

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, C; MOUATT, S. The information revolution, information systems and the 6th Kondratieff cycle. In: MCIS 2010 **Proceedings**, Paper 3. Tel-Aviv-Yafo, Israel, 2010.

AHMAD, K.; GILLAM, L. Automatic Ontology Extraction from Unstructured Texts. In: 2005 OTM CONFEDERATED INTERNATIONAL CONFERENCE ON ON THE MOVE TO MEANINGFUL INTERNET SYSTEMS: COOPIS, COA, AND ODBASE **Proceedings** – v.II, p. 1330-1346. Disponível em: <[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11575801\\_25](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11575801_25)> Acesso em: 31 Mar. 2014.

ALLIANZ GLOBAL INVESTORS. **The sixth Kondratieff – long waves of prosperity**. Frankfurt: Allianz, 2010. Disponível em: <[https://www.allianz.com/v\\_1339501901000/media/press/document/kondratieff\\_en.pdf](https://www.allianz.com/v_1339501901000/media/press/document/kondratieff_en.pdf)>. Acesso em: 31 Mar. 2014.

ANTIQUEIRA, L. et al. Modelando Textos como Redes Complexas. In: XXV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO III WORKSHOP EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E DA LINGUAGEM HUMANA – TIL. **Anais**, p.2089-2098, São Leopoldo, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/til/2005/008.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BAGGOTT, J. **The quantum story: a history in 40 moments**. Oxford: Oxford University Press, 2011.

BARABASI, A.L. **Linked: The new science of networks**. Cambridge, Mass: Perseus Pub, 2002.

BARABASI, A.L et al. Lethality and centrality in protein networks. **Nature**, London, n.411, p. 41-42, 2001. Disponível em: <[http://www.barabasilab.com/pubs/CCNR-ALB\\_Publications/200105-03\\_Nature-ProteinNetworks/200105-03\\_Nature-ProteinNetworks.pdf](http://www.barabasilab.com/pubs/CCNR-ALB_Publications/200105-03_Nature-ProteinNetworks/200105-03_Nature-ProteinNetworks.pdf)> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BARABÁSI, A.-L. & ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, Washington, v. 286, n. 5439 pp. 509-512, 1999. Disponível em <<http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9910332.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BASSET et al. Dynamic reconfiguration of human brain networks during learning. **PNAS**, Washington, v.108, n.18, p.7641-7646, 2011. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1010.3775v2>> Acessado em: 31 Mar. 2014

BENIGER, J. R. **The control revolution: technological and economic origins of the information society**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1986.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física**. Brasília: Ministério da Educação/Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior, 2001.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2006.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Programa Ensino Médio Inovador. Documento Orientador**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Matriz de Referência para o ENEM 2009**. Brasília: Ministério da Educação/Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012 : Física**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2011.

BRODER, A. et al. Graph structure in the web. In: 9th International World Wide Web Conference, **Proceedings**. Amsterdam, 2000. Disponível em <<http://www9.org/w9cdrom/160/160.html>> Acesso em 31 Mar. 2014.

BRUNER, J. S. **O processo da educação**. São Paulo: Nacional, 1973.

BRUNN, J. **Networks in Physics Education Research – A Theoretical Methodological and Didactical Exploration Study**. 2012. 192 f. Tese (Science Education PhD) - Department of Science Education, University of Copenhagen, Copenhagen, 2012. Disponível em: <[http://www.academia.edu/4269588/Networks\\_in\\_Physics\\_Education\\_Research\\_-\\_A\\_Theoretical\\_Methodological\\_and\\_Didactical\\_Exploration\\_Study](http://www.academia.edu/4269588/Networks_in_Physics_Education_Research_-_A_Theoretical_Methodological_and_Didactical_Exploration_Study)> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BUCHANAN, M. **O Átomo Social** São Paulo: Leopardo Editora, 2010.

