



Hantaro Nagaoka e o modelo saturniano

Edemar Benedetti Filho e Marcio Y. Matsumoto

Este artigo descreve a influência do positivismo japonês sobre a vida do físico Hantaro Nagaoka (1865-1950) e o seu modelo atômico saturniano. Seu modelo foi ilustrado assemelhando-se a Saturno e os seus anéis, no qual os elétrons giravam em torno do núcleo. Sua história pode ser inserida em uma perspectiva pedagógica por uma abordagem STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), sendo apropriada para ser trabalhada no Ensino Médio, tendo em vista a crescente demanda pela integração curricular nos documentos normativos. Espera-se que a motivação dos estudantes pela aprendizagem da química seja aumentada, promovendo a identificação dos mesmos pelas atividades dos cientistas e a compreensão da ciência como um empreendimento humano.

► Hantaro Nagaoka, modelo atômico saturniano, educação STEAM ◀

Recebido em 18/08/2020, aceito em 04/05/2021

Nos últimos anos, com a realidade globalizada e diante das crescentes necessidades de inovações no processo produtivo visando o desenvolvimento econômico sustentável para a sociedade, muito se vem discutindo a respeito da interdisciplinaridade na formação dos estudantes do nível básico ao superior. O aluno, dentro desse contexto, deve ser capaz não apenas de aplicar os conhecimentos adquiridos, mas também ser flexível às exigências de um mundo competitivo e em constante transformação. Em sua formação acadêmica deve poder desenvolver habilidades que explorem a sua criatividade nas resoluções de problemas cotidianos em consonância com as demais áreas da ciência. O estudante deve ter uma formação ampla sobre os mais variados temas, principalmente em áreas complementares. As atividades práticas e de pesquisa desenvolvidas no ambiente escolar auxiliam na assimilação desse conhecimento diversificado e na possibilidade de despertar, no aluno, sua vocação e interesse pela busca por

A metodologia STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) apresenta uma característica ativa do aluno, caracterizando-se como uma tendência inovadora que modifica o status quo da educação da atualidade. Ela fornece aos alunos possibilidades de metodologias criativas, ajudando assim a oferecer uma aprendizagem mais significativa ao estudante (Silva et al., 2017).

novas informações ao seu redor, principalmente incentivada pela curiosidade. Além disso, a integração entre a escola e a sociedade, necessariamente sobre o seu cotidiano, traz benefícios para todos os envolvidos nesse convívio, permitindo que o estudante enfrente as resoluções de problemas em uma situação mais real, prática, e consiga equacionar seus conhecimentos para a busca de soluções e possa, ao mesmo tempo, incorporar as informações técnicas e teóricas no processo de seu desenvolvimento (Silva et al., 2017; Santos e Colombo-Júnior, 2018).

A metodologia STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) apresenta uma característica ativa do aluno, caracterizando-se como uma tendência inovadora que modifica o status quo da educação da atualidade. Ela fornece aos alunos possibilidades de metodologias criativas, ajudando assim a oferecer uma aprendizagem mais significativa ao estudante (Silva et al., 2017). Essa metodologia educacional surgiu na National Science Foundation (NSF) dos Estados Unidos na década de 1990, com o objetivo de identificar algum evento, programa, política ou prática pedagógica que tivesse relação entre elas

Esta seção contempla a história da Química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

(Bybee, 2010). Inicialmente, a proposta envolvia as disciplinas de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), e posteriormente as artes passaram a ser agregadas a esse conjunto de disciplinas. Isso ocorreu devido à importância que as artes apresentam na concepção sobre o pensamento criativo e nas habilidades relacionadas com o *design* dos projetos propostos. Assim, a sigla foi modificada para STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Math). Segundo Cilleruelo e Zubiaga (2014):

[...] muitos cientistas, matemáticos e engenheiros quando avaliam suas próprias atividades a posteriori veem em “certas qualidades artísticas” a chave para o êxito, porque por trás disso encontram de forma recorrente, a curiosidade subjetiva, a observação precisa, a percepção dos objetos de uma forma diferente e o trabalho efetivo com outros. Em resposta a essa necessidade, em 2006, Georgette Yakman cunhou o termo STEAM como um marco para a educação através das disciplinas, um novo paradigma que propõe a ciência e a tecnologia interpretada através da engenharia e das artes (Cilleruelo e Zubiaga, 2014, p. 2).

