

MODELOS ATÔMICOS NO ENSINO MÉDIO: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COM ÊNFASE EM UMA DESCRIÇÃO EPISTEMOLÓGICA

Atomic models in high school: a potentially meaningful teaching unit emphasizing epistemological description

Mariel dos Santos Macedo [mariel.stm@yahoo.com.br]
Instituto Federal do Oeste do Pará – Campus Santarém
Avenida Marechal Castelo Branco, 621, Santarém, Pará, Brasil

Glauco Pantoja [glaucopantoja@hotmail.com]
Instituto de Ciências da Educação
Universidade Federal do Oeste do Pará
Rua marechal Rondon, S/N, Santarém, Pará, Brasil

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]
Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo

Neste trabalho, apresentamos os resultados da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa de 10 horas-aula sobre Modelos Atômicos, enfatizando a construção epistemológica do conceito de átomo, em uma perspectiva Kuhniana, para alunos de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade paraense no interior da Amazônia. Para estudar os processos de Aprendizagem dos estudantes, utilizamos a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a metodologia da Análise Textual Discursiva. Os resultados da comparação da atividade inicial e da verificação final de Aprendizagem apontam para a evolução das visões conceitual, histórico-epistemológica, e tecnológica dos alunos em termos qualitativos, e das visões conceitual e histórica em termos quantitativos. Conclui-se haver evidências de padrões de subsunção tanto derivativa como correlativa, em maior frequência, e de superordenação ocorrendo em um menor número de vezes.

Palavras-chave: Modelos Atômicos; Aprendizagem Significativa; UEPS.

Abstract

In this work, we present the results of the application of a Potentially Meaningful Teaching Unit of 10 classes on Atomic Models, emphasizing the epistemological construction, in a Kuhnian perspective, of the concept of Atom, for high school students of a city in the Amazonian Countryside. To study students' meaningful learning processes, we used Ausubel's Meaningful Learning theory and Text Discursive Analysis. The results derived from the comparison of results in initial activity and final learning verification evidence the evolution of conceptual, historical and epistemological views of students in qualitative terms, and to the quantitative increasement concerning conceptual and historical views. It is concluded that there is evidence of assimilation patterns indicating both derivative and correlative subsumption, in greater frequency, and superordination occurring a fewer number of times.

Keywords: Atomic Models; Meaningful Learning; PMTU.

INTRODUÇÃO

A Física do século XX, em especial a Mecânica Quântica, ao contrário da Ciência dos séculos posteriores à formulação da Mecânica Newtoniana, tornou muito difícil subestimar a importância do conceito de átomo, que se tornou central no entendimento do mundo. A ênfase que parece exagerada às vezes é dada por nomes importantes da Física, tais quais Richard Feynman que, em suas famosas *lectures*, enuncia a seguinte frase:

“Se, em algum cataclisma, todo o conhecimento científico for destruído e só uma frase puder ser passada para a próxima geração, qual seria a afirmação que conteria maior quantidade de informação na menor quantidade de palavras? Eu acredito que seria a hipótese atômica de que todas as coisas são feitas de átomos...” (Feynman, Leighton, & Sands, 2009, p. 1-2).

Compartilhamos da mesma preocupação de Fourez (2003) de não haver garantia de a importância social da Física ser diretamente transposta ao Ensino desta Ciência, portanto justificar seu Ensino é necessário. Em documentos oficiais da educação brasileira, tal conteúdo surge como estruturante em várias etapas. Nos parâmetros curriculares nacionais (MEC, 1999), em especial, o conceito de átomo aparece na subdivisão em temas do conteúdo de Física, mais particularmente, na categoria “Universo, Terra e Vida”, além de ser integrador em outras disciplinas como a Química e a Biologia. Pelo conceito de átomo ser central na teoria quântica e pelo seu Ensino encontrar amparo no documento supracitado (o que justifica, em grande parte, seu ensino), é salutar destacar a importância da realização de investigações sobre processos aquisição deste conceito por parte dos alunos.

Realizamos uma busca entre os anos de 2007 e 2017, em revistas com qualificação mínima A2 (qualis CAPES, quadriênio 2013-2016), através das bases de dados *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) e *Educational Resources International Center* (ERIC) encontramos quatro trabalhos sobre resultados sobre propostas didáticas efetivamente implementadas (Pantoja, Herscovitz, & Moreira, 2011) em salas de aula do Ensino Médio, usando como palavras-chave da pesquisa: Atom; Atomic Model; Átomo; Modelo Atômico. Não nos focamos em esgotar a literatura, pois isso seria escopo de um trabalho de revisão, mas em utilizar resultados tomados como relevantes para prover uma possível comparação entre as poucas pesquisas produzidas no campo¹ e a realizada neste trabalho. Para reduzir o caráter voluntarista da escolha por relevância, adotamos trabalhos discutindo os modelos atômicos mais centrais na Física no Ensino Médio, quais sejam, os de Bohr e de Rutherford. Os artigos encontrados são discutidos a seguir.

Santana e Santos (2007) construíram uma proposta didática estruturada em 11 aulas nas quais foram propostas atividades de problematização de situações da espectroscopia que levaram à introdução do átomo de Bohr. Embora os autores tenham considerado a proposta exitosa, eles identificaram que os alunos apresentavam dificuldades recorrentes em relacionar as transições eletrônicas à formação de espectros. Junior e Neto (2015), por sua vez, utilizaram duas situações-problema, uma envolvendo o clássico experimento de Rutherford (espalhamento de partículas alfa por um alvo de ouro) e a outra sobre os níveis de energia dos elétrons, para ensinar modelos atômicos na disciplina de química do Ensino Médio. A partir do trabalho com os estudantes, os autores afirmam terem conseguido prover condições para que mais de 35% da turma apresentasse evidências de compreensão sobre os modelos.

Já Silva, Braibante e Braibante (2014) visaram ensinar o modelo de Bohr utilizando oficinas temáticas, com foco em um tema particular: pulseiras de Neon. Estes autores afirmam, a partir de evidências encontradas nos registros da oficina, que os alunos aparentaram compreender as bases conceituais do Modelo de Bohr, em especial aspectos relativos às transições eletrônicas e a emissão de luz. A pesquisa de Correa e Lopes (2017) é a que mais se assemelha à nossa, pois usa a história da ciência (HC) para problematizar os modelos atômicos, com a diferença de que estes pesquisadores não aplicam a mesma metodologia didática que a descrita neste trabalho. Eles afirmam ser possível e positivo utilizar a HC para introduzir estes conceitos no Ensino Médio.

Por outro lado, Moreira (2011) propõe as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) como forma estrutural de colocar em prática as ideias de diversos teóricos educacionais em unidades didáticas que usam como fio condutor o conceito de Aprendizagem Significativa. Aproveitamo-nos desta

¹Crítérios: período entre 2007-2017; trabalhos desenvolvidos no Ensino Médio ou nível equivalente; revistas de qualis A1 ou A2; propostas didáticas efetivamente implementadas e testadas. Análises histórico-epistemológicas, concepções de professores, concepções de estudantes de Ensino Superior, concepções de alunos de Ensino Médio, análises curriculares e sugestões de propostas didáticas (Pantoja, Herscovitz & Moreira, 2011) foram desconsiderados por não comporem o escopo de nossa revisão.

proposta e do fato de haver pouca produção respectiva aos modelos atômicos no Ensino Médio para construir uma UEPS para ensinar os fundamentos dos modelos de Demócrito, Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e Schrodinger, a estudantes de Ensino Médio de uma escola pública da rede estadual do Estado do Pará, dando ênfase a aspectos histórico-epistemológicos em uma perspectiva Kuhniana. Para avaliar os resultados desta aplicação, utilizamos a teoria Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Isto posto, organizou-se este estudo norteado pela seguinte pergunta de pesquisa: “como alunos de terceiro ano de Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade no interior da região amazônica assimilam os conceitos de modelo atômico e de paradigma científico em uma UEPS sobre a evolução epistemológica dos modelos atômicos?”. O objetivo geral do trabalho foi, então, o de analisar evidências de novos significados psicológicos emergentes de um processo de Ensino potencialmente significativo do conceito de átomo para alunos de terceiro ano de uma escola pública da cidade de Santarém (Pará). Tal pesquisa é produto da dissertação de mestrado de um dos autores (Macedo, 2018).

REFERENCIAL TEÓRICO

São apresentadas nesta seção a teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que norteou o processo de análise de dados, e a epistemologia de Thomas Kuhn, que orientou a visão de Ciência construída nas UEPS e trabalhada em sala de aula.

Teoria da Aprendizagem Significativa

Para Ausubel (2000), o conhecimento é significativo por definição, além de ser processado ativamente de forma integrada e interativa. No processo de Aprendizagem Significativa, as ideias prévias relevantes e as ideias novas interagem de maneira não-arbitrária, ou seja, as ideias novas devem relacionar-se com ideias prévias *relevantes* para a Aprendizagem. Para ocorrer Aprendizagem Significativa é importante, também, que a interação seja não-litera, isto é, deve ocorrer de forma que o aprendiz possa reproduzir com suas próprias palavras o conteúdo aprendido. Embora o processo dependa do sujeito, em grande parte, existem metodologias que podem prover condições para a ocorrência destes processos.

Ausubel enfatiza o papel da linguagem como um dos principais mecanismos na construção de estruturas cognitivas, pois é através desta que o sujeito pode: aumentar de forma significativa o seu repertório de conceitos e princípios ao longo da vida; melhorar o significado dos conceitos construídos; facilitar o processamento de informação (Ausubel, 2000). Em outras palavras, é por meio da linguagem que nos comunicamos e aprendemos novos conhecimentos e retemos os prévios. Os elementos de conhecimento prévio relevantes à aprendizagem, tais como, representações, valores, ideias, proposições e conceitos, disponíveis na estrutura cognitiva, serão doravante denominados subsunçores e estão envolvidos diretamente nos processos de Aprendizagem Significativa.

Ausubel situa ao longo de uma linha contínua os processos de Aprendizagem e coloca Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Mecânica como dois polos desse contínuo, ou seja, para o autor toda tarefa de Aprendizagem se situa entre os dois tipos supracitados. Se o que caracteriza a Aprendizagem puramente significativa é a relação de novos conhecimentos à estrutura cognitiva de maneira não arbitrária e não litera, a Aprendizagem puramente mecânica será aquela na qual a relação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos é completamente arbitrária e litera. Em outras palavras, uma repetição do tipo papagaio (Ausubel, 2000).

Consequência da qualidade do processo de aquisição é a modificação consequente à aprendizagem. Quando mais significativa a aprendizagem, mais tende a modificar os subsunçores, além de costumá-los mais claros, estáveis e diferenciados. Por outro lado, na proximidade do polo mecânico da aprendizagem, os processos de assimilação tendem a tornar a estrutura cognitiva pouco relacionável, pouco clara e diferenciada (confusa). Os tempos de retenção tendem a ser, também, maiores para processos de assimilação significativa (Ausubel, 2000).

Cabe ressaltar, ainda, a distinção feita por Ausubel (2000) dos significados lógico e psicológico, que pode ser expressa pela consideração de o primeiro ser determinado pelo grau de coerência interna e sequenciamento lógico do material, enquanto o segundo está relacionado aos significados (idiossincráticos) atribuídos pelos indivíduos ao que se aprende. Os significados lógicos são aspectos dos materiais de ensino que não podem ser significativos, somente potencialmente significativos, pois devem ser passíveis de serem transformados em significados psicológicos para o aprendiz – é aí que ocorre a Aprendizagem Significativa. Este último processo é duplamente condicionado: 1) o material deve ter significado lógico, ou seja, ser

potencialmente significativo; e 2) o indivíduo ter pré-disposição para relacionar o que sabe ao que se visa aprender, ou seja, para produzir significados psicológicos.

Para analisar processos de Aprendizagem Significativa, vamos basear-nos na teoria da assimilação de Ausubel que concebe o processamento da interação entre subsunçores e ideias novas em três partes: a aquisição; a retenção, e a obliteração (Ausubel, 2000). O termo assimilação é diferente do piagetiano (Ausubel, 2000), pois a assimilação de Ausubel implica em uma totalidade que modifica o conhecimento prévio, enquanto a de Piaget é uma etapa do processo de adaptação na qual o indivíduo “absorve” informação sem, no entanto, muda-la (isto ocorre na acomodação).

A aquisição é a primeira etapa do processo, e ocorre quando o subsunçor **a** e a ideia nova **A** interagem de maneira a modificar tanto **a** (para **a'**) e **A** (para **A'**), de tal modo a constituírem um produto interacional **a'A'**, inicialmente dissociável, isto é, pode-se recuperar tanto a ideia nova como o subsunçor na forma modificada (**a'+A'**). Após certo tempo e depois de diminuir a força de dissociação das ideias retidas, inicia-se a terceira etapa, a da obliteração, na qual o produto interacional **a'A'** reduz-se ao subsunçor modificado **a'**, o que mostra o poder da Aprendizagem Significativa de modificar as estruturas cognitivas, além de considerar o natural evento de esquecimento ao processo (Ausubel, 2000).

