. Acesso em: 05/04/2013.

SUASSUNA, L. Pesquisa qualitativa em Educação e Linguagem: histórico e validação do paradigma indiciário. **Perspectiva**, Florianópolis v. 26, n. 1, 341-377, jan./jun. 2008. Disponível em:<http://www.perspectiva.ufsc.br/perspectiva_2008_01/Livia.pdf>. Acesso em: 20/06/2012.

TERRAZZAN, E. A. et al. A evolução das ideias sobre a estrutura da matéria: uma contribuição para o ensino de Física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física. XII. 1997. Belo Horizonte. *Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – CECIMIG - FAE*, 1997. p. 650-658.

TIBERGHIEU, A. Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In: WELFORD G.; OSBORNE J.; SCOTT P. (Ed). **Research in science education in Europe: current issues and themes**. London: Falmer. 1996. p. 100–114.

TIBERGHIEU, A.; VINCE, J.; GAIDIOZ, P. *Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics*. **International Journal of Science Education** v. 31, n. 17, p. 2275–2314. 2009.

TORRE, A. C. De la Reflexiones sobre la enseñanza de la Física Moderna. **Educación en Ciências**, v. 2, n. 4, p. 70-71, 1998.

VALDEMARIN, V. V. O discurso pedagógico como forma de transmissão do conhecimento. **Cad. CEDES**, v. 19, n. 44, p. 73-84, 1998.

ZANETTI, J. **Física Também é Cultura**. 1989. Tese (Doutorado em educação) Instituto de Física - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo.

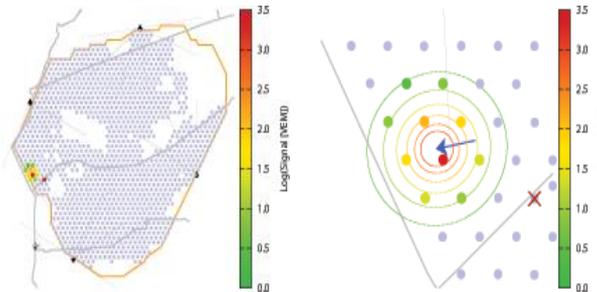
ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ANEXO A

Neste anexo apresentamos os dados dos eventos utilizados durante o minicurso, contendo as tabelas, figuras e posições dos tanques para maquete.