No contexto atual, o conceito STEAM vem sendo valorizado no sistema educacional, pois os conhecimentos associados a essas áreas, trabalhados de forma interativa e multidisciplinar, podem levar às inovações (Corlu *et al.*, 2014). A educação STEAM é caracterizada principalmente pela integração curricular no ensino básico, na qual as disciplinas devem ser interligadas de tal modo que assuntos correlatos sejam conectados sem ignorar suas características únicas, a profundidade e o rigor de cada uma delas, de modo a romper as barreiras disciplinares e, dessa forma, comportando-se integralmente como uma metodologia pedagógica interdisciplinar. Os docentes podem realizar uma transição do modelo de ensino departamentalizado para um modelo mais integrado, em que os professores não são apenas os especialistas em um único assunto, mas também têm a responsabilidade adicional de orientar seus alunos em pelo menos outro assunto, construindo interações com outras áreas de interesse aos estudantes. Espera-se, então, que as atividades didáticas sirvam, entre outros objetivos, para evidenciar as relações entre os conceitos fundamentais abordados nas disciplinas de Ciências da Natureza, como a Física e a Química, e as diversas disciplinas das Ciências Humanas, como a História e a Filosofia, integrando-as com as artes.

Nesses termos, a História da Ciência tem sido vista como uma necessidade na metodologia STEAM, com a perspectiva de promover a empatia pelas atividades dos cientistas e melhorar a compreensão de sua dimensão humana. De acordo com Clifford e Zaman (2016), espera-se que essa corrente educacional proporcione a integração das dimensões entre

Os docentes podem realizar uma transição do modelo de ensino departamentalizado para um modelo mais integrado, em que os professores não são apenas os especialistas em um único assunto, mas também têm a responsabilidade adicional de orientar seus alunos em pelo menos outro assunto, construindo interações com outras áreas de interesse aos estudantes.

a Ciência e a sociedade, possibilitando a construção de um ambiente escolar mais colaborativo ao fomentar o interesse dos alunos e estimular a sua criatividade para a resolução de problemas em seu cotidiano.

Diante desse contexto e da necessidade de mudança dos paradigmas nos ambientes de aprendizagens das instituições educacionais, este trabalho propõe ilustrar o modelo saturniano de Hantaro Nagaoka (1865-1950), por meio de uma abordagem histórica e contextualizada, levando em consideração os aspectos culturais que envolveram a formação científica do Japão no período Meiji, e para sua aplicação em uma proposta metodológica STEAM.

O modelo atômico proposto por Nagaoka em 1904 foi publicado na revista científica *Philosophical Magazine* com o título de “Kinetics of a System of Particles Illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity”. De acordo com esse modelo, os elétrons com carga negativa estavam localizados na parte externa do átomo. Ficou conhecido como modelo atômico saturniano, pois o átomo teria uma estrutura muito parecida com o planeta: a posição dos elétrons seria análoga à dos anéis de Saturno. Nagaoka notabilizou-se por ser o pioneiro da Física japonesa durante o período Meiji (1868-1912), quando o positivismo como método de estudo nos mais diversos campos ganhou destaque na sociedade (Calazans, 2017). A relação entre o contexto histórico e social do Japão na virada do século XX com o desenvolvimento científico no campo da Física e da Química, envolvendo a

biografia de Nagaoka, e sua relação com o positivismo político e científico da época, pode ser apresentada como uma ferramenta metodológica envolvendo o modelo STEAM de aprendizagem, utilizando o desenvolvimento dos modelos atômicos para uma discussão sobre a evolução da Ciência.

O positivismo no Japão e seu impacto no desenvolvimento científico

O positivismo surgiu como uma corrente filosófica na primeira metade do século XIX na França, ganhando com o passar do tempo relevância na Europa e no mundo ocidental. Entre seus expoentes estavam os pensadores Auguste Comte e John Stuart Mill. O positivismo como uma linha filosófica, no sentido amplo de sua definição, implicou na doutrina de que é preciso recorrer às Ciências, ao pensamento científico, para conhecer algo sobre qualquer tema que fosse objeto de conhecimento do ser humano. Nesse contexto, as informações fora das Ciências não seriam úteis ou relevantes para a sociedade (Laird, 1939).

Essa filosofia ocidental foi introduzida no Japão com a ajuda de Nishi Amane (1829-1897), nomeado pelo governo japonês como um especialista em estudos ocidentais, que

adaptou os princípios filosóficos do positivismo ao contexto japonês de sua época. Amane preocupou-se em estabelecer os limites, dentro do pensamento oriental, entre o que era nacional e o que era estrangeiro, com a perspectiva de prover às gerações posteriores os instrumentos necessários para desenvolver uma autêntica filosofia japonesa que integrasse a ocidental e a oriental. O empirismo dessas ideias também influenciou a própria Ciência japonesa no início do século XX. O empirismo se baseia no princípio da verificação, sendo que apenas as declarações verificáveis, por meio da observação ou de uma prova lógica, podem ser significativas aos conhecimentos analisados (Laird, 1939; Santos, 2013).

Historicamente, o que ocasionou maior incorporação das importações de tecnologias e ideias do Ocidente foi a Restauração Meiji, que ocorreu a partir de 1868. Essa mudança política no Japão deu poder absoluto ao imperador, levando ao fim do regime feudal japonês, o Shogunato, e fazendo com que o país tivesse maior influência ocidental. O regime feudal existiu por mais de 250 anos no país, porém as transformações políticas em nível mundial, aproximando as nações, juntamente com as pressões econômicas e sociais, principalmente as americanas, fizeram com que o último Shogun assinasse o tratado de Kanagawa em 1854, estabelecendo o livre comércio com as potências econômicas da época. Assim, teve início o período da modernização e da influência ocidental no Japão.

