

MAPAS CONCEITUAIS COMO INDICADOR DA APRENDIZAGEM SOBRE RAIOS CÓSMICOS NO ENSINO MÉDIO

Roger Willians Corrêa¹

Marcelo Alves Barros²

Herbert Alexandre João³

Carlos Eduardo Laburú⁴

Resumo: Este trabalho tem como objetivo utilizar os mapas conceituais como instrumento analítico para indicar caminhos para promover a aprendizagem conceitual acerca de raios cósmicos no Ensino Médio. A questão focal foi a determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um raio cósmico primário na superfície da Terra. Entre os principais tópicos abordados destacam-se: a origem e composição dos raios cósmicos, sua interação com a atmosfera terrestre e a detecção do ponto de impacto e determinação da direção de chegada do raio cósmico primário. A metodologia de pesquisa utilizada consistiu na elaboração de mapas conceituais colaborativos por alunos do Ensino Médio durante a aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem utilizando os seguintes critérios de análise: a) conceitos; b) relações entre os conceitos e c) padrão estrutural. As interpretações das proposições retiradas dos mapas conceituais foram feitas a partir das conexões que ligam os conceitos dos mapas conceituais, de modo a verificar a aprendizagem conceitual. Entre os principais resultados encontrados destacamos que a construção de mapas conceituais pelos alunos promoveu a criação de significados e conceitos acerca de raios cósmicos na perspectiva de uma aprendizagem significativa. Como conclusão, destacamos a importância da realização de atividades diferentes das tradicionais, pois apresentam uma complexidade tanto em relação aos conceitos como das estruturas proposicionais, tornando os alunos mais ativos em seu processo de aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Física, Inovação Curricular, Raios Cósmicos.

CONCEPT MAPS AS A LEARNING INDICATOR ABOUT COSMIC RAYS IN HIGH SCHOOL

Abstract: This work aims to use concept maps as an analytical tool to indicate ways to promote conceptual learning about cosmic rays in High School. The focal question was to determine the point of impact and the arrival direction of a primary

¹ Mestre em Ensino de Ciências/Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências/Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. E-mail: rogerwcorrea@gmail.com

² Doutor em Educação/Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Brasil, com apoio Fapesp. E-mail: mbarros@ifsc.usp.br

³ Doutor em Educação/Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Brasil. E-mail: herbert@ifsc.usp.br

⁴ Doutor em Educação/Departamento de Física/Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, Brasil, com apoio CNPq, Fundação Araucária e Faepe/Uel. E-mail: laburu@uel.br

cosmic ray on the Earth's surface. Among the main topics covered were origin and composition of cosmic rays, their interaction with the Earth's atmosphere, detection of the point of impact and determination of the arrival direction of the primary cosmic ray. The research methodology consisted of the elaboration of collaborative concept maps by high school students during the application of a sequence of teaching and learning using the following analysis criteria: a) concepts; b) relationships between concepts and c) structural pattern. The interpretations of the concept maps' propositions considered the relationship between the concepts, in order to verify the conceptual learning. We highlighted as main results that the construction of concept maps by students promoted the creation of meaning and concepts about cosmic rays in the perspective of meaningful learning. In conclusion, we highlighted the importance of carrying out different activities from traditional ones, as they present complexity concerning both concepts and propositional structures, making students more active in their learning process.

Keywords: Physics Teaching, Curriculum Innovation, Cosmic Rays.

INTRODUÇÃO

Embora a Física tenha apresentado mudanças revolucionárias a partir do início do século XX, essas transformações não fazem parte do conteúdo ensinado no Ensino Médio. Há, portanto, um atraso de mais de 100 anos no ensino de Física nas escolas. Essa disciplina, como ensinada nas escolas, compreende conteúdos cujas bases são bastante antigas: a Mecânica Newtoniana, elaborada em meados e fim do século XVII; os princípios de Termodinâmica, estabelecidos nos séculos XVII e XVIII; o Eletromagnetismo Clássico, que recebeu suas últimas contribuições no fim do século XIX. Por sua vez, teorias contemporâneas como Relatividade, Mecânica Quântica, Física de Partículas Elementares, Raios Cósmicos etc., permanecem ainda hoje fora da sala de aula.

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. Uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapola os limites da ciência e da tecnologia, influenciando outras formas do saber humano. Portanto, os vários campos abertos pela física deste século devem ter sua presença garantida nos currículos de nossas escolas médias (PINTO e ZANETIC, 1999, p. 7).

No entanto, além de elencar os tópicos a serem ensinados, impõe-se ao Ensino de Física o desafio de incorporar os conteúdos contemporâneos ao conjunto de conhecimentos dos

alunos. Nesse sentido, especificamente a respeito da Física Moderna e Contemporânea, destacam-se algumas razões que justificam a inserção desses tópicos no Ensino de Física:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais. (...) A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. (BRASIL, PCNEM+, 2002, p. 70).

Do ponto de vista educacional, a Física dos Raios Cósmicos 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. Do ponto de vista da formação de professores permite a integração das três dimensões estruturantes necessárias para a prática docente: a dimensão disciplinar, a dimensão sociocultural e a dimensão da interação (NARDI e CASTIBLANCO, 2018).