CAÑAS, A. J. et al. **A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support**. The Institute for Human and Machine Cognition. Pensacola, EUA, 2003. Disponível em <<http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/ConceptMapLitReview/IHMC%20Literature%20Review%20on%20Concept%20Mapping.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014

CANATO JR., O. **Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física). Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

\_\_\_\_\_. Integração de atividades virtuais e presenciais no ensino de Física. MOODLE MOOT BRASIL 2010. **Anais**. São Paulo, 2010. Disponível em

<[http://www.moodlemoot.com.br/2012/wp-content/uploads/2012/08/MoodleMoot\\_Brasil\\_2010.pdf](http://www.moodlemoot.com.br/2012/wp-content/uploads/2012/08/MoodleMoot_Brasil_2010.pdf)> Acesso em 31 Mar. 2014

\_\_\_\_\_. Construindo redes de conhecimento a partir da Física Moderna e Contemporânea em estágios orientados. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. **Anais**. Foz do Iguaçu, Brasil, 2011.

CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

\_\_\_\_\_. A Física Moderna e Contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. **Anais**. Florianópolis, Brasil, 2009. Disponível em <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/590.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

\_\_\_\_\_. Física Moderna e Contemporânea e aprendizado em rede. In: VI ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Anais**. São Paulo, 2011. Disponível em <[http://web.if.usp.br/cpgi/sites/default/files/Caderno\\_VIEPPGEC\\_2011.pdf](http://web.if.usp.br/cpgi/sites/default/files/Caderno_VIEPPGEC_2011.pdf)> Acesso: 31 Mar. 2014.

\_\_\_\_\_. A Física Quântica como conhecimento em rede no ensino de física. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. **Anais**. Maresias, Brasil, 2012.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede. (A era da informação: economia, sociedade e cultura)**. São Paulo: Paz e Terra, 1999, v.1.

\_\_\_\_\_. **Comunicación y poder**. Madri: Alianza Editorial, 2009.

CHRISPINO, A. et al. A área CTS no Brasil vista como rede social: onde aprendemos? **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v.19, n.2, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132013000200015&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132013000200015&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 31 Mar. 2014.

CISCO. Connections Counter: The Internet of Everything in Motion. **The Network, Cisco's Technology News Site, 2013**. Disponível em: <<http://newsroom.cisco.com/feature-content?type=webcontent&articleId=1208342>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. **Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia**. São Paulo: Ed. 34, 1995, v.1.

DEMO, P. **Complexidade e aprendizagem: a dinâmica não linear do conhecimento**. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_. **Visões e fundamentos da aprendizagem em rede**. Blog do Prof. Pedro Demo, 2011. Disponível em <<http://pedrodemo.blogspot.com.br/2014/01/alter28-visoes-e-fundamentos-da.html>> Acesso em 31 Mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Educação, Avaliação Qualitativa e Inovação - I**. Textos para Discussão. Brasília, DF: INEP, 2012. Disponível em

<[http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B9CE8A069-41E9-42BC-BF85-32CF01E43CB8%7D\\_Td%2036.pdf](http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B9CE8A069-41E9-42BC-BF85-32CF01E43CB8%7D_Td%2036.pdf)>. Acesso em 31 Mar. 2014.

FRANCO, A.; LESSA, N. **Porque as plataformas de aprendizagem não são boas e o que fazer para melhorá-las**. Escola de Redes, 2012. Disponível em <<http://escoladeredes.net/group/plataformas-de-aprendizagem/page/por-que-as-plataformas-de-aprendizagem-nao-sao-boas>> Acesso em 31 Mar. 2014

GALLO, S. Transversalidade e educação: pensando uma educação não-disciplinar. In: ALVES, N.; GARCIA, R. L. (orgs.). **O Sentido da Escola**. Rio de Janeiro: DP&A, 2000 Disponível em <[http://www.lite.fae.unicamp.br/papet/2003/ep403/transversalidade\\_e\\_educacao.htm](http://www.lite.fae.unicamp.br/papet/2003/ep403/transversalidade_e_educacao.htm)> Acesso em: 31 Mar. 2014.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

GRF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). **Leituras de Física**. São Paulo: USP/MEC-FNDE, CAPES, FAPESP/MEC, CENP - Programa Pró-Ciência, 1998. 3v

KELLY, K. **Out of control: the new biology of machines, social systems, and the economic world**. Reading, Mass: Perseus Books, 1994.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1998

KRAGH, H. Photon: New light on an old name. **ArXiv**:1401.0293, 2014. Disponível em <<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1401/1401.0293.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

\_\_\_\_\_. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

LI, S. et al. A map of the interactome network of the metazoan *C. elegans*. **Science**, Washington, v. 303, n. 5657 pp. 540-543, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/303/5657/540.full>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

LOBATO, T; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. Baurú, **Ciência & Educação**, UNESP, v. 11, n. 1, p. 119-132, 2005. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/10.pdf> > Acesso em 31Mar.2014.