O processo assimilativo ocorre em diferentes graus de generalidade. Quando a ideia nova é mais específica e concreta que o subsunçor, fala-se de **subordinação**. Esta pode ser **derivativa**, quando se trata de um exemplo do subsunçor, ou **correlativa**, quando se trata de uma extensão ou elaboração do último. No caso em que a ideia a ser aprendida seja mais geral e abstrata que o subsunçor, diz-se ter havido uma **superordenação**. Quando a tarefa de Aprendizagem envolve a estrutura cognitiva como um todo, fala-se de **combinação** (Ausubel, 2000).

Tomemos o conceito de campo gravitacional para exemplificar estes quatro casos. A *subordinação derivativa* ocorreria quando o aluno relacionasse ao subsunçor campo gravitacional o campo gravitacional de um planeta em particular, a Terra, digamos. A *subordinação correlativa* aconteceria quando a relação com o subsunçor campo gravitacional o elaborasse, tal qual ocorre quando se percebe que depende diretamente da massa. A *superordenação* ocorreria quando o aluno vislumbresse que o campo gravitacional é somente uma das classes de campo da natureza (os outros são o campo eletromagnético, o campo da força fraca e o campo da força forte)². A combinação ocorreria quando o aluno tivesse que relacionar simultaneamente o campo gravitacional à distância a um ponto do espaço e à massa usando a lei da atração gravitacional, pois a interação não seria com somente um subsunçor, mas com vários elementos da estrutura cognitiva nem mais gerais e nem mais específicos que o conceito.

Finalizada esta discussão sobre os principais conceitos da teoria de Ausubel a serem usados para interpretar processos de Aprendizagem Significativa, passemos à discussão sobre os conceitos estruturantes das UEPS, a saber a epistemologia de Thomas Kuhn.

Visão epistemológica de Thomas Kuhn

Thomas Kuhn contribuiu de modo significativo no campo da epistemologia ao defender, em seus ensaios, a ideia da ciência como um produto do fazer humano condicionado a determinado contexto histórico sociocultural e articulado através das relações humanas. Destacou o conceito de paradigma científico, formas de pensamento coletivo que podem sofrer modificações ao longo do tempo através das revoluções científicas, períodos nos quais ocorre insatisfação da comunidade científica com os paradigmas e conseqüente mudança deste por outro incomensurável com ele. Na visão de Kuhn, estes são dois conceitos fundamentais para a compreensão da dinâmica do processo de produção do conhecimento técnico-científico.

O autor define como paradigmas os modelos e representações de mundo que fornecem, aos membros de uma comunidade científica, os métodos e procedimentos que devem ser seguidos na sua prática. Logo, é o paradigma que norteia os passos dos cientistas na busca de resoluções de problemas, formulações de leis, análise de variáveis, levantamento de hipóteses, proposições de metodologias e produção de modelos teóricos que possam fornecer previsões e respostas adequadas aos problemas que lhe são apresentados (Kuhn, 1997).

Para Kuhn, o paradigma alcança um estado de normalidade durante um tempo. Neste período, denominado por ele de “ciência normal”, a comunidade científica consegue fornecer procedimentos e metodologias satisfatórias às pesquisas no seio do paradigma adotado pela comunidade científica. Ademais,

² Mesmo nesta situação poderia ocorrer uma subsunção derivativa imediatamente após a superordenação, pois já seria possível distinguir que um campo gravitacional de natureza quântica (mediado pelo gráviton) ainda não possui evidência empírica.

na Ciência Normal, toda pesquisa está fortemente baseada em realizações passadas avaliadas e reconhecidas pela comunidade científica como conhecimento fundamental norteador de toda investigação e de trabalhos da comunidade (Kuhn, 1997).

Apesar disso, questiona que a ciência normal se mostra limitada em produzir grandes novidades, seja em conceitos ou em fenômenos, afirmando que os resultados esperados serão sempre pequenos se comparados às possibilidades que a imaginação pode produzir, ou seja, existe uma tensão essencial entre inovação e tradição que leva à revolução a longo prazo (Kuhn, 1977). Nesse sentido, na constante busca em aprimorar a precisão de soluções de problemas através do arcabouço teórico da ciência normal, o cientista transforma-se em um solucionador de quebra-cabeças delimitado pelas resoluções possíveis no paradigma (Kuhn, 1997). No entanto, quando a comunidade científica se depara com situações em que os procedimentos e metodologias se mostram ineficientes diante de algum problema, temos o que Kuhn denominou de “anomalia”, um conceito destacado para explicar situações que se mostram irresolutas diante de todas as abordagens metodológicas do paradigma (Kuhn, 1997).

E quando todas as ferramentas tradicionais se mostram inadequadas para atacar o problema, surgem rupturas que buscam alternativas procedimentais em campos teóricos distintos ao do modelo estabelecido. Ao processo de insatisfação com o paradigma vigente, Kuhn chamou de crise do paradigma, explicando que, dentro desse contexto dialético e revolucionário, irá ocorrer uma drástica revisão nos conceitos e fundamentos teóricos que antes se mostravam aparentemente sólidos. A crise desencadeará posteriormente uma revolução científica. É, portanto, dentro dessas circunstâncias que nasce o novo paradigma, que irá promover a substituição de ferramentas metodológicas alternativas em detrimento das ferramentas tradicionais que se mostram inadequadas. (Kuhn, 1997; Kuhn, 1977).

Em linhas gerais, Thomas Kuhn (1977) descreve que o desenvolvimento da ciência está estruturado em função de Paradigmas nos quais o processo de desequilíbrio é desencadeado pelo surgimento de anomalias, passando pelos questionamentos conceituais até a fundamentação de um novo paradigma. O autor denomina este processo de Revolução Científica, um período caracterizado por rupturas conceituais profundas marcando a mudança de um paradigma para outro. Em sua visão, conhecimento se desenvolve em largos períodos de continuidade seguidos por bruscas e rápidas rupturas que mudam o estilo de pensamento de uma comunidade. Isto posto, passamos à discussão das metodologias didática e investigativa usadas no trabalho.

METODOLOGIA

Nesta seção abordaremos como foram construídas e desenvolvidas as UEPS, o que chamamos metodologia didática, e como utilizamos o recurso da Análise Textual Discursiva e a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel para analisar os dados, o que denominamos metodologia investigativa. O produto educacional derivado desta pesquisa pode ser encontrado no link a seguir ([link](#)).

Metodologia Didática

Para abordar o conteúdo de Modelos Atômicos, construímos uma UEPS que foi aplicada para duas turmas de terceiro ano de uma escola estadual de Ensino Médio da cidade de Santarém (Pará). Desenvolvemos a sequência didática baseados nos princípios e passos elencados por Moreira (2011). Expomos, na sequência, a descrição de tais passos: **1)** definição do tópico a ser abordado; **2)** proposição de situações-problema que levem o estudante a externar seu conhecimento prévio; **3)** introdução de conhecimento declarativo ou procedimental a partir de situações-problemas que se relacionem com o conhecimento prévio dos alunos; **4)** realização do processo de diferenciação progressiva; **5)** implantação do processo de reconciliação integrativa; **6)** realização de nova diferenciação progressiva em uma perspectiva integrativa; **7)** aplicação de avaliação somativa; **8)** avaliação das UEPS.

Estes oito passos foram empregados em dez aulas de quarenta e cinco minutos³ e consistiram de quatro procedimentos. O primeiro deles envolveu a delimitação do conteúdo a ser abordado (passo 1) e a proposição de atividades visando a explicitação de conhecimento prévio (passo 2), com duração de duas aulas. O segundo teve como objetivo a introdução do conteúdo usando situações-problema (passo 3) e a realização do processo de diferenciação progressiva (passo 4), com carga horária de duas aulas. O terceiro, que durou 4 aulas, visou realizar a reconciliação integrativa (passo 5) e a nova diferenciação progressiva (passo 6). O último passo objetivou a realização da avaliação somativa (passo 7) e foi executado em duas

³ Dez horas-aula equivalem a sete horas e meio de horas-relógio, portanto.

aulas. Neste trabalho, discutimos a avaliação das evidências de Aprendizagem Significativa (passo 8). A seguir entramos em detalhes de como os procedimentos foram empregados.

O primeiro procedimento, envolvendo os passos 1 e 2, consistiu de três momentos distintos: a) apresentação de uma visão geral de como seria desenvolvida a proposta, de maneira a não serem discutidos quaisquer conhecimentos a serem abordados na unidade para não influenciar na avaliação do conhecimento prévio dos alunos; b) formação de equipes para realização de atividades posteriores; c) aplicação de questionário individual para avaliação de conhecimento prévio dos alunos.

O segundo procedimento, envolvendo os passos 3 e 4, consistiu de dois espaços diferentes: a) apresentação dos conceitos de paradigma, teoria e revolução científica a partir da problematização da revolução copernicana, e da referência à influência do contexto histórico na construção teórica através da discussão sobre espectros atômicos, radioatividade, usinas termonucleares, bombas atômicas entre outros; b) reunião dos grupos constituídos no primeiro procedimento para fins de esclarecimento sobre a dinâmica de trabalho, discussão de dúvidas e de possíveis sugestões e questionamentos sobre o trabalho. Os passos 3 e 4 foram desenvolvidos no momento a). Neste ponto, aproveitou-se a oportunidade de estimular o questionamento sobre temas polêmicos como o uso de usinas termonucleares no Brasil e o uso de arsenais bélicos nucleares. Consequência destes questionamentos foi um acalorado debate nas turmas. Após isso, prosseguiu-se com o momento b), que objetivava preparar os alunos para os passos 5 e 6.

O terceiro procedimento, que inclui os passos 5 e 6, englobou a discussão do conteúdo a partir da apresentação dos estudantes. Ao mesmo tempo em que os alunos puderam dirimir aparentes inconsistências e destacar semelhanças (reconciliação integrativa), o debate abriu espaço para novas discussões e questionamentos que introduziram novos conceitos (diferenciação progressiva) e desencadearam eventos de nova reconciliação integrativa. Os grupos alcançaram êxito na explicação dos seus respectivos modelos teóricos de estrutura atômica, o que foi evidenciado pela exemplificação de aplicações tecnológicas desenvolvidas a partir de conhecimento produzido sobre a teoria atômica como, por exemplo, o diagnóstico e tratamento de doenças, esterilização de alimentos, uso de usinas nucleares e construção de artefatos bélicos nucleares, com menção ao contexto político-econômico, social e técnico científico nos quais foram desenvolvidos. Algumas poucas equipes não encontraram, no entanto, curiosidades para compartilhar com a turma.

O último procedimento envolveu, finalmente, uma avaliação somativa sobre o conteúdo abordado, de maneira a prover condições instrucionais mais parecidas o possível para ambas as turmas. Por último, foram avaliados, com o uso da teoria de Ausubel, indícios de Aprendizagem Significativa (captação de significados e transferência) nos registros deixados pelos estudantes na avaliação diagnóstica e na avaliação somativa. Os produtos desta análise são discutidos nos resultados. A seguir, continuaremos descrevendo o contexto de aplicação da pesquisa e como foi realizada a Análise Textual Discursiva. Optamos por apresentar a forma de Análise Estatística nos resultados, pois nos pareceu mais conveniente introduzi-la com as categorias já apresentadas, uma vez que se aplicou uma transformação das categorias de variáveis qualitativas ordinais para variáveis quantitativas discretas.

Metodologia Investigativa

Este trabalho foi desenvolvido em uma Escola Estadual de Ensino Médio na cidade de Santarém, Pará, localizada em um bairro central deste município, uma área comercial de grande circulação de pessoas, produtos e serviços. A instituição atende a alunos oriundos de diversos bairros distantes e do próprio centro. O prédio da escola é de alvenaria e possui dois andares, cobertura de telhas de fibrocimento. No seu térreo funcionam diretoria, secretaria e arquivo, sala de informática, sala de leitura, quatro salas de aula, seis sanitários, sala de instrumentos musicais, cozinha, cantina, depósito e área de alimentação, enquanto que no primeiro andar há cinco salas de aula, sala de professores, dois sanitários para professores e um depósito. No que tange a aspectos de educação especial, alunos disléxicos são acolhidos pela escola em turmas regulares.

A escola oferece modalidade de Ensino Médio e atende à demanda de pelo menos 700 alunos distribuídos em 18 turmas organizadas por séries, nos turnos matutino e vespertino. A forma de registro de avaliações é por nota, com periodicidade bimestral, como tradicionalmente é feito. Também de maneira costumeira, ocorrem reuniões bimestrais de pais e mestres, como forma de interação entre escola e comunidade (pais e responsáveis). Há, ainda, no colégio um diretor, dois vice-diretores pós-graduados e quatro especialistas em educação. Estes profissionais atuam em ações objetivando a garantia e a qualidade dos processos de Ensino-Aprendizagem de modo a fornecer um trabalho integrado e em parceria com a comunidade. A proposta teve apoio da equipe escolar e foi desenvolvida no segundo semestre de 2017, em duas turmas de terceiro ano, no período vespertino, às quais denominaremos turma 1, com 31 alunos, e turma

2, com 27 alunos, o que totalizou 58 estudantes envolvidos, com faixa etária média de 17 anos. A maioria deles residia em bairros periféricos, preparavam-se para prestar o Exame Nacional do Ensino Médio em 2018 e cerca de 90% já havia participado de olimpíadas de Matemática.

Utilizamos como instrumentos de coleta de dados várias formas de registros, tais como: fotografias; diários de bordo; áudios, e principalmente a análise da produção escrita pelos estudantes, descrita abaixo.