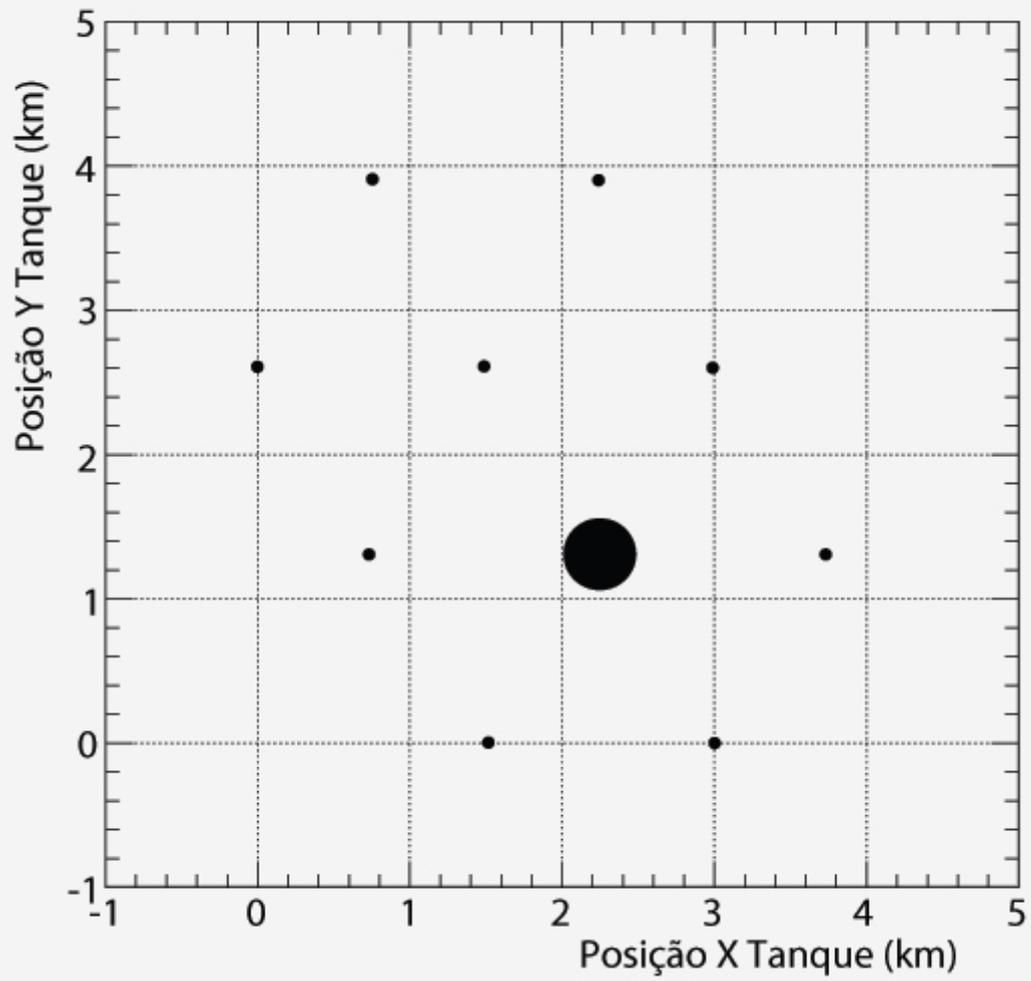
Dados do Evento 1

Observatório Pierre Auger	
Latitude	35.3 S
Longitude	69.3W



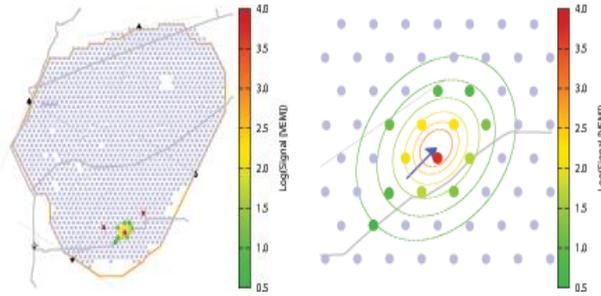
	Id	Dia	Mês	Ano
	3637800	1	7	2007
Tanque	X (km)	Y (km)	Sinal (VEM)	Tempo (ms)
0	2,25	1,31	2184,72	1,62
1	1,49	2,61	129,01	2,41
2	2,99	2,60	71,81	0,56
3	0,74	1,31	65,43	3,96
4	1,52	0,01	23,27	3,39
5	3,73	1,31	23,13	0,00
6	3,00	0,00	9,31	1,64
7	0,00	2,61	7,48	4,95
8	2,24	3,90	6,45	1,69
9	0,75	3,91	2,71	4,69