Neste artigo nosso objetivo consiste em utilizar os mapas conceituais como instrumento analítico para indicar caminhos para atingir a aprendizagem conceitual acerca de raios cósmicos, de tal forma que esse instrumento se constitua em uma estratégia instrucional e motivacional importante para promover a aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os mapas conceituais são fruto de um programa de pesquisa desenvolvido por Novak e seus colaboradores, em 1972, na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Esse programa tinha como base a teoria cognitivista de aprendizagem proposta por Ausubel (AUSUBEL, 1963).

Atualmente os mapas conceituais têm sido utilizados em trabalhos dos mais variados conteúdos e níveis de ensino (FALCÃO, 2012; OLIVEIRA; FROTA; MARTINS, 2013; YANO; AMARAL, 2011; ALMEIDA; MOREIRA, 2008; CORREIA; SILVA; ROMANO, 2010; CORRÊA, 2014 etc.). Esses trabalhos apresentam em comum o fato de que os mapas conceituais são um instrumento didático que facilita a aprendizagem significativa de novos conceitos, diminuindo a ocorrência de aprendizagem mecânica.

Mapas conceituais são diagramas que permitem a organização e a representação do conhecimento. Para isto, utilizam-se conceitos que se relacionam através de linhas, setas e palavras ou frases de ligação. Conceitos são definidos como regularidades em objetos ou eventos designados por um rótulo, em geral um termo. Dois ou mais conceitos podem ser conectados para formar uma proposição – enunciação sobre um objeto ou evento – a fim de compor uma afirmação com sentido.

Dado um campo de conhecimento, por exemplo, estas frases de ligação podem resultar em proposições verdadeiras ou falsas. Isto permite o julgamento de uma proposição apresentada quanto à sua veracidade. Em suma, podemos definir um mapa conceitual como “... *um aparato esquemático para representar um conjunto de significados conceituais encaixados em uma estrutura de proposições*” (NOVAK e GOWIN, 1984, p. 15).

Uma característica importante dos mapas conceituais é que os conceitos devem ser representados de maneira hierárquica, com os mais inclusivos e gerais hierarquicamente no topo e os mais específicos e menos gerais mais abaixo. Um mapa conceitual é um instrumento que pode ser usado para compreendermos uma situação ou evento, por meio da organização do conhecimento, provendo assim um contexto para ele. Ademais, os mapas conceituais devem ser elaborados a partir de uma questão específica, definida como questão focal.

Na construção de um mapa conceitual, há ligações que podem ser feitas a partir de conceitos em diferentes segmentos ou domínios, diz-se que estas relações são ligações cruzadas. Em geral, representam saltos criativos por parte de quem confecciona o mapa, indicando entendimento sobre as relações entre subdomínios do mapa e evidenciando alto nível de aprendizagem significativa.

Para Novak e Cañas (2010), os mapas conceituais podem ser utilizados como ferramentas de aprendizagem, incentivando os alunos a se expressarem utilizando padrões de aprendizagem significativa. Também são eficazes na identificação do conhecimento relevante que o aluno apresenta, antes ou depois da instrução, servindo de uma ótima ferramenta de avaliação do ensino e da aprendizagem de determinado conteúdo.

De acordo com Moreira (2010), a partir de uma abordagem ausubeliana, o ensino baseado no emprego de mapas conceituais como estratégia instrucional permite: 1) identificar a estrutura de significados aceita no contexto da matéria de ensino; 2) identificar subsunçores (significados) necessários para a aprendizagem; 3) identificar os significados preexistentes na estrutura cognitiva do aluno; 4) organizar o conteúdo, usando as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como princípios programáticos e 5) ensinar

relacionando os conhecimentos prévios com os atuais, a fim de dar significado aos novos materiais de aprendizagem.

Os mapas conceituais podem ser utilizados em todas estas etapas, inclusive para evidenciar aprendizagem significativa, ou seja, na avaliação da aprendizagem. Entretanto, dado o seu caráter idiossincrático, eles representam os significados conferidos aos conceitos e relações significativas por parte de seu mapeador. A avaliação da aprendizagem feita através dos mapas conceituais deve ser qualitativa, o professor deve interpretar a informação dada pelo aluno, buscando perceber se os significados manifestados indicam bom entendimento do conteúdo que foi ensinado.

Mapas conceituais podem mostrar evidências de aprendizagem significativa de conteúdos por parte do aluno e, além disso, indicar caminhos a serem trilhados em direção ao pleno alcance dos objetivos da aprendizagem.

Kinchin *et al.* (2000) descrevem uma abordagem qualitativa de análise de mapas conceituais e criticam a análise quantitativa proposta por Novak e Gowin (1984). Essas análises tendem a atribuir a um mapa conceitual um escore baseado em fatores como número de ligações válidas, índice de ligações cruzadas, quantidade de ramos, estrutura hierárquica que, de acordo com os autores, causa falta de clareza no que o escore total realmente revela. A classificação das ligações em “válidas” ou “inválidas” não leva em consideração o processo de pensamento que levou o aluno àquele entendimento. Uma ligação embora correta, pode ser inapropriada ao contexto do conceito em discussão.

Em contraposição, afirmam que é necessária uma avaliação informativa dos mapas conceituais, que devem ser vistos como instrumento qualitativo cujo objetivo é facilitar o processo de aprendizagem significativa em sala de aula.

Outros autores (JONASSEN *et al.*, 1997; RUIZ-PRIMO e SHAVELSON, 1996 *apud* KINCHIN *et al.*, 2000) afirmam que é necessária uma avaliação informativa dos mapas conceituais, que devem ser vistos como instrumento qualitativo cujo objetivo é facilitar o processo de aprendizagem significativa em sala de aula.