MA, H.; ZENG, A.-P. Reconstruction of metabolic networks from genome data and analysis of their global structure for various organisms. **Bioinformatics**, Oxford University Press, v.19, n.2, p.270–277, 2003. Disponível em: <http://bioinformatics.oxfordjournals.org/content/19/2/270.full.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MACEDO, A. L. **Rede de conceitos: uma ferramenta para contribuir com a prática pedagógica no acompanhamento da produção textual coletiva**. 2010. 206 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação). Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MACHADO, N. J. **Epistemologia e Didática: as concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente**. São Paulo: Cortez, 1995.

\_\_\_\_\_. **Conhecimento e valor**. São Paulo: Moderna, 2004.

\_\_\_\_\_. **Tópicos de Epistemologia**. São Paulo: Universidade Virtual do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em  
<<http://www.youtube.com/playlist?list=PL3607D2A0360CD002>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MASUCCI, A.P.; RODGERS, G. J. Network properties of written human language. **Physical Review E**, v. 74, n.2, 2006. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/physics/0605071v1.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MENEZES, L.C. **A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MENEZES, L.C. et al. **Toda a Física: hoje e através de sua história**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

\_\_\_\_\_. **Coleção Quanta Física**. São Paulo: Editora PD, 2010, 3 v.

MICHEL, J.-B. et al. Quantitative Analysis of Culture Using Millions of Digitized Books. **Science**, Washington, v. 331, n. 6014, pp. 176-182, 2010 Disponível em:  
<<http://www.sciencemag.org/content/331/6014/176.full.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

MILGRAM, S. The Small World Problem. **Psychology Today**, New York, v. 2, p. 60-67, 1967.

MONTEIRO, M. A. et al. A sistemática incompreensão da Teoria Quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Bauru, **Ciência & Educação**, UNESP, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em  
<<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v15n3/07.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

MORETI, F. **Network Theory, Plot Analysis**. Stanford Literary Lab, Pamphlet 2, Stanford, 2011. Disponível em <<http://litlab.stanford.edu/LiteraryLabPamphlet2.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

OBSERVATORIO CTS. **La nanotecnología en Iberoamérica situación actual y tendencias**: documento de trabalho. Madrid: OEI, 2011. Disponível em  
<<http://www.oei.es/DocTrabajo4vf.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

OLIVEIRA, F. F. et al. A. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. São Paulo, **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Sociedade Brasileira de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454. 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

OLIVEIRA, L. A. O Rizoma e a Metáfora do Hipertexto: sobre a educação e a(s) estrutura(s) do conhecimento no polo mediático-informático. São Paulo, **Revista Anagrama**, Universidade de São Paulo. Escola de Comunicações e Artes, v.6, n.1. 2012. Disponível em  
<<http://revistas.usp.br/anagrama/article/view/46372>> Acesso em 31 Mar. 2014.

PÉREZ, C. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza**. México, D. F.: Siglo Veintiuno (México), 2004.

PESSOA JR., O. F. O problema da medição em mecânica quântica: um exame atualizado. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, São Paulo, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Universidade de Campinas, (série 3) 2(2): 177-217, jul-dez 1992. Disponível em <<http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/Prob-Med-1.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Conceitos de Física Quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, vol. I, 1996.

\_\_\_\_\_. F. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. **Estudos avançados**, São Paulo, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, n.42, p.175-204. 2000. Disponível em <<http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/Est-Avan-00.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Misticismo ou espiritualidade quântica?** Vya Estelar, 2010. Disponível em <[http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica\\_misticismo.htm](http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_misticismo.htm)> Acesso em 31 Mar. 2014.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: Unesp, 1996.

PRIGOGINE, I; STENGERS, I. **Order out of chaos man's new dialogue with nature**. New York: Bantam Books, 1984.

ROSENSTIEHL, P. Rede. **Enciclopédia Einaudi**. Porto: Imprensa Nacional - Casa da Moeda, v. 13, Lógica – Combinatória, p. 228-246, 1988.