- **Questionário prévio:** contribuiu para análise dos conhecimentos prévios dos estudantes – a partir de sua análise foi possível desenvolver a proposta didática de maneira a propiciar a interação entre conteúdo novo e conteúdo a ser aprendido;
- **Diário de bordo:** tornou possível o destaque das principais observações ao longo de toda a atividade pedagógica, principalmente dúvidas, questionamentos e sugestões, que eventualmente eram discutidas com os estudantes, além de orientar uma análise crítica sobre a execução das atividades;
- **Registro fotográfico e de áudio:** tornou viável a complementação de informações faltando no diário de bordo;
- **Questionário final:** aplicado ao final do término das atividades teve como serventia a coleção da produção escrita dos estudantes, o que permitiu a análise de assimilação e organização de novos conceitos e ideias, trabalhados em sala de aula, nas estruturas cognitivas dos estudantes.

Neste trabalho, damos ênfase aos resultados do questionário final e inicial, que foram estudados a partir da Análise Textual Discursiva (Moraes, 2003) conjugada com conceitos da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2000). A seguir descrevemos como tal articulação foi feita e proveremos exemplos que facilitem a compreensão aprofundada do leitor sobre o processo.

De forma resumida, o processo de análise textual discursiva pode ser entendido como um processo auto-organizado do qual emergem novas compreensões. Ele pode ser basicamente dividido em três etapas, quais sejam: **unitarização**, na qual ocorre o desmonte do *corpus*⁴ em unidades menores, constituintes, equivalentes a enunciados associados ao fenômeno que se estuda; **categorização**, em que são estabelecidas relações entre as unidades de base que tornam possível combiná-las e classificá-las e, com isso, compreender como a reunião destas unidades menores formam categorias; **comunicação**, na qual surge uma compreensão nova do todo, donde resulta um metatexto representante do esforço de explicitação da compreensão apresentada como produto de uma combinação nova do que se construiu na unitarização e na categorização (Moraes, 2003).

Na **unitarização** ocorrem: a **definição do corpus**, isto é, a escolha do conjunto total de documentos a serem analisados; a **leitura e a significação do texto**, etapa em que acontece a atribuição de significados, por parte do investigador, aos significantes objetivos presentes no texto - trata-se de uma análise inicial, teoricamente fundamentada, do material textual, feita de maneira fenomenológica, no sentido de colocar-se no lugar do outro, afinal há uma gama de significados possíveis associados a estes significantes; **desconstrução do texto**, estágio no qual se divide o texto em partes menores a serem analisadas cuidadosamente visando o estabelecimento de unidades de análise para o estudo (em geral, denominadas unidades de significado ou de sentido) e se atribuem códigos para elas, bem como para os contextos nos quais se inserem. Esta última etapa, para Moraes (2003) pode ser entendida como um processo de três partes: a **fragmentação textual e a codificação** das unidades de base; **titulação da unidade de base**, na qual se escolhe um título para a unidade de base; a **produção do texto da unidade de base**, em que se atribui um texto a cada unidade de modo que ela assuma o significado mais completo e representativo possível. Este processo deve envolver envolvimento e impregnação, de modo a levar o sistema ao máximo do caos, como afirma Moraes (2003).

A **definição do corpus** desta pesquisa envolveu a seleção das atividades inicial e final dos estudantes. Na etapa de **leitura e significação do texto**, as tarefas foram lidas exaustivamente no intuito de tentar reunir o máximo de significados possíveis às representações linguísticas, simbólicas, pictóricas trazidas pelos alunos. Para a **desconstrução do texto**, decomposemos os registros escritos dos alunos em unidades menores (frases com palavras destacadas) contendo evidências mais explícitas do significado atribuído, sempre colocando em tela o contexto da pergunta a eles realizada e da resposta total dada à pergunta. Por nos fundamentarmos na teoria de Ausubel, entendemos que o **significado** é a **unidade de base**, então buscamos a **fragmentação textual e codificação das unidades de base** a partir dos significados interpretados por nós para as afirmações dos alunos. Com isso, a **titulação das unidades de base** foi feita visando-se atribuir um rótulo que estivesse o

4 A totalidade dos dados coletados e escolhidos para serem analisados.

mais representativo possível da descrição da unidade de base apresentada na *produção do texto da unidade de base*. Como unidades de base usamos três dimensões analíticas, cada qual com um número variável de quatro categorias.

No processo de categorização, parte-se para a construção de relação entre as unidades de base, seja de maneira dedutiva (a partir de categorias a priori), indutiva (constituindo categorias emergentes) ou abduativa. O objetivo fundamental é encontrar agrupamentos de elementos parecidos, as categorias. Subjacente ao processo de categorização é importante que se sigam alguns procedimentos de verificação de propriedades desejáveis às categorias, quais sejam: *pertinência*, a validade desta para representar adequadamente as informações categorizadas; *homogeneidade*, a construção da categoria a partir do mesmo princípio (não se misturam alhos com bugalhos); *exclusividade mútua*, que não deve ser necessariamente satisfeita no caso da análise textual discursiva se o pesquisador explicitar seus pressupostos de análise de maneira a tornar claro porque um dado pode ser tomado como pertinente a duas categorias distintas, ou seja, um dado pode ser classificado em duas categorias, mesmo que seja com sentidos distintos (Moraes, 2003).

O processo de categorização visou relacionar estes significados: de maneira indutiva, pois não se partiu de categorias *a priori*, mas antes objetivou a construção de categorias emergentes adequadas a um estudo exploratório; em categorias respeitando a regra da homogeneidade, pelo uso de as critérios de análise semelhantes para as categorias e dimensões; em categorias satisfazendo a regra da pertinência, uma vez que todas foram usadas para classificar os dados e não se repetem; e seguindo, sempre que não houvesse possibilidade de dupla classificação, a regra da exclusividade. Para clarificar a possibilidade de enquadrar em duas categorias, uma aparente violação da exclusividade, afirmamos que tomamos o cuidado de separá-las por dimensões de análise, de maneira que se um excerto pudesse ser atribuído a duas categorias diferentes, estaria relacionado a dimensões diferentes. Outro cuidado que decidimos introduzir foi o critério de consistência para as categorias: todas foram aplicadas nas duas avaliações (inicial e final).

No processo de comunicação, no qual se capta o novo emergente, ocorre a construção de um metatexto analítico expressando o que se lê de um conjunto textual. O último é formado a partir das categorias e subcategorias resultantes da análise, cuja qualidade não depende somente da validade e da confiabilidade que podem conferir à leitura, mas também da consequência da assunção do pesquisador como autor de seus argumentos. Neste sentido, o metatexto pode ser tanto mais descritivo quando visa manter-se mais próximo do corpus ou mais interpretativo quanto mais se afasta deste e visa-se o aprofundamento, a abstração e teorização em torno do corpus. Em ambas as formas, é sempre necessário levar em consideração a permanente incompletude e necessidade de crítica, além do trabalho contínuo de aprofundamento pela adoção do trabalho em ciclos iterativos (Moraes, 2003).

O processo de comunicação, consistente da produção do metatexto apresentado nos resultados, seguiu uma lógica mais descritiva na apresentação das categorias no pré-teste, porém mais interpretativa na comparação entre o pré-teste e o pós-teste, afinal usamos estes dados para prover evidência de Aprendizagem Significativa, o que por si só exige teorização e abstração em torno de transformações metodológicas sobre os registros brutos. É importante reiterar que buscamos observar indícios de assimilação e retenção significativos não só nestes eventos, mas em outros tipos de documentos que lançaram luz sobre eventuais dúvidas que tivemos no estudo, tais como os diários de bordo e os registros fotográficos e de áudio das aulas, embora não sejam apresentados neste trabalho.

RESULTADOS

Dividimos a apresentação dos resultados em três partes: na primeira, discutimos brevemente as dimensões de análise, as categorias construídas e a codificação empregada (unitarização e categorização); na segunda, avaliamos o conhecimento prévio dos estudantes através de um questionário com três questões discursivas, discutidas e analisadas em termos das frequências das respostas em cada categoria, com caráter mais descritivo, pois objetiva identificar conhecimentos prévios de alunos (atividade inicial); na terceira, apresentamos indicadores evidenciando processos de Aprendizagem através de análise qualitativa e quantitativa das respostas a três questões discursivas resolvidas individualmente pelos alunos, com caráter mais interpretativo, pois visa analisar as mudanças de conhecimento dos estudantes durante a UEPS (atividade final). Os dois últimos estágios compõem o processo de comunicação descrito por Moraes (2003) no qual ocorrem a descrição e a interpretação, ou seja, compõem o denominado texto síntese.

Quadro 1 - Linha do tempo da apresentação dos resultados



Unitarização e categorização

Como nosso trabalho teve uma preocupação dupla de prover condições para Aprendizagem de conteúdos de Física e de Epistemologia, focamo-nos em analisar a dimensão conceitual do conteúdo aprendido e a dimensão histórico-epistemológica. Interessamo-nos, também, em saber se algum tipo de Aprendizagem poderia ser desenvolvido sobre aplicações tecnológicas, pois estas tiveram papel importante nas UEPS. Portanto, as incluímos em uma terceira dimensão.

A primeira delas é autoexplicativa e indica o quanto os alunos aprenderam de um conceito específico, a segunda está relacionada ao entendimento de fatores influenciando a construção histórica e evolução da Ciência, enquanto a terceira está associada à quantidade de aplicações tecnológicas que os estudantes conseguem relacionar à teoria atômica, em particular, e à Ciência, em geral. Codificamos a dimensão conceitual com a letra grega alfa (minúscula), a dimensão histórico-epistemológica com a letra grega beta (minúscula) e a dimensão aplicações tecnológicas com a letra grega gama (minúscula). Esta última categoria foi construída, pois percebemos, em leitura flutuante do pré-teste, um forte vínculo entre ciência e aplicações tecnológicas presentes nos conhecimentos prévios dos alunos, exploramos alguns exemplos nas UEPS, e, por isto, resolvemos analisar como esse conhecimento se diferenciou ao longo das UEPS. Usamos subscritos numéricos para diferenciar categorias em cada uma das dimensões. Todos os grifos de negrito, itálico e colchetes (para expressar informação implícita⁵) são nossos.

Todas as categorias de uma dimensão foram transformadas em variáveis quantitativa discretas e, por causa disso, organizamo-las de acordo com o nível de proximidade com relação ao conhecimento científico e distanciamento do de senso comum para facilitar a referência. Desta forma, quanto maior o índice da categoria, maior seu nível de aproximação com o conhecimento científico. Foram atribuídos escores de 0 a 3, com 0 contando como maior distanciamento do conhecimento científico (e maior aproximação com o conhecimento de senso comum) e 3 contando como maior proximidade do conhecimento científico (e maior distanciamento do conhecimento de senso comum).

Não se está fazendo juízo de valor sobre estes conhecimentos, todos eles são totalidades dinâmicas funcionais que permitem o ajuste criativo ao mundo e lhe dão sentido. Por nosso objetivo ser o de ensinar conceitos científicos e analisar se os alunos estão construindo atributos associados a estes conceitos, é necessário ordenar tais pensamentos em termos de maior ou maior proximidade com respeito àquilo que visamos ensinar. A escolha do escore é arbitrária, mas abordaremos estes dados mais adiante usando testes de hipóteses com resultados padronizados, o que torna esta escolha equivalente a qualquer escolha linear produzida por outro pesquisador.

Na dimensão α (conceitual), emergiram quatro categorias denominadas: α_1 , denominada informal, que reúne respostas difusas e evasivas com respeito ao tema ou assertivas do tipo escolástico, aprendidas cotidianamente a partir de elementos da cultura brasileira como, por exemplo, a religião, que associa a criação da matéria a uma divindade superior; α_2 , denominada pré-socrática, está vinculada à ideia de que a matéria é composta por elementos fundamentais como terra, água, ar e fogo, portanto, elementista-naturalista; α_3 , chamada justaposição atomista e pré-socrática, que carrega aspectos da categoria α_3 e ideias da teoria atômica concomitantemente; α_4 , chamada atomista, coerente com a ideia de que a matéria é composta de átomos, estes constituídos por entidades menores, a saber, prótons, elétrons e nêutrons. Abaixo apresentamos alguns excertos transcritos literalmente (**incluindo erros de ortografia e gramática**) identificando estas categorias.

Para exemplificar a categoria α_4 (atomista), apresentamos os excertos abaixo:

⁵ Às vezes os alunos respondem a uma pergunta com sim ou não, então fica difícil de entender ao que se referem. Em geral, é em situações como essas que usamos os colchetes.

“Elétrons, prótons e nêutrons; são basicamente os formadores de tudo o que existe, de diminuirmos qualquer matéria, encontraremos o átomo, e constituindo o átomo temos as três peças. Estes originam bases, soluções sólidos”;

“Tudo que conhecemos é formado por átomos, ou seja, toda a matéria que se encontra em nosso mundo é constituída por átomos, que são compostos por nêutrons, prótons e elétrons”.

Para apontar como se encontra a categoria α_3 (justaposição pré-socrático e teoria atômica), indicamos as duas assertivas a seguir:

“Para mim, as coisas são feita de partículas de todos os quatro elementos da natureza, sendo que para mim no início existiu um elemento que era composto pela água, ar, fogo e terra, onde os quatros viviam separados por distância pequenas em que giravam entre si. Nisto, os quatro elementos provavelmente eles se chocaram e re-espalhou no universo onde o centro dessa partícula seria o Universo e com a separação dos quatro formaram os outros elementos que existem na natureza”;

“Em um olhar mais fisiológico, diríamos que todas as coisas são matérias (pincéis, cadeiras, árvores, etc) que são compostos por átomos (elétrons, prótons e nêutrons), portanto tudo é feito de matéria”.