Entretanto, as tradições feudais e de hierarquia japonesas permaneceram até a conclusão da Segunda Guerra Mundial. Com a decadência do Shogunato, houve a abertura dos portos para o mundo, o que culminou nas transformações do regime teocrático do governo do Imperador Meiji, envolvendo uma grande reforma agrária e a promulgação da Constituição de 1889. Isso ocasionou certo conflito entre a sociedade e o indivíduo, e havia uma censura aos autores japoneses, que não tinham a devida liberdade para escrever sobre temas delicados que ameaçassem a manutenção do *status quo*. Porém, teve início uma intervenção do novo Estado sobre a economia e, assim, o Japão iniciou-se no capitalismo, com a criação de indústrias e universidades. Firmou-se um outro sistema político, abolindo-se os direitos feudais dos clãs e estabelecendo-se uma monarquia constitucional.

É importante destacar que na Era Meiji houve a formação dos grandes conglomerados empresariais, tais como a Mitsubishi, a Yasuda, o Sumitomo, a Mitsui, presentes até os dias de hoje. Seus fundadores foram os próprios clãs familiares que detinham uma grande influência na Era Meiji (Lopes, 2009).

No nível internacional, com a vitória na Guerra Russo-Japonesa em 1905, os japoneses esperavam maior igualdade no tratamento em relação às potências ocidentais, e passar a desfrutar dos benefícios políticos e comerciais que outros

países tinham; contudo, isso não ocorreu. Como consequência houve, no início do século XX, uma onda de movimentos nacionalistas japoneses, os quais foram replicados por intelectuais, ajudando na criação dos discursos que objetivavam fortalecer a política estatista na conjuntura japonesa em transformação (Nunes, 2013; Okamoto, 2013).

No ano de 1871, teve início uma missão diplomática denominada de Iwakura, a qual tinha como objetivo coletar os conhecimentos de sucesso em prática no Ocidente e estabelecê-los em solo japonês, especialmente nos campos da educação, da tecnologia, da economia, para a defesa bélica e também na cultura, tendo como perspectiva modernizar o Japão. Essa iniciativa levou à criação de universidades imperiais e ao surgimento do “zaibatsu”, que são os conglomerados empresariais originados dos clãs familiares. Esses conglomerados, conhecidos pela forte burocracia, assim como os novos sistemas bancários, foram

criados para que o país conseguisse seu rápido crescimento econômico e científico (Low, 2005).

Quanto ao desenvolvimento da Ciência japonesa, ressalta-se que, em meados do século XIX, os estudiosos tentaram conciliar os conceitos neoconfucionistas de homem e de Natureza, equiparando à Ciência ocidental a “kyuri”, um dos conceitos da filosofia Chu Hsi, para compreender o “ri”, a razão que permeia a natureza. Com a adoção da Ciência ocidental no período Meiji, o termo “kyurigaku” tornou-se “butsurigaku” (estudo racional da matéria), ou física. Nessa perspectiva, a Alemanha foi considerada como modelo acadêmico durante esse período, intensificando o interesse pelas bolsas de estudos alemãs nos anos 1880. Após a vitória do Japão na Guerra Sino-Japonesa (1894-1895), o acesso às instalações de pesquisa industriais europeias tornou-se mais difícil, obrigando as empresas japonesas a estabelecerem suas próprias instalações de pesquisa em seu território. A educação e a pesquisa científica dependiam do setor público, e os cientistas foram, então, considerados funcionários do governo. A maioria dos físicos tinha influência dos oficiais samurais confucionistas, enquanto os químicos foram influenciados pela medicina chinesa. O físico japonês era, portanto, um membro da elite social, formado entre os confucionistas clássicos, urbano, e dependente do suporte governamental para suas atividades de pesquisa. Após a Restauração Meiji, essa ênfase nos estudos chineses diminuiu, dando lugar ao aprendizado ocidental (Low, 2005).

No período Meiji, a Ciência e a tecnologia foram mobilizadas sob uma ideologia destinada a construir um estado-nação. A colisão entre a moral confucionista e a Ciência ocidental foi evitada pela propagação de *slogans* como “moralidade oriental, formas de arte ocidentais”. O objetivo principal era seguir a Ciência ocidental de perto, para que

Historicamente, o que ocasionou maior incorporação das importações de tecnologias e ideias do Ocidente foi a Restauração Meiji, que ocorreu a partir de 1868. Essa mudança política no Japão deu poder absoluto ao imperador, levando ao fim do regime feudal japonês, o Shogunato, e fazendo com que o país tivesse maior influência ocidental.

esse conhecimento pudesse ser aplicado na construção de um Estado moderno japonês, priorizando-se as ciências de utilidade pública, como a geografia, a metrologia, a meteorologia, o saneamento e os transportes (Low, 2005).