RYBERG, T., BUUS, L., GEORGEN, M. 2011. Differences in Understanding of Networked Learning Theory: Connectivity or Collaboration? In: Dirckinck-Holmfeld, L., Hodgson, V., McConnell, D. (Eds.). 2011. **Exploring the Theory, Pedagogy, and Practice of networked learning**. Springer, London, p. 43-58. Pre-proof version disponível em <[http://vbn.aau.dk/files/58639828/Differences\\_in\\_Understandings\\_of\\_Networked\\_Learning\\_Theory\\_Connectivity\\_or\\_Collaboration\\_pre\\_proof\\_and\\_typeset\\_version.pdf](http://vbn.aau.dk/files/58639828/Differences_in_Understandings_of_Networked_Learning_Theory_Connectivity_or_Collaboration_pre_proof_and_typeset_version.pdf)> Acesso em 31 Mar. 2014.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: qual sua presença em sala de aula?** Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. Disponível em <[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/fisica/dissertacoes/fisica\\_moderna.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/dissertacoes/fisica_moderna.pdf)> Acesso em 31 Mar. 2014.

SÃO PAULO. Secretaria da Educação. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física**. São Paulo: Secretaria da Educação/ Coordenação do Desenvolvimento dos Conteúdos Programáticos e dos Cadernos dos Professores, 2008.

SEGRÈ, E. **Dos raios X aos quarks. Físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1980.

SILVA, J. A.; PINTO, A. C.; LEITE, C. **Projeto Escola e Cidadania: Física**. São Paulo: Editora do Brasil, 2000.

SPORNS, O. **Networks of the brain**. Cambridge: MIT Press, 2011

SIEMENS, G. **Knowing Knowledge**. Vancouver, BC, Canada: Lulu Press, 2006. Disponível em: <[http://www.elearnspace.org/KnowingKnowledge\\_LowRes.pdf](http://www.elearnspace.org/KnowingKnowledge_LowRes.pdf)> Acesso em 31 Mar. 2014

SIEMENS, G. **Learning and Knowing in Networks: Changing roles for educators and Designers**. ITFORUM, 2008. Disponível em: <<http://itforum.coe.uga.edu/Paper105/Siemens.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014

TOFFLER, A. **A Terceira Onda**. Rio de Janeiro: Distribuidora Record de Serviços de Imprensa S. A., 1980.

TORI, Romero. Cursos híbridos ou blended learning. In: LITTO, Frederic M; FORMIGA, Marcos M. **Educação a distância: o estado da arte**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009. pp 121-128.

WATTS, D. J. **Seis graus de separação: a evolução da ciência de redes em uma era conectada**. São Paulo: Leopardo, 2009.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**, London, n.393, p. 440-442 1998. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v393/n6684/pdf/393440a0.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

WONGLIMPIYARAT, J. The nano-revolution of Schumpeter's Kondratieff cycle. **Technovation**, Amsterdam, Elsevier, n. 25, p. 1349-1354. 2005. Disponível em: <[http://eprints.port.ac.uk/4519/1/viewcontent\\_2.pdf](http://eprints.port.ac.uk/4519/1/viewcontent_2.pdf)> Acesso em: 31 Mar. 2014.



## APÊNDICE A - EXEMPLOS DE INSERÇÕES DA QUÂNTICA COMO REDE

### A.1 – Fotografia, radiografia e grãos de luz

### Fotografia, radiografia e grãos de luz

**Perguntas problematizadoras**

- *Quais as diferenças de procedimento para ver uma fotografia e para ver uma radiografia?*
- *Quais as diferenças de procedimento para tirar uma fotografia e para tirar uma radiografia?*
- *O que é Raio-X e porque conseguimos enxergar ossos e órgãos com ele?*

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-1

### A produção de uma fotografia

Uma máquina fotográfica é, essencialmente, uma câmara escura de orifício.

**O processo:**

- 1) Ilumina-se o objeto com luz branca comum.
- 2) De cada ponto iluminado do objeto um único raio de luz atravessa o orifício da câmara e incide sobre o filme.
- 3) A incidência de luz sobre o filme provoca modificações na estrutura atômica da emulsão gelatinosa que o recobre. Luz mais intensa, sensibiliza mais o filme.
- 4) Com uso de produtos químicos, revela-se o filme e cria-se o negativo da imagem, cujas regiões mais escuras correspondem a maiores incidências de luz do que nas regiões mais claras.
- 5) O uso de novos produtos químicos produzem o "branqueamento" do filme, permitindo a transformação do negativo em positivo.