Como exemplos da categoria α_2 (pré-socrática), temos:

“bom, eu responderia a mesma coisa que os filósofos [pré-socráticos], mais hoje em dia as coisas está muito avançados”;

“Basicamente, a teoria do sec. V era pensada desta maneira por quê realmente raciocinando o universo tem-se em sua matéria: terra, água, fogo e ar”.

Para dar exemplos da categoria α_1 (informal), trazemos as afirmativas abaixo:

“A ciência é fundamental na vida do ser humano, com explicações ‘lógicas’ e tudo mais, porém, minha opinião sobre como foi feito todas as coisas não está ligado à ciência, e sim a um criador, um ser poderoso capaz de criar o que quiser, com o controle na palma da mão. Eu, apesar de inúmeras explicações ‘lógicas’ da ciência, acredito que Deus foi quem fez todas as coisas” (escolástica);

“Segundo a minha fé, o universo foi criado um ser onipotente e único, que, não podemos ser. É dele que vem os céus, a terra, o ar, os seres vivos e todos que compõem esse universo infinito” (escolástica)

“Bom, as coisas são feitas com os nossos esforços, dependendo de nossas atitudes e de nosso suor, com nosso trabalho. As pessoas se ajudam nesse território” (informal);

“hoje as pessoas acham que as coisas são feitas através do dinheiro, em busca da sua felicidade, dos seus sonhos, da sua vida sucedida” (informal).

Na dimensão β (histórico-epistemológica), emergiram quatro categorias chamadas de: informal β_1 , denominada informal, que reúne as respostas difusas e evasivas com respeito ao tema; β_2 , chamada monádica, que vincula a evolução científica a somente um aspecto, seja o técnico (pesquisa teórica, pesquisa empírica, desenvolvimento tecnológico), político-econômico (necessidades econômicas e decisões políticas) ou o sociocultural (influências da ciência sobre a sociedade-cultura e vice-versa); β_3 , chamada diádica, que associa concomitantemente a evolução científica a dois dos três aspectos mencionados; β_4 , chamada triádica, que relaciona simultaneamente a evolução científica aos três aspectos apresentados. Abaixo trazemos alguns excertos transcritos literalmente (**incluindo erros de ortografia e gramática**) identificando estas categorias.

Pontuamos, a seguir, dois exemplos da categoria β_1 (informal)

“Eu acredito que a ciência evolui pelas pessoas extremamente inteligentes, porque tudo nessa terra é descoberto pela mão de alguém”;

“Evolução é um passo que a sociedade dá a cada dia, mas sem grandes barrancos pois nem tudo que se constrói sera algo que revolucione o mundo, evoluções são decorrentes de evoluções”.

Para exemplificar a categoria β_2 (monádica), se colocam os dois exemplos abaixo:

“A ciência tem o objetivo de questionar a existência das coisas e prova-las. No passado o conhecimento não era tão amplo quanto o de hoje. As tecnologias foram evoluindo. Podemos observar essa evolução em muitos aspectos. Um dos exemplos é a forma de trabalho, antes o trabalho que prevalecia era o manufatureiro, mas ao longo do tempo vimos as máquinas substituindo as mãos humanas. A ciência está presente” (ênfase na tecnologia);

“A ciência utiliza o método empírico e observa o fato a ser estudado, com enfoque na experimentação, para obter resultados e formular uma tese através desses fatos que, futuramente, poderão ser aprimorados ou substituídos por uma tese mais fundamentada e que torna-se a nova base a ser considerada verdade.

Com isso, vários fundamentos foram desenvolvidos ou aprimorados, como as leis de Newton ou os modelos atômicos” (ênfase na pesquisa empírica);

“A ciência distribui respostas de fenômenos e questões que eram até então sem explicações e vive evoluindo cada dia. Hoje, ela já conta com uma grande ajuda. Com o avanço da tecnologia ela se implementou na sociedade de maneira totalitária. Suas respostas são aceitas por todos. Desde que começou suas investigações são baseadas em fatos e relatos. Hoje a ciência tem suas próprias fontes e instrumentos. Então, olhando para isso, percebemos um grande avanço nos objetos de investigação, velocidade de respostas condicionadas, o avanço de tecnologia e etc” (ênfase na pesquisa teórica).

Como exemplo da categoria β_2 (diádica), tem-se:

Sim, [o período histórico e, pois, sociocultural, influencia o desenvolvimento de teorias científicas] porque **estes baseavam-se segundo outras teorias**. Eles **estudavam teorias anteriores** para poder construir a sua. Rutherford, por exemplo, **usou o conhecimento dos cientistas anteriores** e agregou isso à sua teoria. (Tecnocientífico e sociocultural).

Para apontar como se encontra a categoria β_3 (triádica), trazemos o exemplo a seguir:

Sim [o período histórico influencia o desenvolvimento de teorias científicas]! Todas essas transformações trouxeram **mudanças no modo de pensar de muitas pessoas** [sociocultural], principalmente as **mais ricas** que residiam nas **grandes cidades** [político e econômico]. Nesse contexto, desenvolveram-se movimentos de caráter **intelectual, científico e artístico** [sócio-cultural]. Existem três tipos de [lacuna no texto] pois influenciou no desenvolvimento de **aparelhos científicos** [tecnocientífico] que possibilitaram o tratamento do câncer, tipo a quimioterapia. (Tecno-científico, sócio-cultural e político econômico).

Na dimensão γ (aplicações tecnológicas), emergiram quatro categorias no pré-teste e no pós-teste. Seguem as categorias emergentes, autoexplicativas: γ_1 , não menciona qualquer aplicação tecnológica; γ_2 , aponta uma aplicação tecnológica; γ_3 , apresenta duas aplicações tecnológicas distintas; γ_4 , indica três aplicações tecnológicas distintas. Os exemplos mais apontados pelos alunos reúnem casos vinculados: à medicina; à comunicação; à “geração” de energia; à produção de conhecimentos; à produção de arsenal nuclear; à agricultura; à economia.

A seguir apresentamos os resultados descrevendo os conhecimentos prévios dos alunos em termos destas categorias emergentes.

Atividade inicial

A primeira questão visou avaliar subsunçores dos alunos acerca da dimensão α (conceitual). Ela foi enunciada da seguinte maneira: “*Muitos filósofos e pensadores que viveram na Grécia do século V a.C. acreditavam na teoria dos quatro elementos fundamentais. Eles explicavam que tudo no universo era formado por terra, água, fogo e ar, porém, no século XXI as pessoas não pensam mais dessa forma. Então, em sua opinião, o que você responderia se alguém lhe perguntasse: “afinal do que são feitas todas as coisas?” (explique e desenhe se necessário).*”

Diante da análise as respostas obtidas na primeira questão, verificamos que dos **58** alunos (as duas turmas juntas): apenas **25**, menos da metade destes, possuía entendimento coerente com o paradigma científico contemporâneo (**categoria α_4**); **quatro** estudantes construíram suas respostas trabalhando ideias de dois paradigmas distintos, pois em certo momento discorriam sobre ideias coerentes com o pensamento pré-socrático e em outro, utilizavam conceitos da teoria atômica (**categoria α_3**); **seis** explicaram a constituição da matéria a partir de ideias e concepções coerentes com o paradigma pré-socrático, pois em suas respostas destacaram e trabalharam palavras como: terra, água, ar, coisas, substâncias e matéria, e por vezes fazendo menção direta às ideias da filosofia grega sem nenhuma referência às ideias da teoria atômica (**categoria α_2**); **10** alunos sustentaram o raciocínio de que todas as coisas foram, de algum modo, criadas por uma divindade, destes, alguns fazendo referência direta a mitologia judaico-cristã da criação do mundo, o que em nossa interpretação só tem sentido dentro da visão de mundo no contexto do paradigma escolástico (dez alunos), e **13** produziram respostas evasivas, não conseguiram formular um raciocínio coerente com a pergunta e não abordaram a temática em questão (**categoria α_1**).

Ao observarmos que menos da metade de nossa amostra ainda não percebe o mundo constituído por matéria feita de átomos e partículas subatômicas, inferimos diante destes resultados, que a maioria dos alunos parece possuir obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996) à Aprendizagem de conteúdos científicos centrais, tais como o de átomo, que parecem não compor os subsunçores da maioria dos alunos desta instituição. Neste caso, problematizar este conceito a partir de casos envolvendo estrutura da matéria pareceu uma decisão importante neste processo. É de impressionar que mesmo afirmando explicitamente

que não pensamos mais como os gregos sobre a estrutura da matéria, houve alunos que utilizaram este argumento para responder à questão.

A segunda questão buscou compreender como os alunos entendem a evolução da ciência ao longo do tempo, ou seja, direcionou-se à dimensão β (*histórico-epistemológica*). Ela foi apresentada como segue: “o objetivo da figura abaixo é tentar ilustrar a evolução do conhecimento tecnocientífico ao longo dos tempos. Durante esse processo alguns momentos foram marcados por mudanças radicais na maneira pela qual as pessoas viam o mundo. Só para termos uma ideia, no século XIV, durante a idade média, cerca de 1/3 da população da Europa morreu vitimada pela peste bubônica (ou morte negra). Nesse período, as doenças eram consideradas como castigo divino e era comum que os afetados fossem tratados com rituais místicos e crenças religiosas, como orações e penitências. O que eles não sabiam na época era que a doença era causada por uma bactéria transmitida aos indivíduos pelas pulgas dos ratos. E nem poderiam saber, pois o microscópio que poderia provar a existência de microrganismos só foi inventado no final do século XVI e apenas no final do século XIX que se passou a admitir que bactérias fossem causadoras de doenças. Diante disso, responda: como você pensa que a ciência evolui ao longo do tempo?”

A partir da análise das respostas da segunda questão, pontuou-se que **nenhum** aluno indicou três aspectos simultaneamente (**categoria β_4**); **um** aluno apontou dois atributos concomitantemente (**categoria β_3**); **52** estudantes indicaram somente uma característica à qual o conhecimento científico se vincula (**categoria β_2**), dentre os quais, **21** relacionaram a evolução da ciência à produção tecnológica, **7** associaram o desenvolvimento científico à pesquisa experimental, **12** indicaram que as pesquisas científicas são o motor da evolução científica e **12** veem uma simbiose entre pesquisa e produção tecnológica; por fim, **cinco** alunos não pontuaram qualquer elemento que produza mudança no conhecimento científico, fugindo totalmente do contexto temático que trabalhamos em sala de aula (**categoria β_1**). Nenhum caso de vinculação exclusiva a aspectos político-econômicos ou sócio-culturais (na categoria β_2) foi observado no pré-teste.

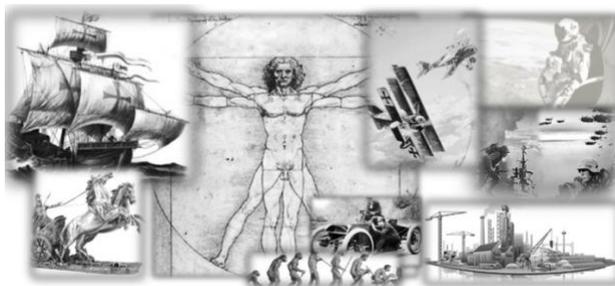


Figura 1 - Ilustração da segunda questão

Isto posto, podemos inferir o quanto o fator tecnológico dos nossos dias é frequente nos subsunçores dos estudantes. Uma possibilidade para este fenômeno seja, talvez, a influência social a que estão submetidos, pois culturalmente se associa a evolução científica ao aprimoramento de aparelhos tecnológicos, tais quais celulares e computadores. Infere-se isto, pois mais da metade dos discentes creditaram a evolução da ciência ao longo dos tempos a fatores associados a tecnologias, dentre os quais se enquadram alguns aparentando pensá-la em conjunto da pesquisa, enquanto que apenas um décimo destes acreditam serem experiências realizadas nos laboratórios uma variável relevante para explicar a evolução do conhecimento científico. Cabe ressaltar, ainda, a mérito de interpretação, que as visões dos estudantes sobre ciência ainda parecem ser reducionistas, pois somente um dos 58 alunos conseguiu atribuir mais de uma causa à evolução do pensamento científico (categoria β_3), enquanto os outros 57 ou não responderam ou reduziram a evolução do pensamento científico a uma causa somente, mesmo com a figura sugerindo simultaneamente pesquisa científica (homem vitruviano – símbolo do renascimento, sátira da evolução humana), tecnologia (caravelas, carros, aviões, construções, astronauta), sociedade (guerras).

A terceira questão objetivou estudar os subsunçores dos alunos com respeito à relação entre ciência e aplicações tecnológicas, portanto, voltou-se à dimensão γ (*aplicações tecnológicas*). Ela formulada da seguinte maneira: “você acredita que a ciência tem um papel relevante em nossa sociedade? Você poderia destacar alguns pontos positivos ou pontos negativos?”.