Evento 1



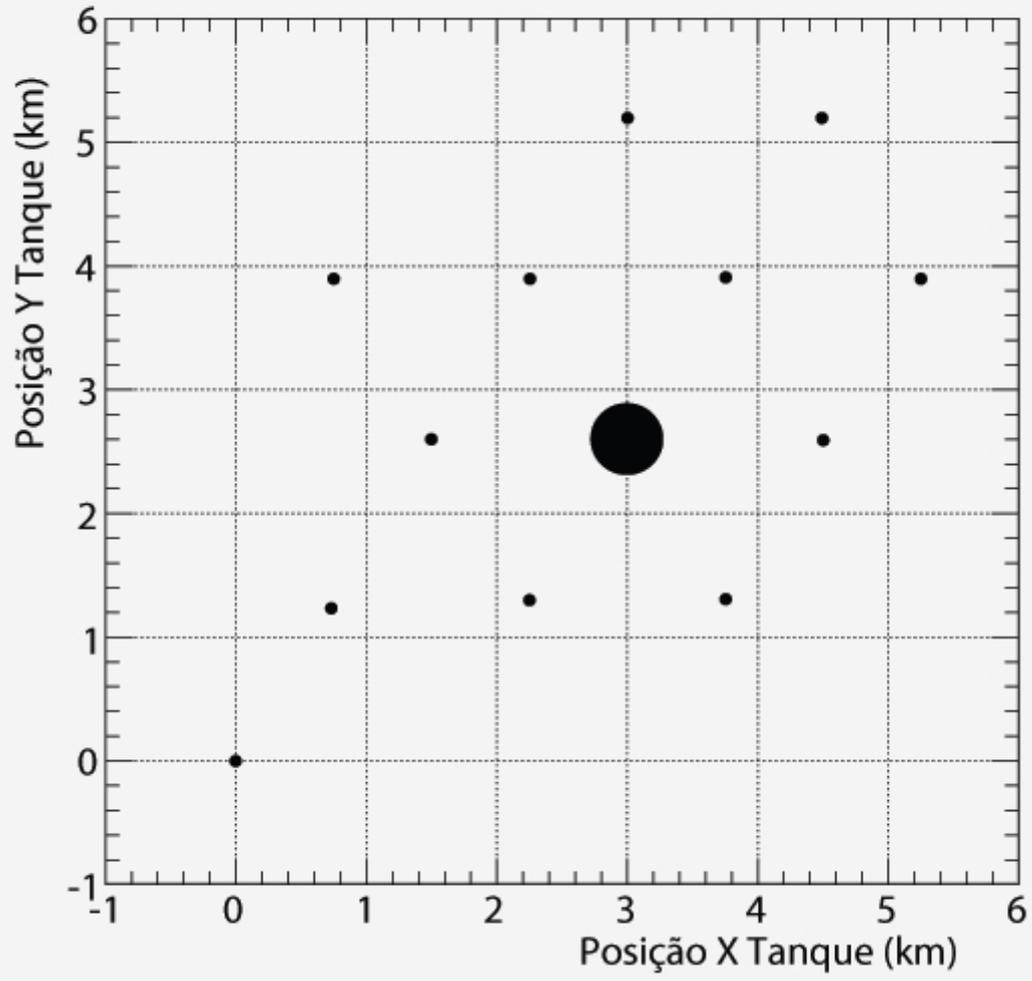
Dados do Evento 2

Observatório Pierre Auger	
Latitude	35.3 S
Longitude	69.3W



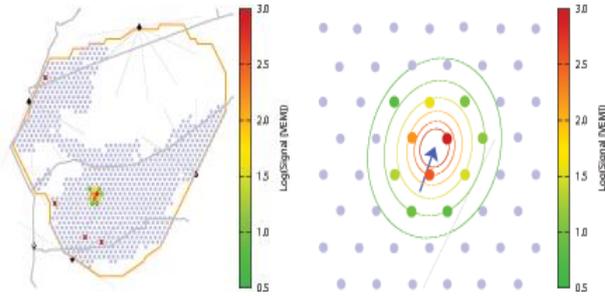
	Id	Dia	Mês	Ano
	10485600	26	10	2010
Tanque	X (km)	Y (km)	Sinal (VEM)	Tempo (ms)
0	3,00	2,60	5148,15	6,95
1	3,75	3,91	191,42	10,08
2	2,25	3,89	167,61	7,68
3	1,50	2,60	111,77	4,63
4	2,25	1,30	50,91	4,14
5	4,50	2,59	45,78	9,67
6	3,75	1,31	19,33	7,04
7	5,25	3,90	17,43	12,89
8	0,75	3,89	11,94	5,77
9	3,00	5,20	8,12	11,28
10	0,73	1,23	6,98	1,85
11	4,49	5,20	6,03	13,70
12	0,00	0,00	4,00	0,00