OBS: embora nas câmaras digitais não exista o filme fotográfico, a comparação com a câmara escura continua válida, com a correspondência um a um entre pontos do objeto e da imagem.

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-2

### A visualização da fotografia

Para admirar a fotografia basta observar a luz visível comum por ela refletida.

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-3

### A produção de uma radiografia

As imagens por Raio X revelam o interior do objeto pela projeção de sombra sobre o filme radiográfico.

**O processo:**

- 1) Ilumina-se o objeto com Raios X (invisíveis, portanto aos nossos olhos).
- 2) Raios X que incidem sobre materiais (como a pele humana) mais moles atravessam o objeto e sensibilizam o filme radiográfico. Raios X que incidem sobre materiais mais duros (como ossos) são absorvidos e não incidem sobre o filme radiográfico.
- 3) Cada ponto do filme radiográfico somente pode ser atingido por um único raio de luz emitido pela fonte luminosa.
- 4) Luz mais intensa, sensibiliza mais o filme.
- 5) Com uso de produtos químicos, revela-se o filme e cria-se o negativo da imagem, cujas regiões mais escuras correspondem a maiores incidências de luz do que nas regiões mais claras.

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-4

### A visualização da radiografia

Para analisar a radiografia basta observar a luz visível comum que a atravessa.