Após as fundações das Universidades em solo japonês, os professores estrangeiros foram sendo rapidamente substituídos pelos estudantes japoneses quando retornavam do exterior após seus estudos, constituindo uma elite científica de japoneses. No ano de 1872, havia mais de 380 estudantes japoneses cursando as mais diversas áreas no exterior, bem como incentivo à tradução de livros para uso nas Universidades recém-criadas. Essa política de fomento ao conhecimento ocidental garantiu o crescente desenvolvimento tecnológico do Japão, e o deixou independente dos países ocidentais com relação à ciência.

Contudo, após o falecimento do imperador teve início uma nova Era em solo japonês, a Taisho (1912-1926), que, apesar de sua curta duração, foi fundamental para um grande desenvolvimento das indústrias japonesas, dentre elas várias relacionadas a processos químicos, como a Hodogaya Soda Co., a Akita Refinaria de Óleo do Japão e a Shinagawa da Mitsui & Co, esta última importante produtora de baquelite, matéria-prima fundamental para o desenvolvimento de utensílios para o novo estilo de vida japonês. Também no Período Taisho foram criadas as principais organizações científicas e realizadas as primeiras conferências científicas de nível internacional no Japão. Uma delas contou com a presença de Albert Einstein, ajudando a impulsionar ainda mais os estudos na área de Física.

Hantaro Nagaoka (1865-1950)

Nagaoka foi um dos mais importantes e respeitados cientistas do Japão. Nasceu na cidade de Omura, na província de Nagasaki, em 15 de agosto de 1865 e faleceu na capital Tóquio no dia 11 de dezembro de 1950. Participou ativamente da evolução da Ciência no Japão, que teve início na Era Meiji, o período no qual o Japão estava sob o governo do Imperador Mutsuhito (1852-1912). Nagaoka graduou-se em Física em 1887 pela Universidade de Tóquio, instituição em que posteriormente atuou como docente por mais de 25 anos, ajudando a implantar a pesquisa na área de Física no Japão. A Figura 1 apresenta uma fotografia comemorativa de Nagaoka, indício de seu reconhecimento na área da Ciência.

Após ingressar na Universidade de Tóquio em 1882, trancou matrícula na faculdade por um ano, tão logo concluiu seu primeiro período letivo, antes da escolha de sua especialização, para um momento de reflexão sobre como deveria observar a Ciência. Sua aptidão para reflexões filosóficas

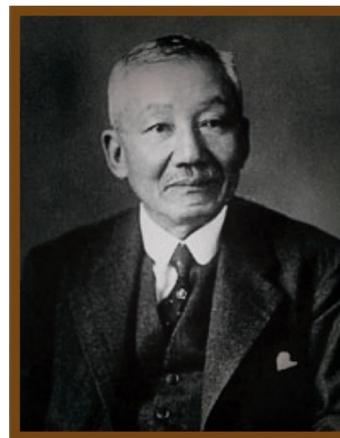


Figura 1: Fotografia de Hantaro Nagaoka pertencente à Sociedade Científica Japonesa. Licenciada sob domínio público, via Wikimedia Commons. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hantaro_Nagaoka.jpg>. Acesso em jul. 2020.

sobre ideias científicas que vinham sendo implantadas no Japão posteriormente o orientou sobre como relacionar os estudos orientais de pesquisa científica em conformidade com a ciência ocidental. Nesse período também estudou profundamente a filosofia chinesa, particularmente o ceticismo de Chuang Tzu ou Zhuangzi (séc IV a.C). Pretendia, assim, verificar se os orientais poderiam ter ideias originais comparáveis às dos ocidentais. Analisando os conceitos de Yin e Yang, de luz e sombra, positivo e negativo, Nagaoka entendeu que a explicação dada para fenômenos eletromagnéticos por meio dessa dualidade se aproximava muito da praticada pela ciência ocidental. Assim, estudando a história da ciência chinesa, convenceu-se de que os asiáticos poderiam até mesmo realizar estudos de qualidade superior em relação aos feitos pelos europeus, nos campos da astronomia e outras ciências naturais (Greenberger *et al.*, 2009).

Em setembro de 1884, Nagaoka, aos dezenove anos, retomou os estudos formais na Universidade de Tóquio e especializou-se em Física. Sua análise comparativa das particularidades dos europeus e americanos e dos japoneses continuou ocorrendo por toda sua carreira. Aos 74 anos de idade, escreveu, em seu diário, que os ocidentais costumavam travar embates de ideias e

concepções científicas, mas não levavam tais controvérsias às relações pessoais, ao contrário do que ocorria entre os japoneses (Greenberger *et al.*, 2009).