UM BREVE HISTÓRICO SOBRE RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos são partículas de alta energia carregadas e aceleradas até velocidades relativísticas. A variedade de partículas é originada de diferentes fontes, entre elas o Sol, outras estrelas e diversas fontes de radiações de alta energia, como explosões de supernovas, buracos

negros e estrelas de nêutrons. Aproximadamente 90% dos raios cósmicos que atingem o planeta são prótons, 9% são núcleos de hélio, 1% são núcleos de elementos mais pesados e elétrons. Os raios cósmicos primários ao colidirem com núcleos de moléculas da atmosfera terrestre dão origem a uma série de reações nucleares e eletromagnéticas, produzindo uma cascata de partículas de menor energia, chamada de raios cósmicos secundários (Figura 1). Essas partículas de menor energia podem ser detectadas em solo e estudadas, a fim de fornecer informações importantes sobre a constituição do Universo.

Figura 1 – Representação esquemática do desenvolvimento de um raio cósmico primário na atmosfera.



Fonte: Souza *et al.* (2013).

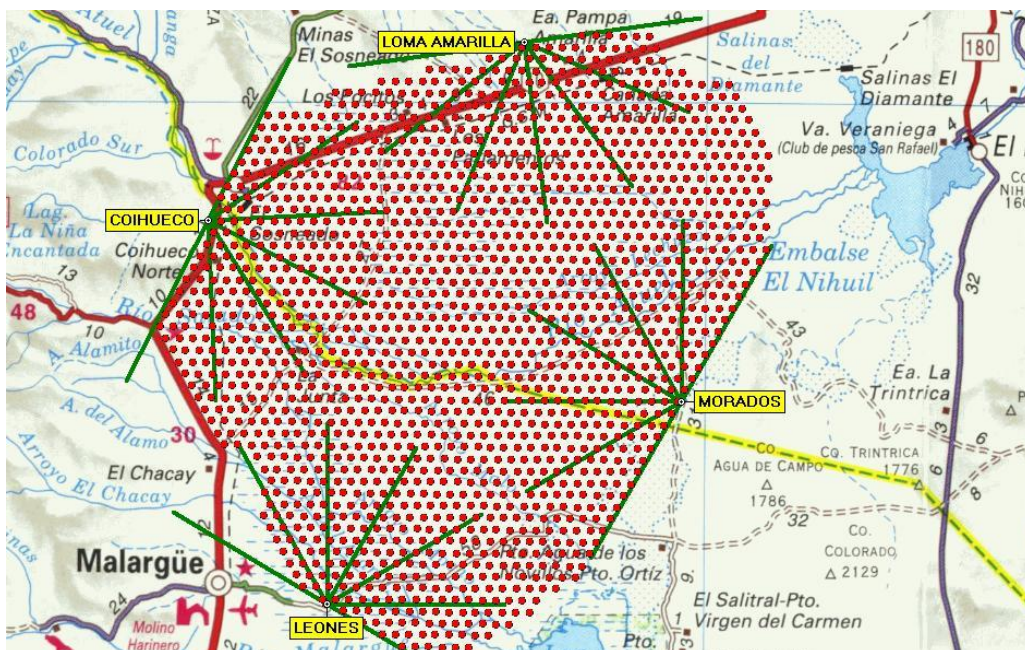
A radiação cósmica de baixa energia, da ordem de 10^{12} eV, apresenta menor capacidade de percorrer grandes distâncias. Estima-se que uma pequena parcela da radiação cósmica que a Terra recebe venha de fontes próximas, como o Sol, e a maior parte tem origem fora do Sistema Solar, ainda que dentro de nossa galáxia. A origem dessa radiação está ligada às explosões de supernovas, processo que ocorre na morte de certas estrelas. A radiação cósmica de alta energia tem origem fora do Sistema Solar, mesmo de fora de nossa galáxia.

A incidência de raios cósmicos primários de ultra-alta energia ($E \geq 10^{19}$ eV) é extremamente pequena. Somente uma destas partículas cai em um quilômetro quadrado, por

século. Como essa frequência é muito baixa, a utilização de detectores em órbita para obter um número razoável de eventos não é viável. Portanto, para conseguir detectar raios cósmicos primários de ultra-alta energia é necessário utilizar sensores espalhados por uma extensa área a fim de coletar uma amostragem representativa de raios cósmicos secundários que se formaram após a interação com a atmosfera.

O Observatório Pierre Auger é um experimento de raios cósmicos atualmente em funcionamento, coletando dados e produzindo resultados importantes. Ele está situado em Malargüe, Argentina, e seu objetivo principal é estudar as partículas de ultra-alta energia ($E > 10^{19}$ eV). Ele usa duas técnicas híbridas de detecção de raios cósmicos compostas por: uma matriz de 1.660 estações individuais cobrindo 3.000 km² de área e 27 telescópios de fluorescência em quatro locais. A figura 2 mostra uma representação esquemática do Observatório Pierre Auger.

Figura 2 – Localização geográfica do Observatório Pierre Auger. Os pontos vermelhos representam os tanques de superfície e os espaços entre as linhas verdes as regiões para onde apontam os telescópios de fluorescência.



Fonte: www.auger.org

Apenas os dados da superfície fornecidos pelos detectores foram usados neste trabalho. Uma figura de um detector de superfície individual (tanque) é mostrada na figura 3.