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-5

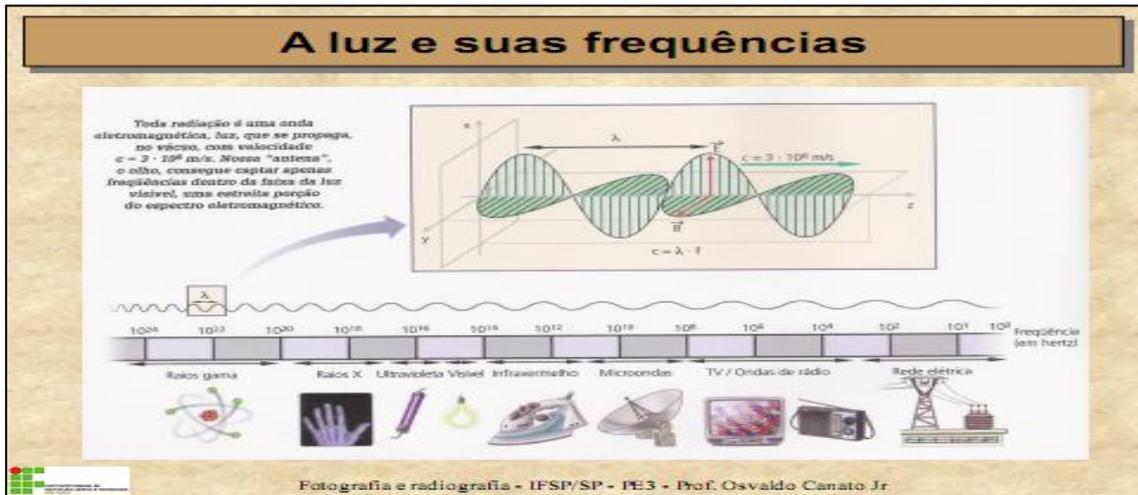


Figura A.1-6

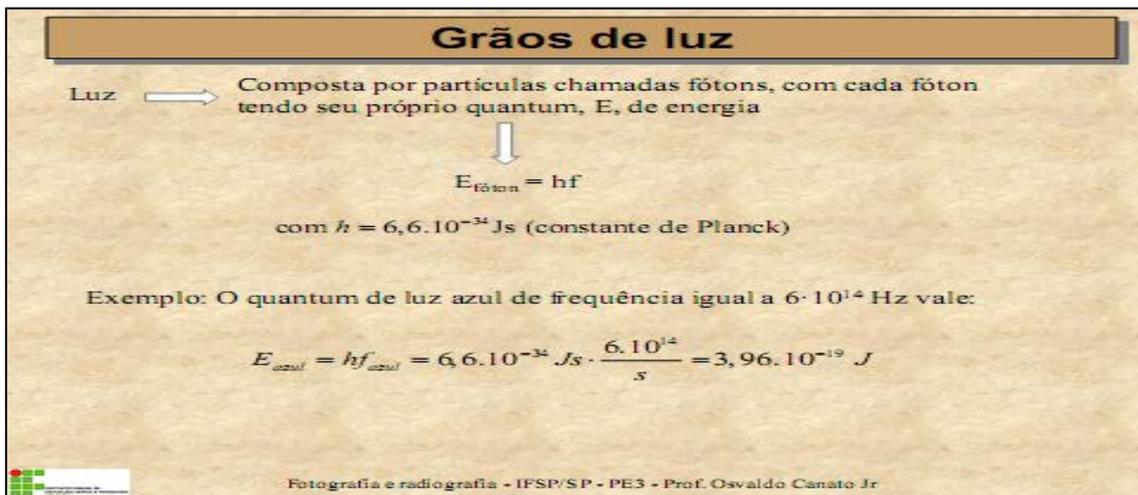


Figura A.1-7

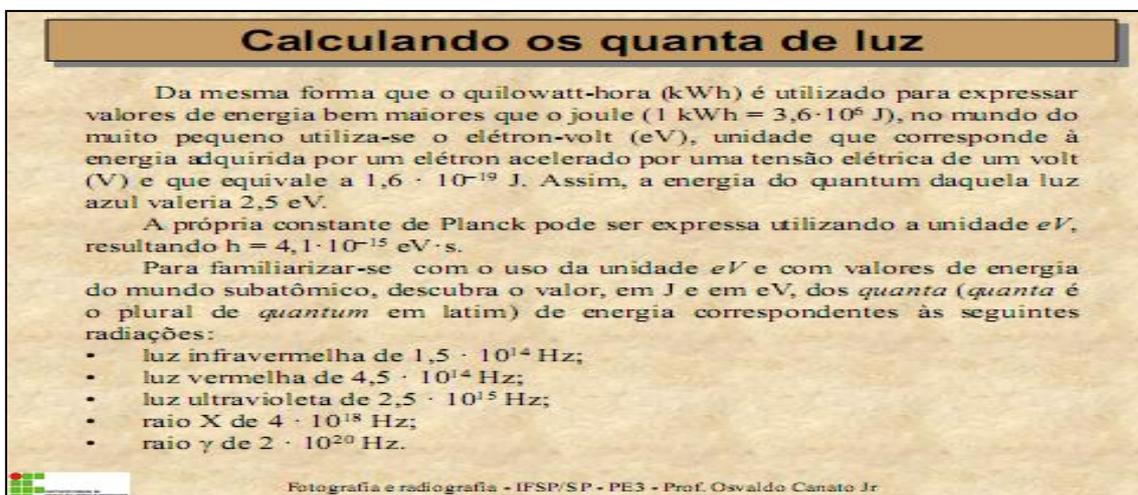


Figura A.1-8

### Maior a energia, maior a penetração

Fotografia → Luz visível

Radiografia → Raios X

$E_{\text{raios-X}} > E_{\text{luz visível}}$

Raios X atravessam os tecidos mais moles do corpo e a luz visível não!

Figura A.1-9

### Colidindo com fótons

Fótons de luz visível colidem com o brometo de prata e arrancam elétrons do bromo, separando-o da prata que fica imersa na gelatina; o processo químico de revelação, deixa mais escuro a região com maior quantidade de prata

Figura A.1-10

## A.2 – Ondas, música e quântica

### Ondas, música e quântica

**Perguntas problematizadoras**

- Qual a diferença entre um som alto (agudo) e um som baixo (grave)?
- Analise a seguinte afirmação: a voz fina está para a luz azul assim como a voz grossa está para a luz vermelha.
- O que é uma onda estacionária e por que ela é assim chamada se, como onda, implica a necessária propagação de uma perturbação?
- Como se faz para produzir sons mais altos (mais agudos) e sons mais baixos (mais graves) em um instrumento musical de corda?
- Qual o significado de uma frequência fundamental e de seus harmônicos?
- De que forma um átomo se assemelha a um violão ou a um tamborim?

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-1

### As ondas e suas frequências

**GRANDEZAS QUE CARACTERIZAM UMA ONDA**

**Frequência (f):** número de oscilações que ocorrem em uma unidade de tempo. Uma unidade de frequência muito usada é o hertz (Hz), que indica o número de oscilações por segundo.