Em 1890, Nagaoka assumiu o posto de professor assistente na Universidade Imperial de Tóquio. Foi para a Alemanha, onde permaneceu de 1893 a 1896, para aprimorar seus conhecimentos em Física sob a supervisão de Ludwig Boltzmann. Segundo Lopes (2009), seus estudos na Europa contribuíram para seu interesse em estudar a teoria atômica,

Após as fundações das Universidades em solo japonês, os professores estrangeiros foram sendo rapidamente substituídos pelos estudantes japoneses quando retornavam do exterior após seus estudos, constituindo uma elite científica de japoneses. No ano de 1872, havia mais de 380 estudantes japoneses cursando as mais diversas áreas no exterior, bem como incentivo à tradução de livros para uso nas Universidades recém-criadas.

discutindo a proposta do átomo impenetrável e a atração química com Boltzmann. Nesse período fez diversas contribuições relevantes em eletromagnetismo, publicando trabalhos pioneiros sobre o magnetismo do níquel e coeficientes de indutância de solenoides. Atuou também em outras áreas da Ciência, como a geofísica, realizando pesquisas aplicadas para alertas e prevenção de terremotos, e estudando seus mecanismos para o reconhecimento de padrões do campo magnético terrestre. Ao longo de sua carreira, reforçou o vínculo entre a ciência e a engenharia, especialmente para antecipar soluções em emergências, fato comum em um país de poucos recursos naturais e situado ao longo do “círculo de fogo”. Propôs a expansão da “pesquisa geral”, que concentra um grande número de pesquisadores para o mesmo objetivo, de maneira a resolver rapidamente problemas nacionais importantes. Esse foco no utilitarismo científico parece estar de acordo com o estatismo, pensamento com bases nacionalistas que eram predominantes em sua geração de cientistas (Greenberger *et al.*, 2009).

Ocupou posições relevantes na academia japonesa, tendo sido o primeiro reitor da Universidade Imperial de Osaka (1931-1934), membro da Academia Imperial (1934-1947) e presidente da Sociedade Japonesa para a Promoção da Ciência (1939-1947). Foi “avô” acadêmico de Hideki Yukawa, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1949.

Um de seus trabalhos acadêmicos mais comentados foi aquele que serviu de contraponto ao modelo atômico proposto por Thomson no ano de 1897, no qual descreveu a elaboração de um modelo atômico inspirado na estabilidade dos anéis de Saturno. Esse modelo conseguia explicar as emissões atômicas observadas nos experimentos e, posteriormente, foi de algum modo reforçado pelos experimentos de Rutherford no ano de 1909. Contudo, na época, tal explicação não foi levada muito a sério, especialmente numa época de hegemonia do empirismo e positivismo científico ocidental.

Como curiosidade, em uma entrevista realizada em 1948, Nagaoka confessou que foi reprovado em uma série do ensino fundamental, assumindo que, embora não fosse um garoto problemático no comportamento e se interessasse por geografia e história, não era particularmente esperto o suficiente naquele período. Esse relato serve, também, para refutar alguns mitos que constam em livros didáticos e de divulgação científica, em torno da figura do cientista, como alguém inquestionável. Muitas vezes, tais textos desvalorizam o trabalho científico, ao apresentar as descobertas como resultado do acaso (L’Annunziata, 2016; Moura e Canalle, 2001).

O modelo atômico saturniano de Nagaoka

Em meados do século XX, elaborar um modelo que

Um de seus trabalhos acadêmicos mais comentados foi aquele que serviu de contraponto ao modelo atômico proposto por Thomson no ano de 1897, no qual descreveu a elaboração de um modelo atômico inspirado na estabilidade dos anéis de Saturno. Esse modelo conseguia explicar as emissões atômicas observadas nos experimentos e, posteriormente, foi de algum modo reforçado pelos experimentos de Rutherford no ano de 1909.

pudesse explicar a estrutura da matéria era interesse de muitos pesquisadores, mesmo que, paradoxalmente, a realidade dos átomos fosse matéria controversa para muitos cientistas. Segundo Fiolhais e Ruivo (1996), existia um grande grupo de pesquisadores nesse período que aceitavam a hipótese atômica, contudo havia outros que resistiam em aceitar uma estrutura corpuscular para a matéria. Dentre estes cientistas, podemos citar o químico Wilhelm Ostwald, ganhador de prêmio Nobel, e o físico Ernest Mach. O próprio Max Planck somente aceitou a existência do átomo quando houve a necessidade de demonstrar

sua teoria da radiação. No ano de 1903, na Universidade de Yale, nos Estados Unidos, Joseph John Thomson sugeriu um modelo atômico em sua Silliman Lecture. No mesmo ano em que Thomson apresentou seu modelo, Hantaro Nagaoka palestrava na Sociedade de Física-Matemática em Tóquio, introduzindo seu modelo saturniano.