Evento 2



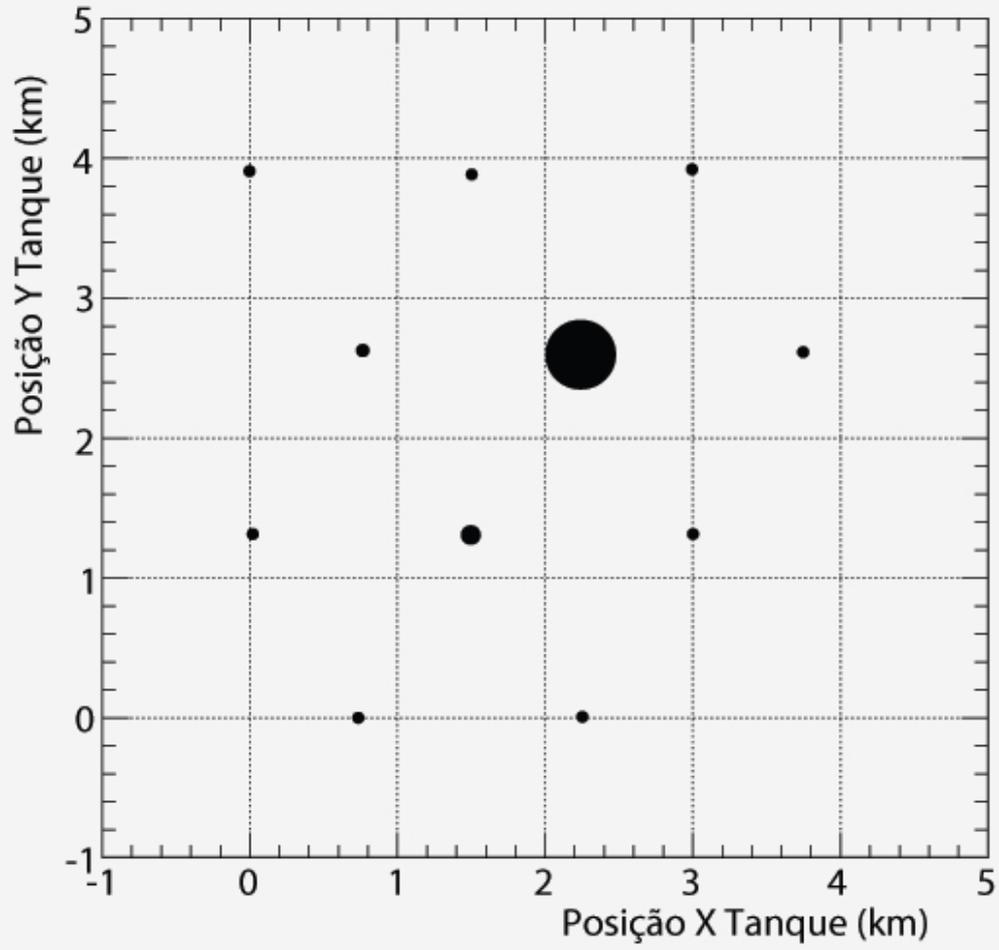
Dados do Evento 3

Observatório Pierre Auger	
Latitude	35.3 S
Longitude	69.3W



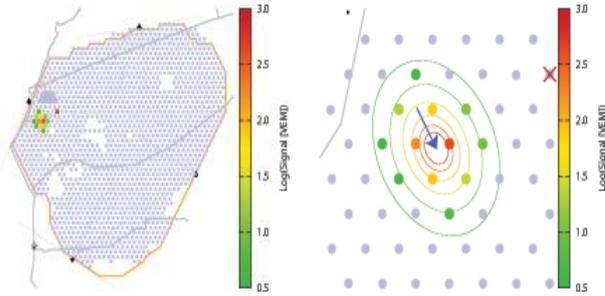
	Id	Dia	Mês	Ano
	1673300	5	10	2005
tank id	x (km)	y (km)	sinal (VEM)	tempo (ms)
0	2,24	2,59	973,35	4,63
1	1,50	1,31	358,37	2,06
2	0,77	2,63	152,61	3,79
3	1,50	3,88	37,98	6,51
4	3,00	1,31	30,00	3,28
5	0,02	1,31	20,94	1,52
6	3,75	2,61	13,33	6,18
7	3,00	3,92	10,68	7,70
8	0,74	0,00	9,03	0,00
9	2,25	0,01	6,89	1,32
10	0,00	3,91	6,07	6,09

Evento 3



Dados do Evento 4

Observatório Pierre Auger	
Latitude	35.3 S
Longitude	69.3W



	Id	Dia	Mês	Ano
	7969100	10	7	2009
Tanque	X (km)	Y (km)	Sinal (VEM)	Tempo (ms)
0	3,01	2,60	425,86	5,80
1	1,50	2,60	174,63	4,15
2	2,25	1,30	84,92	7,54
3	2,25	3,89	73,16	2,57
4	3,75	1,30	24,51	9,28
5	0,75	3,89	19,40	1,22
6	3,75	3,90	11,68	4,73
7	4,50	2,60	9,29	7,83
8	3,00	0,00	5,34	11,13
9	0,75	1,30	4,34	6,32
10	1,50	5,18	4,34	0,00
11	0,00	2,60	3,64	3,02

Evento 4