A partir de nossa análise, foi evidenciado que: **oito** alunos mencionaram três aplicações tecnológicas distintas (**categoria γ_4**); **27** alunos mencionaram duas aplicações tecnológicas diferentes (**categoria γ_3**); **23** alunos atestaram somente uma aplicação tecnológica (**categoria γ_2**); e **nenhum** deixou de apresentar

aplicações tecnológicas (**categoria γ_1**). As aplicações mais citadas pelos alunos envolviam: medicina; tecnologia; produção de conhecimento; produção de arsenais nucleares; geração de tecnologias de comunicação; transformação de recursos naturais (madeireiras, mineração, indústrias em geral).

Percebemos três aspectos centrais nesta discussão, quais sejam: na dimensão conceitual (α), menos da metade dos alunos fazem algum tipo mínimo de referência ao átomo como constituinte básico da matéria⁶; na dimensão histórico-epistemológica (β), os alunos evidenciam, em sua maioria, raciocínio linear que atribui a evolução científica somente ao aspecto tecnocientífico; e com respeito à dimensão aspectos tecnológicos (γ) apontam, majoritariamente, um ou dois exemplos de aplicações tecnológicas da ciência, embora atribuam muita importância ao caráter tecnocientífico. Lateralmente, muitos entendem a ciência como tendo somente aspectos positivos e não indicam quaisquer características negativas deste saber, enquanto que os alunos que o fizeram, não foram muito mais adiante de mencionar artefatos bélicos ou degradação ambiental. O conhecimento prévio dos estudantes parecia ser pouco conectado ao de teoria atômica, mas possível de ser trabalhado para ser aproximado dela.

A seguir comparamos os resultados da análise das respostas dos estudantes à atividade final com os desta atividade para apresentar indícios de Aprendizagem Significativa. Dividimos esta parte em duas correlacionadas: a análise quantitativa e a análise qualitativa. Em ambas, discutimos evidências empíricas de processos de Aprendizagem na zona cinza (Ausubel, 2000) existente entre os polos significativo e mecânico da aprendizagem.

Atividade final

Para Ausubel (2000) o significado é um produto fenomenológico de Aprendizagem Significativa, portanto, envolve uma relação manifesta à consciência imediata, não arbitrária e não literal, entre subsunção e conhecimento novo que modifica ambos. Portanto, a perspectiva adotada será sempre a de comparar as respostas nesta atividade com as da atividade inicial para analisar se houve algum tipo de variação na expressão verbal dos conceitos por parte dos estudantes e/ou nos escores associados ao pré-teste. Faremos isso de maneira quantitativa, primeiramente, e de forma qualitativa, posteriormente.

O pós-teste consistiu de uma tarefa de três questões: a primeira questão estava associada à dimensão α (conceitual) e era enunciada como: **“Explique as principais teorias que tentaram descrever a estrutura do átomo ao longo dos tempos”**; a segunda questão estava vinculada à dimensão β (histórico-epistemológica) e foi proposta como: **“Você acredita que o período histórico influenciou de alguma forma o desenvolvimento das teorias científicas que estudamos?”**; a terceira questão estava ligada à dimensão γ (aspectos tecnológicos) e foi apresentada como: **“Explique e dê exemplos de tecnologias desenvolvidas a partir das teorias atômicas que estudamos em sala de aula, e que hoje são empregadas em vários setores importantes de nossa sociedade”**.

Dividimos a **análise quantitativa** em dois estágios, a saber, a descrição em termos das frequências de respostas dos estudantes em termos das categorias apresentadas na atividade final e a aplicação do teste de Wilcoxon pareado (TWP) para comparação entre duas amostras relacionadas (Field, 2009). Para realizar o TWP, transformamos as categorias de variáveis qualitativas ordinais para variáveis quantitativas discretas atribuindo-lhes os escores: $\alpha_1 = 0, \beta_1 = 0, \gamma_1 = 0; \alpha_2 = 1, \beta_2 = 1, \gamma_2 = 1; \alpha_3 = 2, \beta_3 = 2, \gamma_3 = 2; \alpha_4 = 3, \beta_4 = 3, \gamma_4 = 3$. Tal escolha foi feita tomando-se como critério a proximidade do conhecimento científico apresentado na UEPS. O grau de proximidade das categorias ao conhecimento científico é diretamente proporcional ao índice, ou seja, as categorias 1 são as menos próximas, enquanto as categorias 4 são as mais próximas.

Nosso delineamento é do tipo pré-teste e pós-teste aplicado a um mesmo grupo⁷ O_1XO_2 (Campbell & Stanley, 1979). Field (2009) indica que TWO é um teste não-paramétrico, isto é, indicado para distribuições não normais, além de ser orientado para amostras relacionadas ou dependentes, ou seja, quando as duas amostras provêm do mesmo grupo, ademais de poder ser aplicado para variáveis quantitativas. Este teste transforma as diferenças entre as condições antes e depois em *ranks* (ρ^8), elimina os empates (quando antes é igual a depois), e indica diferenças entre as medianas. A condição para rejeição da hipótese nula (a diferença entre as medianas ocorre por acaso) é de $p < 0.05$, enquanto no caso contrário vale a aceitação. Ademais, o TWP produz um escore z padronizado, o que preenche a lacuna de falta de uma escala

⁶ Junto com seus constituintes mais fundamentais, a saber, leptons e quarks, sem, no entanto, mencioná-los explicitamente.

⁷ Na realidade, foram dois grupos (duas turmas), mas como o tratamento foi o mesmo, reunimos os dados em um grupo de 58 alunos.

⁸ Não confundir com o ρ de Spearman.

internamente referenciada para as variáveis. Os cálculos para o TWP foram feitos usando o aplicativo SPSS 14.

Reiteramos que tivemos o cuidado de não tomar os resultados para o teste de Wilcoxon como evidência única de Aprendizagem Significativa, afinal é preciso analisar os processos ocorrentes e avaliar, também, qualitativamente os produtos desta aprendizagem. Utilizamos este teste estatístico para analisar se houve diferenças nos escores do pré-teste e do pós-teste. O delineamento empírico adotado não nos permite garantir que qualquer diferença estatisticamente significativa não seja devida a variáveis intervenientes como fadiga, história, maturação ou outra. Por isto, não limitamos nossa análise ao uso desta ferramenta.

Na tabela 1 trazemos as distribuições de frequência no pré-teste (A) e no pós-teste (D). Na tabela 2, apresentamos os resultados aplicados para o TWP (tabela 2), que nos permitiu analisar se havia diferenças estatisticamente significativas entre as medianas dos escores no pré-teste e no pós-teste e, assim, inferir ganhos quantitativos de aprendizagem.

Tabela 1 - Distribuição de frequências no pré-teste (A) e no pós-teste (D)

Índice	α_A	α_D	β_A	β_D	γ_A	γ_D
1	23	16	5	12	0	10
2	5	0	52	7	23	13
3	4	0	1	25	27	20
4	25	42	0	14	8	15
TOTAL	58					

Com respeito à dimensão α , houve tanto aumento de α_4 (atomista) como redução do número de alunos nas categorias α_1 (informal), α_2 (pré-socrática) e α_3 (justaposição atomista e pré-socrática). A interpretação mais direta deste dado é que os alunos, globalmente, tendem a uma aproximação do conhecimento científico. Quanto à categoria β , ocorre uma diminuição drástica de alunos na categoria β_2 (monádica), leve aumento na categoria β_1 (informal), porém um aumento mais elevado nas categorias β_3 (diádica) e β_4 (triádica). Pode-se levantar três interpretações para isto: uma maior interligação entre diferentes aspectos epistemológicos da ciência; a consequente redução de uma visão linear; a existência para alguns alunos de subsunçores pouco relevantes para a aprendizagem. Quanto à categoria γ , ocorrem diminuições nas classes γ_2 e γ_3 , por um lado, e aumento nas categorias γ_1 (informal) e γ_4 (três exemplos). A interpretação disso pode ser a de que os alunos se redistribuíram entre os que apresentavam menos exemplos e os que passaram a apresentar mais exemplos, o que pode sugerir muitas coisas, desde obliteração dos casos particulares aprendidos, até o caso mais radical de “desaprendizagem” (Moreira, 2011).

Tabela 2 - Resultados do TWP para as três dimensões

	Rank	N	$\langle \rho \rangle$	$\sum \rho$	Z	p_9	Base
$\alpha_D - \alpha_A$	$\rho < 0$	7	10,36	72,50	-2,711	0,007	$\rho < 0$
	$\rho > 0$	19	14,66	278,50			
	$\rho = 0$	32	0	0			
$\beta_D - \beta_A$	$\rho < 0$	11	18,50	203,50	-4,516	0,000	$\rho < 0$
	$\rho > 0$	40	28,06	1122,50			
	$\rho = 0$	7	0	0			
$\gamma_D - \gamma_A$	$\rho < 0$	19	19,82	376	-0,394	0,694	$\rho > 0$
	$\rho > 0$	18	18,14	326,50			
	$\rho = 0$	21	0	0			

Os resultados do TWP apontam que com respeito às categoria α e β os escores do pós-teste são maiores que do pré-teste e a diferença é estatisticamente significativa ($p < 0,05$), o que nos aponta para uma rejeição da hipótese nula, enquanto com relação à categoria γ , os escores do pós-teste são ligeiramente menores que no pré-teste, porém muito provavelmente ao acaso ($p > 0,05$), o que nos indica termos de aceitar a hipótese nula. Em suma, é garantido que os alunos tiveram, na mediana, notas maiores no pós-teste do que no pré-teste para α e β , e que não houve variação das notas entre o pré-teste e o pós-teste na categoria γ . Isso garante que estes ganhos tenham sido derivados da abordagem didática implementada? Não

necessariamente, pois existem diversas variáveis não controladas entre o pré-teste e o pós-teste, tais como: história; maturação; testagem; instrumentação e interações entre elas (Campbell & Stanley, 1979).

O delineamento pré-teste pós-teste aplicado ao mesmo grupo não controla as variáveis citadas. No caso da história, a soma de fatores externos alheios ao tratamento que podem influenciar nos resultados do pós-teste. Existe a possibilidade de que os alunos tenham obtido, em outras disciplinas escolares ou ambientes informais, conhecimento sobre o tema entre as duas semanas compreendidas pelo pré-teste e pelo pós-teste e o tenham aplicado. Com respeito à maturação, a soma de fatores internos naturais alheios ao tratamento, achamos difícil algo dessa natureza ter acontecido em duas semanas, na verdade, entendemos ser até um pouco fantasioso, o que nos torna céticos com respeito a esta hipótese alternativa. No que tange à instrumentação, o erro de calibragem dos instrumentos de pesquisa, cremos ser pouco provável, pois o material foi avaliado por dois professores universitários que o julgaram adequado. Por último, com respeito à testagem, temos um argumento sólido para desconsiderá-la como hipótese alternativa, qual seja, o de que as UEPS envolvem procedimentos ativos de Aprendizagem, dentre eles, tarefas em grupo, discussão e inclusive testes escritos, o que se enquadraria como testagem, portanto, se a testagem for uma hipótese alternativa, por já estar colocada dentro das UEPS, favoreceriam, automaticamente, estas ao invés de representarem uma variável externa interveniente.

Para dirimir dúvidas sobre as hipóteses trazidas nas interpretações dos dados quantitativos, fizemos uma análise qualitativa dos possíveis processos de Aprendizagem experimentados pelos alunos em termos de quatro graus de significação da Aprendizagem. Sempre é importante lembrar que Aprendizagem Significativa não é necessariamente correta do ponto de vista científico e que Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Mecânica são polos de um *continuum* e não dicotomias (Ausubel, 2000), logo não existe uma tarefa de Aprendizagem que concentre somente elementos significativos ou mecânicos de Aprendizagem. A seguir desenvolvemos a análise qualitativa a partir de casos escolhidos dentre as interpretações quantitativas obtidas.

Para desenvolver a **análise qualitativa**, fizemos a comparação entre as atividades inicial e final usando dois critérios primários: a *substantividade*, isto é, a capacidade de expressão do aluno com suas próprias representações; a *relevância*, ou seja, a disponibilidade de conhecimentos prévios relevantes para a Aprendizagem (Ausubel, 2000). Os graus de relevância e de substantividade nos processos de Aprendizagem influenciam na qualidade dos processos de diferenciação conceitual ocorrente por meio de subordinação (correlativa ou derivativa) ou superordenação, revelam a articulação entre significados diferenciados progressivamente, além de evidenciar estratégias argumentativas baseadas em conhecimentos aprendidos durante as UEPS.

A análise quantitativa foi útil para entendermos como os dados estiveram distribuídos, porém sozinha não é suficiente como evidência de Aprendizagem Significativa. Para termos mais indícios quantitativos e processuais, construímos matrizes de transição entre pré-teste e pós-teste, instrumentos que relacionam a mudança de um estado no pré-teste (coluna) para outro no pós-teste (linha). Classificamos os ganhos quantitativos de acordo com os valores das variáveis discretas associadas a cada uma das categorias na descrição metodológica¹⁰. Assim, as matrizes de transição relacionam quantos alunos saíram do estado *i* e foram ao estado *j*. A diferença entre esses estados pode ser expressa numericamente por um coeficiente de variação:

$$c_{ij} = c_i - c_j.$$

Com c_i sendo o escore no pós-teste e c_j o escore no pré-teste. Quando $c_{ij} = \pm 3$, consideramos o efeito (ganho ou perda) intenso, quando $c_{ij} = \pm 2$, julgamos o efeito acentuado, quando $c_{ij} = \pm 1$, entendemos o efeito tendo grau moderado e quando $c_{ij} = 0$, classificamos o efeito como quantitativamente nulo, o que não significa que não tenha sido qualitativamente relevante. O sinal de + expressa um ganho (escore no pós-teste é maior do que no pré-teste) e o sinal de - representa uma perda (escore no pós-teste é menor do que no pré-teste).