Figura 3 – Um dos detectores de superfície do Observatório Pierre Auger.

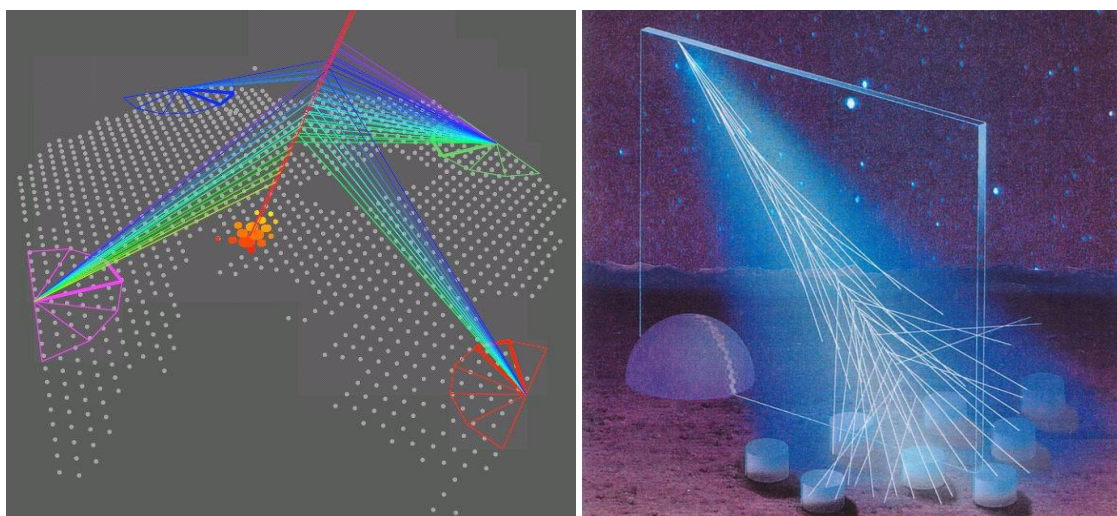


Fonte: www.auger.org

A direção de chegada das partículas cósmicas é uma das mais importantes informações para ser extraído do Observatório Pierre Auger. Outras informações importantes são a energia e o tipo das partículas. Se a direção de chegada é conhecida, é possível correlacionar a partícula com os tipos de fontes astrofísicas. Em resumo, o procedimento de análise de um evento medido pelo Observatório Pierre Auger corresponde ao sinal em função do tempo medido por uma matriz de detectores na superfície para um objeto astronômico no céu.

Na figura 4 representamos os dois métodos de detecção de raios cósmicos de ultra-alta energia do Observatório Pierre Auger. O primeiro consiste dos telescópios de fluorescência e, o segundo, de tanques detectores na superfície.

Figura 4 – Esquema de detecção híbrida de um raio cósmico por detectores de fluorescência e detectores de superfície.



Fonte: www.auger.org

Os procedimentos de análise desenvolvidos pelo Observatório Pierre Auger começam a partir do sinal medido em função do tempo em cada tanque, reconstruindo as principais propriedades do chuvaire, encontrando a direção e energia da partícula primária e rastreando-a de volta à sua possível fonte no céu.

Se uma partícula primária de ultra-alta energia com cerca de 10^{20} eV produz um chuvaire na atmosfera, o número de partículas atingindo o solo é maior que 10^{10} . A conservação de energia e momento nas interações das partículas garante que a soma da energia e momento de todas as partículas produzidas no chuvaire é igual à energia e impulso da partícula primária. Pelas mesmas razões, a trajetória do “centro de massa” do chuvaire é a trajetória que a partícula primária teria descrito se não tivesse interagido com a atmosfera.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi baseado na dissertação de Corrêa (2014) sobre a implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de Astrofísica de Partículas para o Ensino Médio. A metodologia de pesquisa utilizada consistiu na elaboração de mapas conceituais por alunos do 3º ano do Ensino Médio durante a aplicação de uma sequência de ensino e aprendizagem de 20 horas/aulas de um curso noturno em uma escola pública, no município de Barueri, região metropolitana da grande São Paulo. Os alunos tinham idades variando entre 15 e 18 anos, alguns dos quais trabalhavam durante o dia, e foram organizados

em 8 grupos de 4 alunos cada. Cabe destacar, ainda, que o autor deste trabalho também atuou como professor pesquisador.

O planejamento da sequência de ensino e aprendizagem consistiu nas seguintes etapas: introdução ao tema raios cósmicos, determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um raio cósmico primário na superfície terrestre utilizando dados do Observatório Pierre Auger e construção de mapas conceituais pelos alunos.

Com base nos princípios metodológicos relacionados à construção dos mapas conceituais, utilizamos os seguintes critérios de análise:

1. Conceitos: as ligações cruzadas presentes em um mapa conceitual evidenciam reconciliação integrativa. O não uso de determinado conceito na construção do mapa conceitual evidencia não conhecimento de um conceito e deste em relação a outros. Desta forma, quanto maior a quantidade de conceitos utilizados na construção de um mapa conceitual, maior a possibilidade de ocorrência de aprendizagem significativa.

2. Relações entre os conceitos: uma aprendizagem significativa resultará em proposições corretas do ponto de vista dos significados cientificamente aceitos. Os conceitos mais inclusivos apresentarão diferenciação progressiva. As ligações cruzadas revelarão reconciliações integrativas evidenciando uma aprendizagem mais significativa.