No ano de 1904, tanto o trabalho de Thomson quanto o de Nagaoka foram publicados no mesmo volume do *Philosophical Magazine*, e ambos os pesquisadores tentaram explicar a ocorrência das linhas espectrais para o átomo. Em seu trabalho, Nagaoka (1904a) apresentou o modelo de um átomo formado por um “caroço” central rodeado por anéis constituídos por partículas que giravam com mesma velocidade angular, tal como no planeta Saturno. Nagaoka já sabia das limitações que seu modelo apresentava em relação à estabilidade do átomo. O problema era semelhante ao descrito por Rutherford, e somente seria sanado através da mecânica quântica. No final do artigo, Nagaoka comentou:

[...] há vários problemas que possivelmente poderão ser estudados na hipótese do sistema de Saturno, tais como a afinidade química e a valência, a eletrólise e muitas outras matérias ligadas a átomos e moléculas. O cálculo grosseiro e a exposição pouco aprofundada que fiz de muitos fenômenos podem servir de sugestão para uma solução mais completa da estrutura atômica (Nagaoka, 1904a, p. 455).

Os espectros atômicos observados seriam explicados pela correlação com a frequência de órbita do elétron. A radioatividade, por outro lado, foi interpretada como uma quebra ocasional dos anéis saturnianos, de maneira que os elétrons fossem ejetados dos átomos como raios β . O sistema, então, consistiria em um grande número de partículas de massa igual, dispostas em círculo em intervalos angulares iguais, repelindo-se com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância. No centro do círculo, existiria uma partícula de grande massa atraindo as outras. Se os elétrons girassem com a mesma velocidade em torno do

centro de atração, o sistema poderia permanecer estável, mesmo frente a pequenas perturbações, desde que a força de atração fosse suficiente. Contudo, a comunidade científica reagiu negativamente ao modelo proposto, principalmente pelo fato de Nagaoka não ter apresentado uma explicação convincente para a estabilidade atômica, uma vez que cargas em movimento circular deveriam perder energia por emissão de ondas eletromagnéticas.

O modelo de Nagaoka apresentava uma oscilação instável dos elétrons ao redor do núcleo, devido à ocorrência de amplitudes de oscilação crescentes, colapsando o átomo. Por outro lado, o modelo de Thomson, devido à carga positiva estar distribuída por toda a estrutura do átomo e os elétrons circulando pelo seu interior, cria uma força de ação restauradora, sendo equivalentes aquelas dispostas às mesmas distâncias em relação ao centro do átomo, diferente do que ocorre com o modelo saturniano. O modelo de Thomson, por esse motivo, era capaz de explicar inúmeros fenômenos, tais como a dispersão de raios X, a absorção da luz, a emissão de radiação, etc. Esses problemas estruturais do átomo de Nagaoka o levaram a abandonar o modelo saturniano em 1908 (Nagaoka, 1904b; Fiolhais e Ruivo, 1996; Ito, 2018).

De acordo com Vasconcelos e Forato (2018), temos aqui um momento importante para ilustrar historicamente como a Ciência evolui, seus debates filosóficos e a influência do momento histórico da época nessas concepções:

Naquele momento, era necessário um modelo estável para a explicação de outros fenômenos químicos. Esse modelo de Thomson começou a ser questionado depois dos experimentos sobre o bombardeamento de partículas alfa. Hoje, mediante os modelos atuais, os estudantes podem estranhar a ideia do átomo como um pudim de massa positiva, com partículas elétricas negativas deslocando-se em seu interior. Desse modo, perpassando diferentes modelos, pode-se discutir o caráter provisório da ciência, a não linearidade, a adequação de diferentes concepções aos seus contextos históricos, dentre outros fatores que problematizam o anacronismo (Vasconcelos e Forato, 2018, p. 859).

Nagaoka foi observando as hipóteses sobre a matéria e constituindo seu modelo atômico. Em 1911, em uma conferência na Europa, visitou o laboratório de Rutherford em Manchester, e pode observar o equipamento experimental utilizado nas experiências da dispersão de partículas α desenvolvido por Geiger, Marsden e Rutherford. No artigo “The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom”, publicado no periódico *Philosophical Magazine*

em maio de 1911, Rutherford faz menção ao modelo atômico saturniano de Nagaoka. De acordo com Chaves *et al.* (2014), nessa publicação Rutherford não mencionou a palavra *núcleo* para nomear a carga central do átomo, deixando somente uma hipótese em relação à natureza elétrica para o centro atômico, não descrevendo sua constituição como positiva ou negativa. As menções históricas demonstram que a ideia de um modelo atômico com características planetárias não foi uma proposta isolada de Rutherford, mas de diversos pesquisadores. Contudo, no ano de 1911 não se tinha ainda muita clareza sobre o modelo.

Uma proposta didática STEAM de discussões do modelo saturniano de Nagaoka para o Ensino Médio

Retornando à educação STEAM, é preciso que a aprendizagem de Ciências da Natureza vá além dos conteúdos conceituais, buscando uma melhor contextualização social, cultural e ambiental para estes conhecimentos. Assim, entende-se que se deve apresentar o contexto histórico na construção das teorias atômicas, tanto dos modelos já comumente conhecidos, como os de Thomson, Rutherford e Bohr, quanto do modelo proposto por Nagaoka, este desconhecido do grande público e raramente citado nos livros didáticos (Chaves *et al.*, 2014), tanto para o nível médio quanto para o superior. Dessa forma, é uma ferramenta relevante para se discutir os conflitos filosóficos entre as escolas oriental e ocidental, e

como elas promoveram os avanços científicos.