Esta análise nos permitiu indicar quantos alunos apresentaram uma aproximação do conhecimento científico, quantos apresentaram um distanciamento e quantos permaneceram quantitativamente na mesma posição, além de apontar-nos quantos alunos mudaram de uma categoria para outra. Apresentamos, na tabela 2, as matrizes de transição para as categorias α , β e γ . Na sequência analisamos uma dimensão por vez.

¹⁰ Índice 1 equivale a escore 0; índice 2 equivale a escore 1; índice 3 equivale a escore 2; índice 4 equivale a escore 3.

Tabela 3 - Matrizes de transição para as categorias alfa, beta e gama.

	α_1	α_2	α_3	α_4		β_1	β_2	β_3	β_4		γ_1	γ_2	γ_3	γ_4
α_1	8	0	0	10	β_1	1	1	2	1	γ_1	0	0	0	0
α_2	3	0	0	3	β_2	11	6	23	12	γ_2	5	6	7	4
α_3	1	0	0	3	β_3	0	0	0	1	γ_3	5	5	11	6
α_4	3	0	0	22	β_4	0	0	0	0	γ_4	0	2	3	4

Analisando os casos não nulos de transições na dimensão α , é possível notar permanência na mesma categoria em: **oito** alunos da categoria α_1 ($\alpha_1 \rightarrow \alpha_1$); **22** alunos da categoria α_4 ($\alpha_4 \rightarrow \alpha_4$). Notam-se retrocessos moderados, acentuados e intensos, respectivamente, em: **três** alunos da categoria α_2 ($\alpha_2 \rightarrow \alpha_1$); **um** estudantes da categoria α_3 ($\alpha_3 \rightarrow \alpha_1$); três alunos da categoria α_4 ($\alpha_4 \rightarrow \alpha_1$). Por outro lado, avanços moderados, acentuados e intensos, respectivamente, foram evidenciados em: **três** estudantes da categoria α_3 ($\alpha_3 \rightarrow \alpha_4$); **três** alunos da categoria α_2 ($\alpha_2 \rightarrow \alpha_4$); **dez** estudantes da categoria α_1 ($\alpha_1 \rightarrow \alpha_4$). Sempre lembrando que avanço ou retrocesso são determinados com relação ao conhecimento científico, nunca em absoluto.

Estudando os casos não nulos de transições na dimensão β , percebe-se permanência na mesma categoria em: **um** aluno da categoria β_1 ($\beta_1 \rightarrow \beta_1$); **seis** estudantes da categoria β_2 ($\beta_2 \rightarrow \beta_2$). São indicados retrocessos moderados em **11** alunos da categoria β_2 ($\beta_2 \rightarrow \beta_1$). Apontam-se avanços: moderados em **1** aluno categoria β_1 ($\beta_1 \rightarrow \beta_2$), **23** alunos da categoria β_2 ($\beta_2 \rightarrow \beta_3$) e **1** aluno categoria β_3 ($\beta_3 \rightarrow \beta_4$); acentuados em **dois** alunos da categoria β_1 ($\beta_1 \rightarrow \beta_3$) e em **12** alunos da categoria β_2 ($\beta_2 \rightarrow \beta_4$); intensos em **um** aluno da categoria β_4 ($\beta_1 \rightarrow \beta_4$).

Estudando os casos não nulos de transições na dimensão γ , percebe-se permanência na mesma categoria em: **seis** alunos da categoria γ_2 ($\gamma_2 \rightarrow \gamma_2$); **11** estudantes da categoria γ_3 ($\gamma_3 \rightarrow \gamma_3$); **quatro** alunos da categoria γ_4 ($\gamma_4 \rightarrow \gamma_4$). São indicados retrocessos: moderados em **cinco** alunos da categoria γ_2 ($\gamma_2 \rightarrow \gamma_1$), **cinco** estudantes da categoria γ_3 ($\gamma_3 \rightarrow \gamma_2$) e **três** estudantes da categoria γ_4 ($\gamma_4 \rightarrow \gamma_3$); acentuados em **cinco** alunos da categoria γ_3 ($\gamma_3 \rightarrow \gamma_1$) e **dois** estudantes da categoria γ_4 ($\gamma_4 \rightarrow \gamma_2$). Apontam-se avanços: moderados em **sete** alunos da classe γ_2 ($\gamma_2 \rightarrow \gamma_3$) e **seis** da classe γ_3 ($\gamma_3 \rightarrow \gamma_4$); acentuados em **quatro** estudantes da classe γ_2 ($\gamma_2 \rightarrow \gamma_4$).

Focaremos em discutir qualitativamente alguns dos casos para analisar como podem ter ocorrido os processos de Aprendizagem e classifica-la como prioritariamente mecânica (PM), suavemente mecânica (SM), suavemente significativa (SS), prioritariamente significativa (PS), com base na substantividade das relações e na relevância do conhecimento prévio ancorado. Consideramos um processo de Aprendizagem: prioritariamente mecânico quando são estabelecidas relações com alto teor de literalidade a conhecimentos prévios irrelevantes à tarefa de Aprendizagem; suavemente mecânico quando são estabelecidas relações com alto teor de literalidade a subsunçores relevantes; suavemente significativa quando se relacionam de forma muito substantiva as ideias novas a subsunçores irrelevantes; prioritariamente significativo quando há alto teor de substantividade e de relevância. Relacionamos estes processos abaixo com as matrizes de transição e justificamos porque entendemos desta forma a seguir.

Quadro 2 – Matriz de relação entre relevância e substantividade.

	Baixa substantividade	Alta substantividade
Baixa relevância	Prioritariamente mecânico (1 → 1; 1 → 2; 2 → 1; 2 → 2)	Suavemente significativo (1 → 3; 1 → 4; 2 → 3; 2 → 4)
Alta relevância	Suavemente mecânico (3 → 1; 3 → 2; 4 → 1; 4 → 2)	Prioritariamente significativo (3 → 3; 3 → 4; 4 → 3; 4 → 4)

O quadrante superior esquerdo no Quadro 2 é considerado prioritariamente mecânico, pois os subsunçores de índice 1 e 2 estão muito afastados do conhecimento científico, então são considerados pouco relevantes, e com processos de baixa substantividade, ou seja, oferecem uma tendência à Aprendizagem por repetição. O quadrante superior direito é considerado suavemente significativo, pois embora não envolva Aprendizagem a partir de subsunçores, envolve processos altamente substantivos de Aprendizagem que permitem, por exemplo, a construção de subsunçores. O quadrante inferior esquerdo é considerado suavemente mecânico, pois embora envolva relações com subsunçores, tal relação é literal e permite pouca modificação destes subsunçores. O quadrante inferior direito é prioritariamente significativo, pois envolve os dois critérios para a Aprendizagem Significativa, quais sejam, substantividade e relevância, o que permite aos alunos o aprofundamento de ideias e construção de mais subsunçores. No contínuo entre Aprendizagem

Mecânica (M) e Aprendizagem Significativa (S) teríamos: M; PM; SM; SS; PS; S. A seguir discutimos alguns casos interpretados à luz deste esquema.

1. Exemplos de casos de Aprendizagem prioritariamente mecânica:

O aluno A tem um conhecimento prévio pouco relevante para a aprendizagem, pois não está relacionado à constituição da matéria e apresenta resposta evasiva. No pós-teste ele apresenta evidências de literalidade cujos indícios estão em suas respostas evasivas, pouco relacionadas ao tema, tais como a relação entre Rutherford e Thomson (indicação de que o primeiro disse que o segundo estaria errado, mas sem explicar a razão), apresenta o fato de o núcleo ser positivo sem argumentar sobre isto e emprega erroneamente o conceito de elétron (elétron é algo que tem partículas negativas). Como produto de aprendizagem, temos uma mudança nada substancial entre pré-teste e pós-teste.

Pré-teste: Ao longo das décadas as opiniões sobre determinadas coisas, falando sobre o processo de evolução, podemos acreditar que novas formas de desenvolvimento no universo foram surgindo. O ser humano a cada passo a frente intensifica seus conhecimentos e aprimora os já existentes, em virtude disso, concluímos que as coisas são feitas de acordo com o grau de conhecimento que os indivíduos adquirem ano após ano. A tecnologia é um exemplo disso, pois está se modernizando cada vez mais.

Pós-teste: Rutherford foi uma das pessoas que desenvolveu papel importante para o surgimento de novas tecnologias e seu aprimoramento. Mostrou através de sua teoria bem relacionada ao modelo atômico que Thomson estava errado com sua forma teórica. Segundo Rutherford, o átomo apresenta um núcleo com partículas positivas e este apresenta maior número de massa em relação ao todo. Já na parte de fora o átomo dispõe de elétrons com partículas negativas." (ALUNO A, $\alpha_1 \rightarrow \alpha_1$)

Assim como o aluno A, a estudante E tem conhecimentos prévios que se resumem a reduzir a Ciência à Tecnologia e ilustrar com alguns exemplos, o que consideramos moderadamente relevantes para compreender a Ciência como um empreendimento tecnocientífico, sócio-cultural e político econômico. No pós-teste ela apresenta as mesmas ideias e um ou dois exemplos, sem aprofundar-se na discussão. Isso evidencia uma relação altamente literal a conhecimentos prévios apenas moderadamente relevantes, o que indica um produto de mudança quase nada substancial entre pré-teste e pós-teste.

Pré-teste: A ciência ela está cada mais evoluindo na questão de tecnologia. Hoje podemos de dizer que a medicina também evoluiu muito em questão que inventaram o microscópio, aparelhos hospitalar, remédios, etc.

Pós-teste: Sim, porque muitas coisas evoluiu com a tecnologia: carro; celular; a medicina, etc. O mundo da tecnologia está evoluindo, muitas coisas evoluirão com a tecnologia. Sim, pois é de grande importância o conhecimento sobre a constituição da matéria de acordo com o decorrer da história." (ALUNA E, $\beta_2 \rightarrow \beta_2$)

A aluna H apresenta conhecimentos prévios moderadamente relevantes, pois descreve produtos da medicina como exemplo tecnológico, porém, não responde ao pós-teste. Para ela parece não haver aplicações tecnológicas da teoria atômica, o que pode indicar uma relação pouco substantiva com conhecimentos prévios moderadamente relevantes. Associados a este baixo teor de relevância e substantividade, se associa um processo de Aprendizagem prioritariamente mecânica. Por não conseguir apresentar ao menos um ou dois exemplos no pós-teste, entendemos que os produtos da Aprendizagem para a estudante foram confusos e ela não conseguiu realizar subsunções derivativas para reter mais exemplos de aplicações tecnológicas da teoria atômica.

Pré-teste: Acredito sim [que a ciência tem importância social] porque vamos conhecendo coisas novas, tem mais tecnologias, conhecendo novas doenças, nos hospitais, nos laboratórios. Ciência é importante sim.

Pós-teste: ... " (ALUNA H, $\gamma_2 \rightarrow \gamma_1$)

2. Exemplos de casos de Aprendizagem suavemente mecânica

A aluna B possui conhecimento prévio acentuadamente relevante (estrutura-composição da matéria por átomos e moléculas), embora alguns sejam difusos e inclusive carreguem obstáculos epistemológicos pré-socráticos subsumidos pela noção de formação. No pós-teste, somem os elementos pré-socráticos, o que evidencia um entendimento de qual conhecimento prévio seria relevante para a aprendizagem, porém as relações não envolvem muita argumentação ou uso de linguagem, pois mostram-se curtas e simplistas, com algumas aleatórias (vincular Schrodinger ao gato), além de que certos conceitos sequer são considerados relevantes, mesmo abordados na UEPS, tais como o de próton e de elétron. A aluna consegue estabelecer uma pobre relação de subsunção correlativa para os átomos de Thomson e de Demócrito a partir do

subsunçor composição por elementos e os difere por um ser divisível (Thomson) e o outro ser indivisível (Demócrito). Como produto, parece ocorrer uma Aprendizagem superficial associada ao conceito de átomo.

Pré-teste: Elétrons, prótons e átomos. São moléculas que a partir de sua formação se transformam em uma matéria. Então o Universo ele não é formado apenas por terra, água, fogo e ar, mas também por moléculas que formam basicamente espaços.

Pós-teste: Schrodinger: ele tinha uma teoria chamada teoria do gato; Demócrito, para ele o átomo era a menor partícula; J. Thomson: para ele o átomo era uma partícula divisível.” (ALUNA B, $\alpha_3 \rightarrow \alpha_1$)

Assim como a aluna B, a aluna I tem subsunçores (conhecimentos prévios acentuadamente relevantes), tais como relações entre Ciência e Sociedade, além da influência da Tecnologia sobre problemas sociais. No pós-teste ela, no entanto, não responde. Uma possibilidade explicativa para este processo que levantamos é a de ela ter relacionado de forma literal aspectos novos ao seu conhecimento prévio relevante, o que pode ter causado interferência retroativa (Ausubel, 2000), isto é, aquela que tem efeito sobre o que já se sabia antes.