3. Padrão estrutural: as estruturas dos mapas conceituais são classificadas em: radial, corrente ou rede, apresentando nessa ordem níveis crescentes de aprendizagem significativa.

As interpretações das proposições retiradas dos mapas conceituais foram feitas analisando-se as conexões que ligavam os conceitos dos mapas conceituais, buscando notar evidências de aprendizagem significativa e verificar os ganhos de aprendizagem. Assim, pretendeu-se notar evidências de aprendizagem significativa. Foram avaliados cinco tópicos tidos como de essencial importância para a compreensão dos alunos sobre o tema:

a) Origem dos raios cósmicos: os raios cósmicos dos quais trata esta sequência didática são oriundos de galáxias distantes, em ambientes altamente energéticos, como supernovas.

b) Composição dos raios cósmicos: os raios cósmicos são compostos de núcleos atômicos altamente energéticos, cujas velocidades são próximas à velocidade da luz.

c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre: um raio cósmico, ao chegar à Terra, interage com os átomos da atmosfera, dando origem a um chuveiro de partículas secundárias. Cada partícula assim formada origina um raio cósmico secundário.

d) Detecção do ponto de impacto do raio cósmico primário: as partículas do raio cósmico secundário que chegam ao solo podem ser captadas por tanques em solo e podem ser vistas em telescópios através da luminescência criada devido à interação raio cósmico/atmosfera. Estes

tanques possuem dispositivos que medem a energia das partículas que ali chegam e os instantes de sua captação.

e) Determinação da direção de chegada do raio cósmico primário: a partir dos valores de energia e tempo citados acima, os cientistas calculam o “centro de massa”, equivalente ao ponto na Terra que o raio cósmico primário atingiria caso não interagisse com os átomos da atmosfera. Depois, juntando os dados obtidos nos tanques e nos telescópios, os cientistas conseguem determinar de onde veio um raio cósmico primário que chegou à Terra em determinado momento.

A avaliação de cada tópico proposto foi estruturada a partir do seguinte critério de classificação: i) O grupo atingiu plenamente os objetivos se conseguiu explicar corretamente os tópicos; ii) O grupo atingiu parcialmente os objetivos se compreendeu parte dos tópicos ou os explicou de forma incompleta e, finalmente, iii) O grupo não atingiu os objetivos se cometeu erros conceituais ou forneceu explicações confusas dos tópicos.

Em um primeiro momento, solicitamos a construção de um mapa conceitual que envolvesse os conceitos relacionados aos cinco tópicos citados acima. Entretanto, ao perceber que os alunos focaram mais esforços em discutir os primeiros tópicos, em detrimento dos últimos, decidiu-se propor a construção de dois mapas conceituais: um tratando dos tópicos (a), (b) e (c), e outro dos tópicos (d) e (e). Essa divisão teve como propósito aumentar o detalhamento dos tópicos propostos, facilitando a explicitação dos conceitos e favorecendo uma melhor avaliação dos alunos.

Utilizamos como referência o trabalho de Souza *et al.* (2013) em qual os autores propuseram o design e a implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de Raios Cósmicos para o Ensino Médio. Tal trabalho apresentou como questão focal a determinação do ponto de impacto e a direção de chegada de um raio cósmico primário medido pelo Observatório Pierre Auger. A intenção da sequência didática foi orientar os alunos ao longo desse caminho, do micro ao macrocosmo, discutindo a Física Fundamental em cada ponto.

Antes da apresentação da sequência de ensino e aprendizagem para a classe houve uma aula prévia na qual o professor discutiu o que se constituía os mapas conceituais e propôs uma atividade preliminar para os alunos se familiarizarem com esse instrumento analítico. Após esta etapa inicial e com os alunos mais familiarizados com o instrumento o professor introduziu o tema raios cósmicos apresentando uma palestra inicial para os alunos, como também mostrou um vídeo do funcionamento do Observatório Pierre Auger.

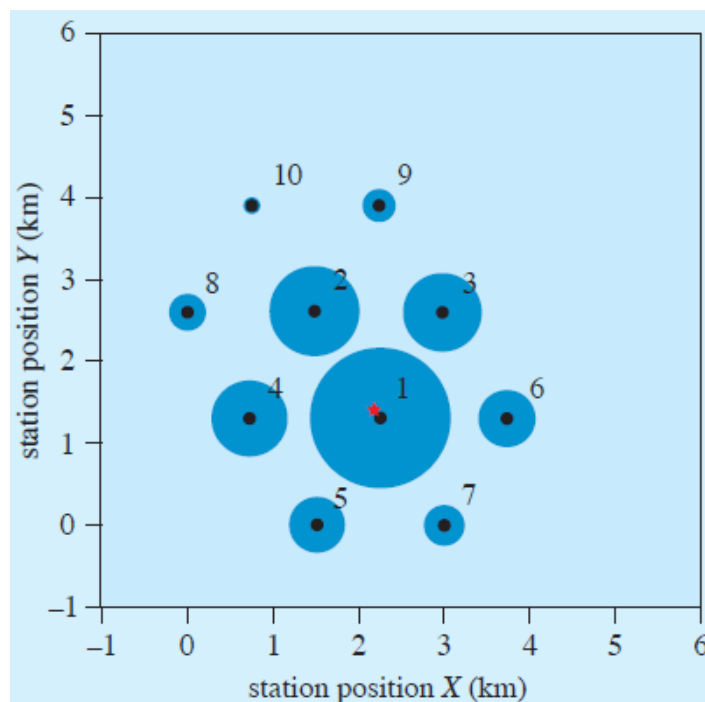
O professor enfatizou a analogia do fenômeno estudado com o problema clássico de um projétil com uma determinada trajetória que explode durante o voo em várias partes, como uma granada. A trajetória do centro de massa das partes é a trajetória que o projétil teria seguido caso não tivesse explodido. A analogia é válida porque os aspectos relevantes, conservação da energia e do momento são válidos em ambos os casos. A explicação do chuveiro extenso de raios cósmicos oferece uma oportunidade para discutir conceitos modernos e contemporâneos no contexto da Física de Partículas.