Para envolver maior participação dos alunos nesta temática, é proposta a elaboração de maquetes dos modelos atômicos, deixando a critério dos próprios alunos quais materiais devam ser empregados para a sua confecção. O docente deve informar claramente a necessidade de inserir, quando da construção desses modelos, as indicações de datas, nomes e os contextos históricos, através de apresentações em grupo para cada modelo a ser retratado em sala de aula. Nesse momento de construção, é indicado para cada grupo “defender” a sua teoria e explicar os motivos para que tivessem essa concepção em relação à teoria atômica e ao seu modelo atômico. O grupo seguinte apresenta os argumentos referentes ao seu modelo e ao anterior. O enriquecimento das apresentações pode se dar através do uso do teatro, com figurinos, falas, objetos que envolvam a época relatada. Essa proposta mais lúdica, empregando a abordagem STEAM, pode envolver os alunos a observarem como a Ciência evolui em diferentes contextos sociais e relacionada com as observações experimentais e os métodos desenvolvidos na época. Nos diálogos presentes nas apresentações teatrais, os grupos podem descrever fatos mundiais que foram importantes para

Para envolver maior participação dos alunos nesta temática, é proposta a elaboração de maquetes dos modelos atômicos, deixando a critério dos próprios alunos quais materiais devam ser empregados para a sua confecção. O docente deve informar claramente a necessidade de inserir, quando da construção desses modelos, as indicações de datas, nomes e os contextos históricos, através de apresentações em grupo para cada modelo a ser retratado em sala de aula.

a sociedade naquele determinado período de tempo, como, por exemplo, a descoberta da eletricidade, da radiação, dos motores, etc. e a sua relação com a teoria atômica.

Diante desses cenários, as inserções políticas e filosóficas devem ser retratadas. Ao explicitar o caso da Ciência japonesa por meio das contribuições de Nagaoka, espera-se que os estudantes possam então compreender as relações político-científicas do Japão com os demais países no período mais influente do positivismo. Como resultado final, esta proposta deve levar aos alunos o contexto da Ciência, e elucidar a importância de humanizar o trabalho do cientista e, assim, ajudar a compreender a construção científica como um processo.

A elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações. No Ensino Médio, o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos (Brasil, 2018). Propor uma atividade mais participativa aos alunos pode ajudar para que estas observações sejam mais bem compreendidas.

Os conhecimentos conceituais associados a essa temática constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir situações-problemas que emergem de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os nas resoluções de problemas individuais, sociais e ambientais (Brasil, 2018).

Entre as habilidades específicas para o ensino das ciências naturais, temos aquela que trata especificamente dos modelos atômicos. A proposta de educação STEAM de Corlu *et al.* (2014) oferece uma justificativa para o desenvolvimento de projetos de pesquisa interdisciplinares realizados pelos alunos nas salas de aula, envolvendo professores de diferentes disciplinas, tais como Física, Artes, etc. Assim, criam-se

situações pedagógicas que integram os conteúdos das ciências naturais, humanas e artes, trabalhando sobre a tríade ciência-tecnologia-sociedade.

Considerações finais

Segundo tendências atuais da educação baseadas na perspectiva STEAM, é importante estimular estudantes socialmente conscientes, ainda que demonstrem pouco interesse e foco nas Ciências da Natureza e suas tecnologias. O emprego de contexto histórico, como de Hantaro Nagaoka, relacionado com a perspectiva da ciência japonesa, pode ser valioso também para inserir no ambiente escolar um

ensino voltado para os princípios éticos e políticos, evidenciando a sua importância para as novas descobertas científicas e a pluralidade de opiniões da sociedade. Em vez das atividades didáticas se concentrarem exclusivamente no rigor da história e nas personalidades, o foco da metodologia STEAM, neste caso, é tornar a ciência mais acessível por meio de conexões com outros campos,

como a filosofia e a política, ilustrando a pluralidade cultural e a importância do meio social no mundo científico. A metodologia STEAM pode facilitar a compreensão por parte dos alunos de que a Ciência é acessível à sociedade, e os indivíduos que fazem a Ciência, nesta grande cadeia de saberes, podem apresentar sucessos e fracassos em suas descobertas. Observamos na história de Hantaro Nagaoka, assim como dos demais pesquisadores envolvidos nesse tema, o quão importante é investirmos em Ciência, e o quanto ela é importante para a sociedade.

Em vez das atividades didáticas se concentrarem exclusivamente no rigor da história e nas personalidades, o foco da metodologia STEAM, neste caso, é tornar a ciência mais acessível por meio de conexões com outros campos, como a filosofia e a política, ilustrando a pluralidade cultural e a importância do meio social no mundo científico.