Pré-teste: Sim [a ciência é importante para a sociedade] Um dos pontos positivos [da ciência] é a biomedicina que ajuda na saúde do ser humano a descobrir curas para doenças graves e outro ponto está a tecnologia que também facilita no meio de comunicação, transporte...

Pós-teste: ...” (ALUNA I ($\gamma_3 \rightarrow \gamma_1$))

3. Exemplos de casos de Aprendizagem suavemente significativa

O conhecimento prévio da aluna C é pouco relevante, pois é muito geral (combinação de compostos), mas diferentemente da aluna B, ela parece desenvolver processos intensamente substantivos durante a UEPS. No pós-teste, ela descreve com clareza, embora nem sempre com tanta profundidade, os modelos atômicos de Demócrito, Thomson e Bohr, enquanto faz menção um pouco mais indiretas aos trabalhos de Rutherford e Schrodinger. As relações se baseiam no conceito de compostos elementares, mas como o subsunçor é muito amplo, ela pode não ter conseguido ir muito além de construir o subsunçor átomo, que agora tem muito mais clareza que antes. Desta forma, evidenciam-se subsunções correlativas altamente substantivas a um conhecimento prévio pouco relevante. Consideramos este processo mais próximo do polo significativo do que do polo mecânico da Aprendizagem.

Pré-teste: Todas as coisas são feitas de uma combinação de compostos que possibilitam a vida.

Pós-teste: Demócrito acreditava que tudo era feito de “pequenas bolinhas unidas” a qual chamou de átomos que considerava indivisível. J. Dalton seguiu com a teoria de Demócrito, confirmando a existência dos átomos e que eles eram indivisíveis. J. Thomson estudou o modelo atômico de Dalton e descobriu os elétrons. Criou uma estrutura atômica conhecida como o pudim de passas. Rutherford, através do estudo do raio-x e da radioatividade desenvolveu uma estrutura atômica baseada em elétrons com carga positiva e uma eletrosfera negativa, usando suas pesquisas sobre radioatividade e uma placa de ouro. N. Bohr: criou a estrutura atômica conhecida como modelo planetário. Schrodinger fez uma grande descoberta em relação aos átomos e ganhou o prêmio nobel de química por isso.” (ALUNA C, $\alpha_1 \rightarrow \alpha_4$)

Assim como a aluna C, a aluna F tem conhecimento com baixo grau de relevância (nesse caso, moderadamente relevante), porém parece relacionar de forma acentuadamente substantiva as informações abordadas durante a UEPS. Seu conhecimento prévio no pré-teste se restringe ao aspecto tecnológico, mas no pós-teste ela elabora a influência do contexto social sobre a produção de ciência e tecnologia para o caso específico de Niels Bohr. Entendemos isso como um processo mais próximo do polo significativo do que do polo mecânico e compatível com a construção de um subsunçor por subordinação (aspectos sociocientíficos) e refinamento deste, via superordenação (reuniu os aspectos sociocultural e tecnocientífico à ciência, um conceito subsunçor mais geral).

Pré-teste: Como exposto no texto acima, acredita-se muito em crença religiosa, e a ciência vem mostrando que pode existir uma saída, quando graças à ciência foi criado vários tipos de remédios ou até mesmo a “cura” para as doenças, vemos então que a ciência hoje anda tomando ... à muito descoberto e evoluindo cada vez mais, ainda mais vivendo em uma era tecnológica. Nos dias atuais vemos que sempre há notícias de como a ciência atual vem evoluindo cada dia mais, não só no mundo farmacêutico como no mundo de todas as formas.

Pós-teste: Sim [o período histórico influencia a ciência] temos como exemplo Niels Bohr que por ser de origem judaica e que viveu nos períodos da segunda e da primeira guerra mundial era contrário à bomba atômica e expôs isso defendendo sua proposta.” (ALUNA F, $\beta_2 \rightarrow \beta_3$)

A aluna J, assim como a aluna F tem conhecimento prévio moderadamente relevante (ciência produz tecnologias e melhora a vida das pessoas). No pós-teste, ela consegue apresentar mais exemplos claros ligados à teoria atômica e tangencialmente relacionados ao aspecto social. Entendemos esses exemplos

como casos de subsunção derivativa que deram origem a novos subsunçores, em função da relação fortemente substantiva evidenciada pela linguagem pessoal empregada pela aluna (ela consegue emitir ideias com suas próprias palavras).

“Pré-teste: Sem dúvidas a ciência tem um papel importante [na sociedade], pois em meio de tantos avanços na sociedade acreditamos que tem bastante pontos positivos, é então muito importante para o bem estar individual e social, pois visa melhorar a qualidade de vida das pessoas, utilizando-a para fabricar novos artefatos, tudo isso para melhorar a vida de todos.

Pós-teste: Existe vários métodos de tecnologia quanto na parte da saúde, da agricultura e do setor energético. Na área da saúde existe a quimioterapia por conta da radiação solar tem usina nuclear, no setor estratégico tem a produção das armas. Então tudo isso tem um desenvolvimento por conta da tecnologia que existe: tem o raio-X, também, na saúde, na agricultura tem os tóxicos, no setor estratégico tem a bomba nuclear. No setor energético tem as usinas nucleares.” (ALUNA J, $\gamma_2 \rightarrow \gamma_4$)

4. Exemplos de casos de Aprendizagem prioritariamente significativa

A aluna D possui conhecimentos prévios muito relevantes para a Aprendizagem no pré-teste, pois evoca o conceito de átomo de forma clara organizada e discriminada de outras instâncias. O teor de substantividade e de não-arbitrariedade das relações estabelecidas por ela se manifestam especialmente no grau de explicação dada sobre os modelos atômicos com particular destaque para o de Schrodinger, não abordado no Ensino Médio (completamente novo). Ela faz o uso de prefixos gregos para entender a noção de átomo indivisível de Demócrito, estabelece analogias e estabelece um fio condutor entre as teorias. Este processo é muito mais próximo do polo significativo da Aprendizagem do que do polo mecânico e evidencia subsunções derivativas e correlativas que expressam aprofundamento e consolidação dos seus subsunçores.

“Pré-teste: Todas as coisas são feitas ou compostas de átomos. A matéria é tudo o que ocupa um lugar no espaço. O átomo é composto por elétrons, prótons e nêutrons. Antigamente, no tempo dos gregos, acreditava-se que o átomo era indivisível. Mas ao longo do tempo, estudiosos comprovaram a divisibilidade do átomo. O fato é que não há dúvidas de que todas as coisas são feitas de átomos.

Pós-teste: Demócrito tentava explicar todas as coisas por meio das leis da natureza, junto com Leucipo desenvolveram suas teorias atômicas. Para ele os átomos (a=não, tomo=divisível) eram indestrutíveis e tinham várias formas. John Dalton: seu modelo atômico fazia referência a uma bola de bilhar: uma esfera maciça, indivisível e com carga elétrica neutra. Para ambos os estudiosos toda a matéria é composta de átomo. J. Thomson usou as teorias anteriores e aplicou os estudos sobre eletricidade, os átomos possuem cargas positivas e negativas. Rutherford continuou os estudos sobre eletricidade e incorporou o descobrimento da radiação (alfa, beta e gama). Os átomos passaram a ser “elétricos” e radioativos. N. Bohr: usou sua teoria para explicar porque os elétrons não caíam no núcleo, o que não foi explicado por Rutherford. Schrodinger explicou a quantização da matéria, mas não explicou como seria a estrutura dos átomos. É notável que a evolução dos átomos se deu de maneira conjunta, sabemos que tudo é composto de átomo, até ser necessário lidarmos com o paradigma da mudança.” (ALUNA D, $\alpha_4 \rightarrow \alpha_4$)

O aluno G, assim como a aluna D, possui conhecimentos prévios relevantes (relação de influência e dependência entre ciência e sociedade). No pós-teste ele estabelece mais relações e ainda agrega o caráter político-econômico (geração de empregos em atividades derivadas de ciência e tecnologia). Podemos identificar três processos subjacentes: subsunção derivativa, ao apresentar novos exemplos; subsunção correlativa, pois há elaboração da relação prévia entre ciência e sociedade; e superordenação, uma vez que o aspecto tecnocientífico, o aspecto sociocultural e o aspecto político-econômico, menos gerais e inclusivos que o conceito de ciência, são vistos como instâncias comuns deste último e são assim superordenados a ele, o que lhe confere maior refinamento. O aluno G apresenta aprofundamento e consolidação das suas ideias.

“Pré-teste: A ciência em si evolui, dependendo da demanda que os seres humanos buscam responder alguma resposta [sociocultural e tecnocientífico]. Tendo em vista que a ciência para alguns seria o caminho para solucionar a forma pelas quais as coisas foram criadas. Assim, por meio da descoberta científica, vários pensadores adotaram um tipo de ciência para se pensar diante o mundo e em uma sociedade [sociocultural e tecnocientífico]. Desse modo a ciência foi dividida em ciências exatas, ciências humanas e ciências da natureza em que eles estudam como o mundo se organiza.

Pós-teste: Sim [o período histórico] porque com essas teorias sendo mostradas pelo mundo inteiro elas influenciaram vários pesquisadores a ter noção de que estavam fazendo, como hoje na medicina onde são encontradas várias maneiras de combater muitas doenças. As indústrias que geram energia nuclear, nesse tipo de desenvolvimento científico, na questão da agricultura onde gera emprego para os camponeses e para os pequenos produtores, que na política teve os desenvolvimentos dos países em questões econômicas. (ALUNO G, $\beta_3 \rightarrow \beta_4$)

A aluna K possui conhecimentos prévios relevantes, pois apresenta diversos exemplos e argumenta sobre eles no pré-teste. Percebemos que além de aumentar a quantidade de exemplos que apresenta, algo compatível com subsunção derivativa, ela organiza melhor as ideias em três eixos (setor de saúde, setor

energético e setor estratégico), o que é coerente com uma subsunção correlativa. Portanto, o alto grau de substantividade e relevância das ligações manifesta maior aprofundamento e consolidação das ideias prévias da aluna.

“Pré-teste: Com certeza a ciência tem um papel importante em nossa sociedade, pois foi pioneira na descoberta de várias doenças e modos de prevenção e tratamento dos mesmos, na descoberta e desenvolvimento de modelos atômicos e de partículas bem menores que o átomo, na evolução dos seres vivos e na composição da matéria, na projeção de armamento com compostos atômicos e nucleares. Porém a ciência tem seus pontos negativos, pois é baseada em hipóteses e não em conceitos concretos e exatos e muitas vezes vai de encontro a alguns preceitos da sociedade como dogmas religiosos.

“Pós-teste: O estudo sobre a teoria atômica possibilitou que várias áreas pudessem desenvolver técnicas para setores importantes de nossa sociedade. Na área da saúde foi de grande importância para o tratamento de doenças cancerígenas. No setor energético, pois descobriu-se que a agitação dos átomos produz um grande potencial energético. E também contribui na produção bélica de armamentos como a bomba atômica.” (ALUNA K, $\gamma_3 \rightarrow \gamma_4$)

Ao comparar os quadrantes das matrizes de transição da dimensão α e somar os casos, vemos que 11 alunos caem no espectro prioritariamente mecânico, enquanto 25 são enquadrados no espectro prioritariamente significativo, o que significa que mais do dobro do número de alunos que aparentaram desenvolver processos de Aprendizagem mecânica parece ter aprofundado amplamente seus conhecimentos em relação ao pré-teste. O mesmo padrão aparece na comparação entre casos suavemente significativos e os casos suavemente mecânicos, mas neste ponto a razão é triplicada. Isto pode ser interpretado como a prevalência da construção de novos subsunçores frente à manutenção ou baixa elaboração destes.

Contrastando as matrizes de transição da categoria β e agrupando os casos, vemos que 19 alunos parecem ter apresentado processos prioritariamente mecânicos de aprendizagem, enquanto 48 evidenciaram processos suavemente significativos de aprendizagem, ao passo que um aluno parece ter desenvolvido processos prioritariamente significativos de aprendizagem. Interpretamos isto como construções de subsunçores ou elaborações de subsunçores monádicos, moderadamente relevantes para o desenvolvimento de uma visão mais holística e integrada de ciências, ao longo do tempo. A construção de subsunçores é um processo que embora possa envolver relações substantivas, parece envolver relações arbitrárias com conhecimentos prévios dos estudantes, o que torna mais difícil o processo. Os alunos, em grande maioria, parecem relacionar aspectos político-econômicos e socioculturais a aspectos tecnocientíficos, o que às vezes pode ser um grande desafio na aula de Física. Essa construção expressou-se quantitativamente na diferença das medianas entre pré-teste e pós-teste.

Quanto à categoria γ , embora a análise do TWP nos tenha levado à conclusão pela hipótese nula, percebe-se pela análise da matriz de transição que o número de estudantes que parece ter experimentado processos prioritariamente significativos foi praticamente o dobro do número de estudantes que evidenciou ter vivenciado processos prioritariamente mecânicos. O número de processos que aparentaram ser suavemente mecânicos e suavemente significativos foi quase o mesmo. Isso nos indica uma melhor compreensão qualitativa, embora nenhuma evolução no número de exemplos apresentados.