A associação de ideias que foram da Física Clássica à Física Moderna e Contemporânea, com alunos discutindo em sala de aula para medir dados de um observatório moderno, a partir de estruturas microscópicas (partículas) a escalas macroscópicas (galáxias) foi uma das características da sequência proposta trazendo conhecimentos para os alunos e contribuindo para a inovação curricular em Física no Ensino Médio.

Cabe destacar que à medida que os grupos construam seus mapas conceituais o professor participava como um mediador das discussões dos estudantes, sem dar a resposta correta, mas encaminhando as explicações na direção do conhecimento científico. No entanto, uma lacuna deste trabalho consiste no fato de que após a construção dos mapas conceituais o professor não apresentou uma sistematização dos conceitos principais para a classe, e, portanto, não forneceu feedback para os alunos em termos de uma aprendizagem conceitual.

Com relação à sequência didática propriamente dita a Figura 5 mostra um exemplo de um evento medido pelos detectores de superfície do Pierre Auger. O centro de cada círculo (ponto preto) é a posição de um tanque e o raio do círculo (círculo azul) é proporcional ao sinal detectado pelo tanque. O ponto vermelho ilustra o “centro de massa” da partícula cósmica primária caso não houvesse interagido com a atmosfera.

Figura 5 - Representação esquemática das posições das estações atingidas por um chuveiro e seus sinais correspondentes.



Fonte: Souza *et al.* (2013).

O sinal medido por cada tanque é proporcional à energia total das partículas que cruzaram o detector. Os detalhes da medição do sinal não são relevantes para conclusão da sequência didática proposta aqui. No entanto, a explicação da unidade de energia utilizada permite-nos discutir a existência de diferentes partículas além de elétrons, prótons e nêutrons.

Informações básicas de um evento medido pelo Observatório Pierre Auger foram fornecidas aos alunos e eles foram guiados na construção de um modelo que permitisse a reconstrução da direção de chegada do raio cósmico primário que entrou na atmosfera terrestre.

Conhecendo a direção de chegada da partícula, a posição na Terra (latitude e longitude) do Observatório Pierre Auger e a hora do evento, foi possível usar o mapa do céu desse instante obtido em um software como, por exemplo, o Stellarium⁵ para determinar o local do céu de onde se originou o raio cósmico primário.

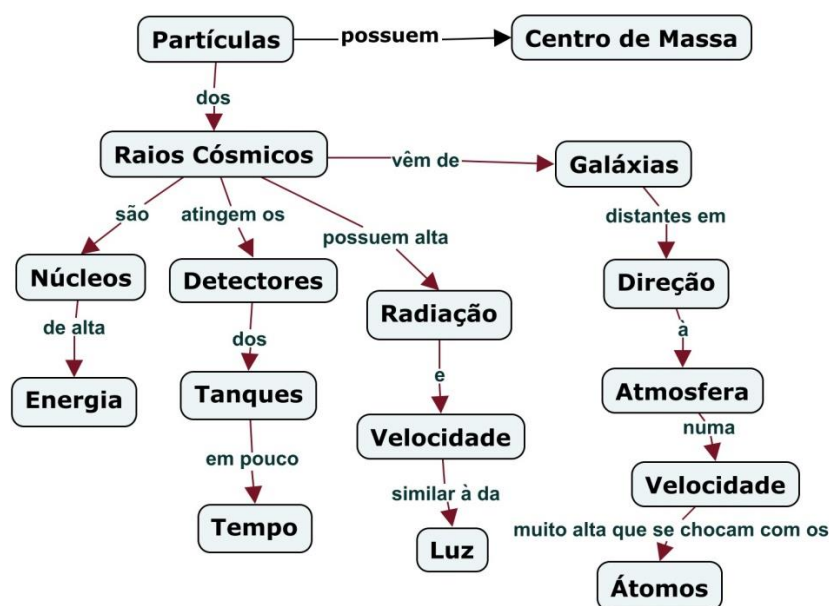
RESULTADOS E DISCUSSÕES

⁵ Para mais informações ver: www.stellarium.org.

Para analisar a sequência didática foco desse artigo, escolhemos dois⁶ dos mapas conceituais elaborados por alunos de dois grupos distintos e suas respectivas análises. Como ferramenta de construção dos mapas conceituais utilizamos o software Cmap Tools⁷.

O primeiro mapa (mapa conceitual 1) abrangeu os tópicos (a), (b) e (c) da sequência didática proposta, ou seja: origem, composição e interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre. O primeiro grupo selecionado elaborou o mapa apresentado na Figura 6, a seguir.