**Período (T):** intervalo de tempo para que haja uma oscilação completa.

**Comprimento de onda (λ):** distância entre dois pontos consecutivos e equivalentes da onda, que oscilam "em fase", ou seja, têm mesmo deslocamento relativamente ao equilíbrio e crescem ou decrescem juntos.

**Amplitude (A):** máximo deslocamento de um ponto em relação a sua posição de equilíbrio.

Uma onda periódica percorre uma distância igual a seu comprimento de onda no intervalo de tempo igual a seu período, de modo que a velocidade de propagação da onda é dada por  $v = \frac{\lambda}{T}$  ou  $v = \lambda \cdot f$ , uma vez que  $f = \frac{1}{T}$ .

**CONEXÃO**

A figura A mostra a representação temporal de uma onda; a ordenada d indica a posição de um ponto em função do tempo, t; o maior deslocamento em relação ao ponto de equilíbrio é a amplitude da onda, A; o intervalo de tempo entre dois máximos é o período da onda, T. A figura B apresenta a mesma onda, porém em uma representação espacial; o gráfico relaciona a posição de um ponto, d, quanto a sua localização, x, no espaço; a amplitude ainda é a mesma, A, mas a distância entre dois máximos agora representa o comprimento de onda, λ.

ESCOLAS ASSOCIADAS  
ENSINO MÉDIO

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-2

### Luz e som

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-3

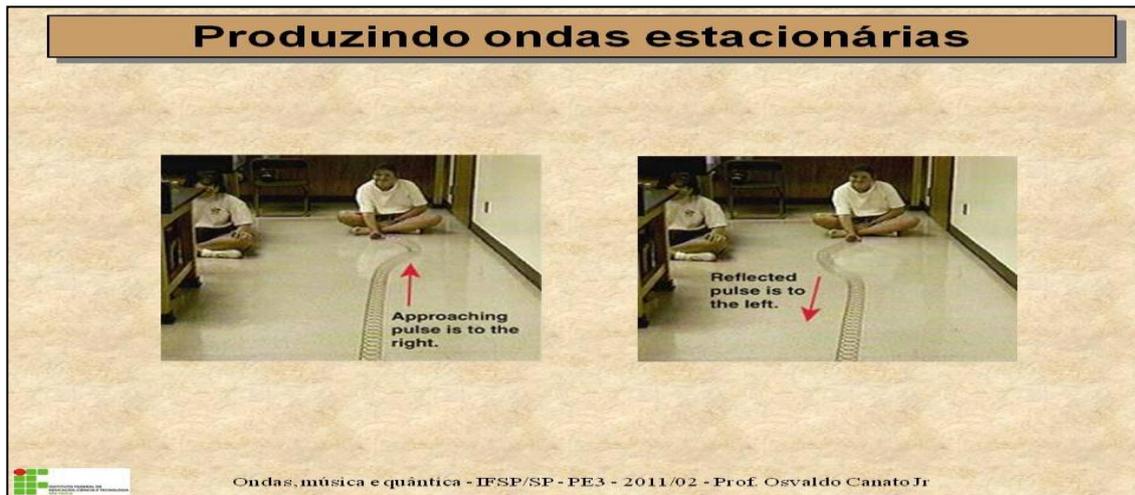


Figura A.2-4

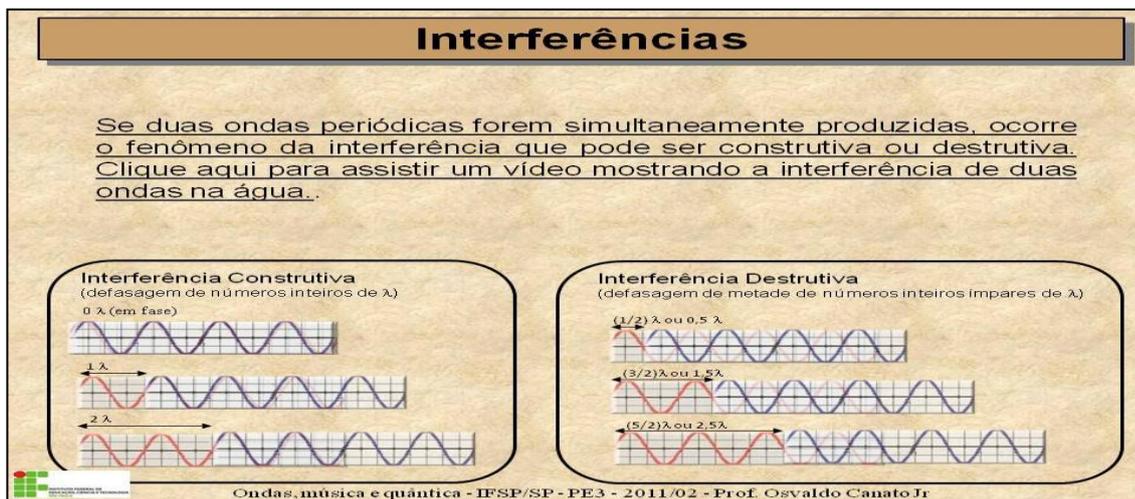


Figura A.2-5

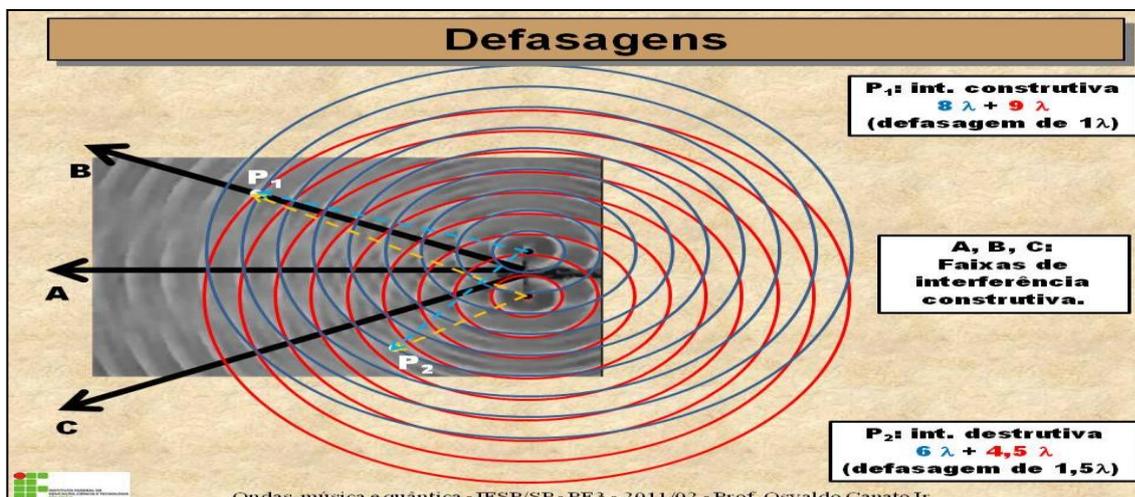