Infere-se, portanto, pela triangulação da análise qualitativa e da análise quantitativa que, para as dimensões α e β , existe uma diferença estatisticamente significativa quantitativa e qualitativa entre pré-teste e pós-teste, enquanto para a dimensão γ isto se resume a uma evolução mais qualitativa e nenhuma diferença estatisticamente significativa entre pré-teste e pós-teste. Ou seja, os alunos parecem em sua maioria ter, de fato, melhorado em aspectos conceituais e histórico-epistemológicos seus raciocínios sobre teoria atômica, enquanto, não houve diferença na quantidade de exemplos que lembrem, embora estes tenham ficado majoritariamente mais refinados ao longo da UEPS. Entendemos que isto é um resultado favorável tanto à implementação das UEPS em salas de aula do Ensino Médio e quanto à possibilidade de sua articulação com o uso da História da Ciência.

CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Este trabalho teve como meta principal responder à seguinte pergunta de pesquisa: “como alunos de terceiro ano de Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade no interior da região amazônica assimilam os conceitos de modelo atômico e de paradigma científico em uma UEPS sobre a evolução epistemológica dos modelos atômicos?”. Para tal, elaboramos como objetivo geral, o de analisar padrões de assimilação significativa desenvolvidos por alunos de terceiro ano de uma escola pública, sobre modelos atômicos em uma UEPS (Moreira, 2011), estruturada epistemologicamente em termos de uma epistemologia Kunhiana, sob a luz da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e da metodologia da Análise Textual Discursiva

(Moraes, 2003). O corpus da pesquisa incluiu registros de duas atividades (diagnóstica e somativa) realizadas por 58 alunos de duas turmas.

Em termos gerais, pode-se encontrar indícios de elaboração dos significados de uma parcela grande de estudantes, em especial por processos de subsunção correlativa e, em menor frequência, por superordenação. A subsunção correlativa, a elaboração de uma ideia na estrutura cognitiva, fica evidente tanto quantitativamente como qualitativamente, nas dimensões conceitual e histórico-epistemológica, quando na comparação entre as atividades. Mais alunos aproximam-se de discursos científicos e de maneira mais aprofundada na atividade final, levando em conta ideias de modelos atômicos mais atuais, enquanto inicialmente, muitos estudantes sequer consideravam o conceito de átomo central para explicar a estrutura da matéria. A subsunção correlativa também é evidenciada na dimensão aplicações tecnológicas, pois os estudantes passam a apresentar maior clareza nos exemplos que já tinham ou que aprenderam ao longo das UEPS, embora não apresentem estatisticamente mais exemplos. Com respeito à superordenação, por já terem uma ideia prévia e exemplos concretos de ciência, no processo de assimilação do conceito de paradigma científico, os estudantes parecem fazê-lo de maneira a enquadrar estes empreendimentos científicos mais particulares a um conceito ampliado de ciência, o que fica evidenciado na análise da categoria β .

No que tange à dimensão conceitual, é possível verificar uma diferença significativa nos discursos apresentados pelos alunos nas atividades de avaliação diagnóstica e somativa. Nas primeiras, mais diretas e exigindo menor qualificação e elaboração conceitual, a maior parte dos alunos sequer menciona o conceito de átomo como explicativo da constituição da matéria. Por outro lado, nas segundas, a evolução é notória, pois além de usar tal conceito para explicar a composição material, a maior parte dos alunos apresentou significação equivalente à categoria atomista (α_4), enquanto parte minoritária fica restrita à categoria α_1 (informal). Percebe-se, neste quesito, evolução tanto qualitativa (elaboração das explicações) como quantitativa (número de alunos apresentando resposta adequada).

No tangente à dimensão histórico-epistemológica, no início do processo didático, maior parte das concepções evidenciadas pelos alunos considera aspectos meramente tecnocientíficos como causas do desenvolvimento. Posteriormente, na avaliação somativa, não só os estudantes começam a enumerar outros fatores relevantes responsáveis pela evolução do conhecimento científico, como também passam a descrever cada vez mais a ciência como um empreendimento complexo e não linear. Assim como na dimensão histórico-epistemológica, os estudantes apresentam nítidos indícios tanto de melhora qualitativa como quantitativa.

No tangente à dimensão aplicações tecnológicas, por outro lado, não houve mudança estatisticamente significativa no número de exemplos que os alunos apresentavam, o que não significa que não tenha havido processos de Aprendizagem Significativa subjacentes. Uma fração considerável dos alunos apresentou melhoras qualitativas, o que é compatível com a dedução de Ausubel (2000) de que os exemplos são rapidamente obliterados às instâncias mais gerais e inclusivas, o que torna a subsunção derivativa mais rapidamente obliterável que as subsunções correlativas. Isto fica muito claro quando comparamos o desempenho dos estudantes nesta dimensão com o ocorrente na dimensão β , em que a evolução foi tanto qualitativa como quantitativa.

Identificamos como dificuldades para Aprendizagem um acentuado déficit de conhecimentos sobre os conceitos de átomo, modelos atômicos e paradigmas científicos, na atividade inicial. Essa informação nos alertou a concentrar-nos em trabalhar na construção de subsunções e aprofundamento destes nas primeiras atividades. Trabalhar o conhecimento prévio relevante é fundamental para a aprendizagem, segundo Ausubel (2000). Os alunos responderam de modo positivo, pois percebemos que houve um aumento do interesse pela temática, motivação essa que evoluiu e produziu resultados significativos verificados nas respostas dos estudantes, ao defenderem seus posicionamentos com argumentos mais articulados e embasados, o que evidenciou não só o aumento do patrimônio memorial dos estudantes como também facilitou a problematização de conceitos em níveis mais complexos, possibilitando a assimilação e retenção do conteúdo trabalhado em sala de aula ao final das UEPS. Os resultados indicam que a unidade didática foi, de fato, potencialmente significativa, pois proveu condições para ocorrência de Aprendizagem Significativa.

Retomando os resultados da literatura, nossos resultados assemelham-se aos de Correa e Lopes (2017), pois foi possível evidenciar que o uso de história e epistemologia da Ciência pode facilitar não somente a aquisição significativa de aspectos histórico-epistemológicos, mas também conceituais. Agregamos como contribuição à área a sustentação da hipótese de que as UEPS podem ser articuladas com a História da Ciência em seu bojo, tal como fizeram Damásio e Peduzzi (2017) para a formação de professores. Por outro lado, em termos quantitativos, nossos resultados aproximam-se aos de Junior e Neto (2015) em virtude de mais de um terço dos alunos mostrar indícios de apropriação de modelos e de aspectos históricos

epistemológicos dos problemas. Meta posterior do trabalho envolve elucidar as questões relativas às transições eletrônicas e formação de espectros para poder lançar luz sobre que aspectos podem facilitar ou dificultar a Aprendizagem destes assuntos. Este aspecto é ponto dissonante nas propostas de Braibante e Braibante (2014) e de Santana e Santos (2007).

Um elemento importante a ser destacado é o de que este trabalho foi aplicado em um contexto real de uma escola pública de uma cidade no interior da Amazônia, o que mostra a sua exequibilidade, pois envolveu nove a dez períodos (há três períodos por semana) para discutir uma temática importante a diversas disciplinas, tais como a Física e a Química, pois envolve Mecânica Quântica, conteúdo pouco abordado na rede pública de Ensino Médio, e Filosofia e Sociologia, uma vez que envolve fundamentos de Epistemologia, a introdução de situações sócio científicas e filosóficas, tais como o uso de teoria atômica na medicina, na indústria alimentícia, no meio militar, etc. É possível consultar o produto pedagógico desta pesquisa, um guia para professores da Educação Básica relatando como pode ser realizado trabalho similar em ambientes parecidos. O trabalho pode ser consultado no [link](#).

Objetivamos incrementar esta pesquisa de maneira a realizar atividades interdisciplinares com docentes de outras disciplinas tais como História, Química, Biologia, Matemática, Filosofia e Sociologia, de maneira a tornar a problemática da teoria Atômica estruturante para o Ensino de diversos outros conceitos. Ademais, objetiva-se, também, identificar futuramente invariantes operatórios (implícitos) que possam servir de obstáculo epistemológico ou como facilitadores para a Aprendizagem de Modelos Atômicos. Outra possibilidade futura de trabalho envolve, ainda, o estabelecimento da relação entre Aprendizagem em modelos atômicos com autoeficácia em Física.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao prof. Janylton Josadark Correa por ceder-nos as turmas para a aplicação da pesquisa, à direção da E.E.E.F.M. Rodrigues dos Santos por haver nos acolhido durante o processo e aos alunos participantes da investigação pelo envolvimento voluntário no trabalho.

REFERÊNCIAS

- Ausubel, D. P. (2000). *Acquisition and retention of Knowledge: a cognitive view*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- MEC (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC/Semtec, 1999. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>
- Campbell, D., & Stanley, J. (1979). *Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa*. São Paulo, SP: EPU.
- Correa, C., & Lopes, C. (2017). Ensino de modelos atômicos usando episódios da História da Ciência. In *Atas do X Simpósio Nacional Sobre Investigación en Enseñanza de Las Ciencias*. Sevilha, España. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/131_-_Enseno_de_Modelos_Atomicos_usando_episodios_da_Historia_da_Ciencia.pdf
- Damáσιο, F., & Peduzzi, L. (2017) A formação continuada de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica por meio da História e Filosofia da Ciência sob o viés relativista: um estudo de caso. *Experiências em Ensino de Ciências*, 12(5), 47-67. Recuperado de https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID379/v12_n5_a2017.pdf
- Feynman, R., Leighton, R., & Sands, S. (2009). *Lições de Física*. Porto Alegre, RS: Bookman.
- Field, A. (2009). *Descobrimo a estatística usando o SPSS*. Porto Alegre, RS: Bookman/Artmed.
- Fourez, G. (2003). Crise no Ensino de Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 109-123. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/542>
- Junior, M. S. L. P., & Neto, J. E. S. (2015). Situações-problema como estratégia didática para o Ensino dos Modelos Atômicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 8(3), 181-202. <http://dx.doi.org/10.3895/rbect.v8n3.2725>

- Kuhn, T. (1977). *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago, United States of America: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1997). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo, SP: Perspectiva.
- Macedo, M. S. (2018). *Evolução dos modelos atômicos: uma proposta epistemológica na elaboração de modelos teóricos para explicar a estrutura da matéria (PA)*. (Dissertação de mestrado). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/343053542_Evolucao_dos_modelos_atomicos_uma_proposta_epistemologica_na_elaboracao_de_modelos_teoricos_para_explicar_a_estrutura_da_materia
- Moraes, R. (2003). Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Revista Ciência e Educação*, 9(2), 191-211. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200004>
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43-63. Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/asr/?go=artigos&idEdicao=2>
- Pantoja, G., Herscovitz, V. E., & Moreira, M.A. (2011). Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 4(3), 1-34. [10.3895/S1982-873X2011000300001](https://doi.org/10.3895/S1982-873X2011000300001)
- Santana, F. B., & Santos, P. J. S. (2007) Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para discussão de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 555-589. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p555>.
- Silva, G. S., Braibante, M. E. F., & Braibante, H. T. S. (2014). Oficina temática: uma proposta metodológica para o Ensino do modelo atômico de Bohr. *Ciência & Educação (Bauru)*, 20(2), 481-495. <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000200014>.

Recebido em: 14.10.2019

Aceito em: 11.07.2020

ANEXO I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, estou sendo convidado a participar de um estudo denominado Modelos atômicos no Ensino Médio: uma unidade de Ensino potencialmente significativa com ênfase em uma descrição epistemológica, cujos objetivos e justificativas são: compreender a aquisição de conhecimento sobre Modelos Atômicos em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

A minha participação no referido estudo será no sentido de: participar de aulas diferenciadas sobre o conteúdo de Modelos Atômicos; realizar tarefas de avaliação de aprendizagem; fazer apresentações verbais sobre o conteúdo; dar entrevistas sobre o que aprendi nas aulas.

Fui alertado de que, da pesquisa a se realizar, posso esperar alguns benefícios, tais como: melhora na Aprendizagem do conceito de modelo atômico; aumento na capacidade de argumentação sobre o assunto.

Recebi, por outro lado, os esclarecimentos necessários sobre os possíveis desconfortos e riscos decorrentes do estudo, levando-se em conta que é uma pesquisa, e os resultados positivos ou negativos somente serão obtidos após a sua realização. Assim, é possível que haja dificuldade de adaptação à nova metodologia didática.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo.

Também fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo à assistência que venho recebendo. Foi-me esclarecido, igualmente, que eu posso optar por métodos alternativos, que são: a realização de atividades

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são Mariel Macedo (mestrando) e Glauco Pantoja (docente) e com eles poderei manter contato pelos telefones telefone 1 e telefone 2.

É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

No entanto, caso eu tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento na forma seguinte: ressarcimento em dinheiro. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a lei.

Em caso de reclamação ou qualquer tipo de denúncia sobre este estudo devo ligar para o Comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal do Oeste do Pará (93) 2101-6518 ou mandar um *e-mail* para comissaodeetica@ufopa.edu.br

Santarém, 14 de agosto de 2018.

Nome e assinatura do sujeito da pesquisa (responsável em caso de menor de idade)

Mariel dos Santos Macedo

Glauco Cohen Ferreira Pantoja

Adaptado da versão do termo de consentimento livre e esclarecido da Fundação Oswaldo Cruz
http://www.fiocruz.br/ioc/media/Termo_consentimento_livre_13.06.17.pdf