Figura 6 – Mapa Conceitual 1



Fonte: Alunos 3º Ano do Ensino Médio

A partir da análise desta figura podemos destacar alguns conceitos importantes que o professor discutiu em sala de aula relacionados, particularmente, com a Física Clássica, tais como: centro de massa, energia, velocidade e direção. Devemos lembrar que antes da apresentação do conteúdo raios cósmicos o professor estabeleceu com os alunos uma analogia com o fenômeno clássico da explosão de uma granada em diversas partes. Por sua vez, conceitos de conservação de energia e quantidade de movimento se mostraram ausentes na construção do mapa conceitual pelo grupo.

A análise dos conceitos e de suas ligações mostrou uma diferenciação progressiva do conceito sobre raios cósmicos. Não houve ligações cruzadas que poderiam aparecer, por

⁶ A título de exemplo apresentaremos neste artigo apenas dois mapas conceituais representativos, elaborados por grupos distintos, selecionados entre os diversos mapas elaborados.

⁷ O Cmap Tools é um software desenvolvido pelo Institute for Human and Machine Cognition (IHMC) da University of West Florida, que pode ser obtido gratuitamente no site: <http://cmap.ihmc.us/conceptmap.html>

exemplo, ligando conceitualmente a atmosfera, os átomos e seus núcleos (assunto já estudado pelos estudantes dessa série). Nesse sentido, não foi possível identificar uma reconciliação integrativa.

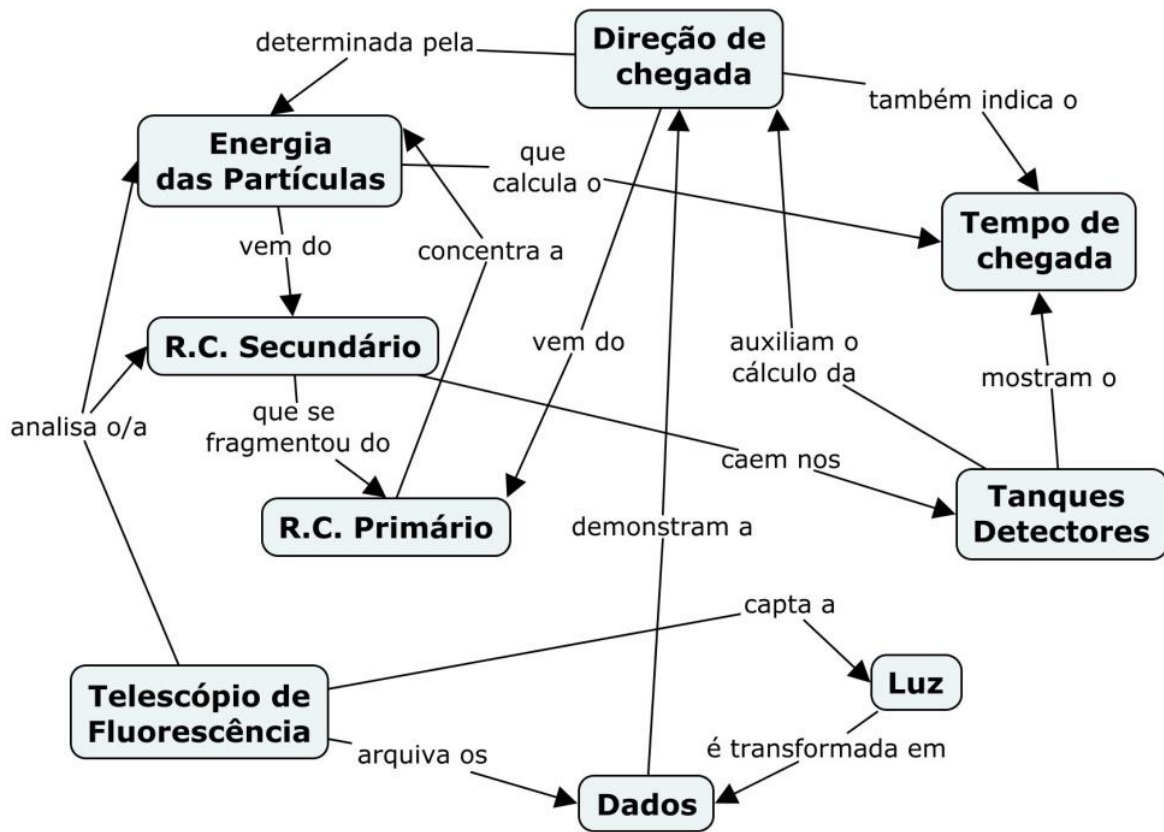
A estrutura desse mapa alternou-se entre os tipos corrente e radial. Houve quatro ramos ligados ao conceito raios cósmicos e cada ramo foi do tipo corrente. Esses tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciaram falta de profundidade no entendimento dos conceitos.

As proposições do mapa indicaram que o grupo compreendeu a origem dos raios cósmicos ao mencionar que os raios cósmicos vêm de galáxias distantes. Embora se subentenda nessa proposição que os raios cósmicos somente chegam à Terra, a sua origem está correta.

Quanto à composição dos raios cósmicos, foi correta a afirmação de que os raios cósmicos são núcleos de alta energia. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera não foi citada pelo grupo. O grupo citou apenas os tanques como forma de detecção dos raios secundários sem explicar seu funcionamento. A determinação da trajetória do raio primário não foi citada.