Referências

- BYBEE, R. W. Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, v. 70, n. 1, p. 30-35, 2010.
- BRASIL, Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Brasília: MEC, 2018.
- CALAZANS, E. L. B. A construção do direito internacional como disciplina jurídica no Japão sob a influência eurocêntrica: da Era Edo (1603-1868) à Era Showa (1926-1989). *Seqüência*, v. 38, n. 77, p. 89-120, 2017.
- CHAVES, L. M. M. P.; SANTOS, W. L. P. e CARNEIRO, M. H. S. História da ciência no estudo de modelos atômicos em livros

didáticos de química e concepções de ciência. *Química Nova na Escola*, v. 36, n. 4, p. 269-279, 2014.

CILLERUELO, L. e ZUBIAGA, A. Una aproximación a la educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. *Jornadas de Psicodidáctica*, 2014. Disponível em: <https://www.augustozubiaga.com/web/wp-content/uploads/2014/11/STEM-TO-STEAM.pdf>, acesso em abr 2021.

CLIFFORD, K. L. e ZAMAN, M. H. Engineering, global health, and inclusive innovation: focus on partnership, system strengthening, and local impact for SDGs. *Global Health Action*, v. 9, p. 1-6, 2016.

- CORLU, M. S.; CAPRARO, R. M. e CAPRARO, M. M. Introducing STEM education: implications for educating our teachers for the age of innovation. *Education and Science*, v. 39, n. 171, p. 74-85, 2014.
- GREENBERGER, D.; HENTSCHEL, K. e WEINERT, F. *Compendium of quantum physics*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- FIOLHAIS, M. e RUIVO, M. C. O modelo atômico saturniano de Nagaoka. *Gazeta de Física*, v. 19, n. 1, p. 6-10, 1996.
- ITO, K. "Electron Theory" and the emergence of atomic physics in Japan. *Science in Context*, v. 31, n. 3, p. 293-320, 2018.
- LAIRD, J. Positivism, empiricism, and metaphysics. *Meeting of the Aristotelian Society*, v. 39, n. 1, p. 207-224, 1939.
- L'ANNUNZIATA, M. F. *Radioactivity: introduction and history, from the quantum to quarks*. 2 ed. New York: Elsevier, 2016.
- LOPES, C. V. M. *Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica*. Tese (Doutorado), História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.
- LOW, M. *Science and the Building of a New Japan*. New York: Palgrave MacMillan, 2005.
- NAGAOKA, H. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. *Philosophical Magazine*, v. 7, n. 6, p. 445-455, 1904a.
- NAGAOKA, H. On a dynamical system illustrating the spectrum lines and the phenomena of radio-activity. *Nature*, v. 69, p. 392-393, 1904b.
- NUNES, G. P. Uma sucinta exposição da noção de honra no Bushidô de Nitobe. *Estudos Japoneses*, v. 33, n. 1, p. 22-34, 2013.
- MOURA, R. e CANALLE, J. B. G. Os mitos dos cientistas e suas controvérsias. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 238-251, 2001.
- OKAMOTO, M. S. O realismo-naturalismo de Stendhal e Shimazaki Tôson: uma análise psicológica das personagens centrais Julien e Ushimatsu. *Estudos Japoneses*, v. 33, n. 1, p. 45-61, 2013.
- SANTOS, S. O. *A integração oriente-ocidente e os fundamentos do judô educativo*. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2013.
- SANTOS, C. M. e COLOMBO-JÚNIOR, P. D. Interdisciplinaridade e educação: desafios e possibilidades frente à produção do conhecimento. *Revista Triângulo*, v. 11, n. 2, p. 26-44, 2018.
- SILVA, L. A. B.; MATOS, D. V.; THIELE, A. L. P. e RAMOS, M. G. A interdisciplinaridade na escola: dificuldades e desafios no ensino de ciências e matemática. *Signos*, v. 38, n. 1, p. 9-23, 2017.
- SILVA, I. O.; ROSA, J. E. B.; HARDOIM, E. L. e GUARIMNETO, G. Educação científica empregando o método STEAM e um makerspace a partir de uma aula-passeio. *Latin American Journal of Science Education*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2017.
- VASCONCELOS, S. S. e FORATO, T. C. M. Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 35, n. 3, p. 851-887, 2018.

Abstract: *Hantaro Nagaoka and the saturnian atomic model*. This article describes the influence of Japanese positivism on the life of physicist Hantaro Nagaoka (1865-1950) and his saturnian atomic model. The model was illustrated resembling Saturn and its rings, in which the electrons revolved around the nucleus. Its history can be inserted in a pedagogical perspective by means of a STEAM approach (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics), being appropriate to be worked on in high school, in view of the growing demand for curricular integration in normative documents. It is expected that students' motivation for learning chemistry will be increased, promoting their identification with the activities of scientists and the understanding of science as a human enterprise.

Keywords: Hantaro Nagaoka, saturnian atomic model, STEAM education.