O segundo mapa (mapa conceitual 2) abrangeu os tópicos (d) e (e) da sequência didática proposta, ou seja: detecção do ponto de impacto e determinação da direção de chegada do raio cósmico primário. O segundo grupo selecionado elaborou o mapa apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Mapa Conceitual 2



Fonte: Alunos 3º Ano do Ensino Médio.

A análise dos conceitos e de suas ligações mostrou uma diferenciação progressiva do conceito de raios cósmicos. Notou-se que o conhecimento dos alunos quanto às características e propriedades dos raios cósmicos tornou-se mais elaborado e profundo. Houve várias ligações cruzadas que evidenciaram reconciliação integrativa dos conceitos.

A estrutura desse mapa foi preponderantemente radial. Como apresentou ligações cruzadas sua estrutura também foi do tipo rede. A análise das várias proposições contidas no mapa mostrou uma boa compreensão dos tópicos estudados. Ficou explícita, por exemplo, a função dos tanques e dos telescópios de fluorescência utilizados no Observatório Pierre Auger.

Cabe mencionar que estes mapas foram construídos por alunos do Ensino Médio de uma escola pública estadual que nunca haviam estudado sobre o tema raios cósmicos nas aulas regulares de Física ao longo de sua escolaridade, o que nos chama atenção para os resultados positivos alcançados, embora ainda bastante distantes dos conhecimentos científicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo utilizar os mapas conceituais como instrumento analítico para indicar caminhos para promover a aprendizagem conceitual acerca de raios cósmicos no Ensino Médio, cuja questão focal constituiu-se na determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um raio cósmico primário na superfície da Terra a partir de dados reais fornecidos pelo Observatório Pierre Auger.

A análise dos dados indicou possíveis caminhos a serem seguidos para que a sequência didática desenvolvida fizesse parte do repertório de conhecimentos dos alunos. Esperamos que este conhecimento, longe de ser mecânico e passageiro, tornasse significativo aos alunos.

Os mapas conceituais se mostraram uma forma eficaz em levantar concepções dos alunos. A análise qualitativa dos mapas conceituais analisados neste trabalho permitiu-nos concluir que os objetivos deste artigo foram alcançados, uma vez que os grupos foram capazes de selecionar e articular de forma satisfatória os conceitos relacionados ao tema raios cósmicos.

É fato que introduzir novos conteúdos no currículo de Física do Ensino Médio não é uma tarefa fácil. Ainda que a quantidade de recursos metodológicos para a implementação de sequências didáticas inovadoras seja grande, as estratégias de ensino geram insegurança para a grande maioria dos professores. Neste sentido a escolha do tema justifica-se, pois o tema raios cósmicos, mesmo tratando de descobertas recentes da Ciência, ainda se mostra ausente na grande maioria dos livros didáticos. Portanto, é de grande importância que este conteúdo seja transposto do saber científico para a sala de aula.

A elaboração dos mapas conceituais facilitou uma interação produtiva entre os alunos, auxiliando na criação de significados para os conceitos de raios cósmicos. A proposta desta atividades de ensino apresentada neste artigo nos apontou para a importância da utilização de diferentes estratégias instrucionais diferentes das tradicionais que apontam sempre para uma única resposta correta, pois apresentam uma complexidade em relação tanto aos conceitos como às estruturas proposicionais, tornando os alunos mais ativos em seu próprio processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. O.; MOREIRA, M. A. Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da óptica física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Dez 2008, v.30, nº 4, p. 1-7, 2008.

AUSUBEL, D. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.

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

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias - PCNEM+**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em: 02 de agosto de 2019.

CORREIA, P. R. M.; SILVA, A. C.; ROMANO, J. G. J. Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.32, nº 4, p. 1-8, 2010.

FALCÃO, R. M. A. L. **Mapas conceituais e aprendizagem de conteúdo escolar no ensino fundamental I**. 2012. 205p. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal da Paraíba, UFPB/CE, João Pessoa, 2012.

KINCHIN, I. M.; HAY, D. B.; Adams, A. How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. **Educational Research**, v. 42, nº 1, p. 43–57, 2000.

LABURÚ, C.E.; BARROS, M.A.; SILVA, O.H.M. Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 2, p. 469-487, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

NARDI, R.; CASTIBLANCO, O. **Didática da Física**. Escrituras Editora: UNESP, 2ª edição, São Paulo, 2018.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, v.5, n.1, p. 9-29, 2010.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. New York: Cambridge University Press, 1984.

OLIVEIRA, M. M.; FROTA, P. R. O.; MARTINS, M. C. Mapas conceituais como estratégias para o ensino de educação ambiental. **Revista Electrónica de Investigación y Docencia (REID)**, nº 9, p. 61-72, 2013.

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

CORRÊA, R. W. **Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de Astrofísica de Partículas para o Ensino Médio**. 2014. 162p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

SOUZA, V., BARROS, M. A.; FILHO, E. C. M.; GARBELOTTI, C. R. e JOÃO, H. A. Cosmic Rays in the Classroom. **Physics Education**, v. 48, nº 2, p.238–246, 2013.

THE PIERRE AUGER OBSERVATORY COLLABORATION. Education and Public Outreach of the Pierre Auger Observatory. **32nd International Cosmic Ray Conference**, 2011.

YANO, E. O.; AMARAL, C. L. C. Mapas conceituais como ferramenta facilitadora na compreensão e interpretação de textos de Química. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 6, nº 3, p. 76-86, 2011.

Recebido em 05/06/2019; Aceito após revisão em 20/05/2020.