Figura A.2-6

## Ondas ... estacionárias?

**Standing Wave**  
(Explanation by Superposition with the Reflected Wave)

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-7

## Frequências naturais de vibração

$L = 1 \cdot \frac{\lambda_1}{2}$  (1° harmônico ou fundamental)  
 $L = 2 \cdot \frac{\lambda_2}{2}$  (2° harmônico)  
 $L = 3 \cdot \frac{\lambda_3}{2}$  (3° harmônico)  
 $L = 4 \cdot \frac{\lambda_4}{2}$  (4° harmônico)

$L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$   
 mas,  $v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$   
 $f_n = \frac{nv}{2L}$   
 na corda  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$   
 $f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-8

## Timbre como identidade do instrumento

Violino

Piano

Diapasão

**Figura 10**  
As notas musicais emitidas por diferentes instrumentos musicais possuem a mesma frequência, mas as ondas sonoras produzidas têm "formas" diferentes.

O timbre é a qualidade que diferencia dois sons de mesma altura e de mesma intensidade, mas produzidos por fontes sonoras diferentes. O timbre de um som depende da "forma" da onda sonora. Na figura 10 estão representadas as "formas" das ondas sonoras geradas por um violino, por um piano e por um diapasão. As diferenças entre elas permitem a nosso sistema auditivo distinguir as ondas sonoras, embora tenham a mesma frequência e a mesma intensidade. Dizemos, então, que esses sons têm timbres diferentes.

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-9

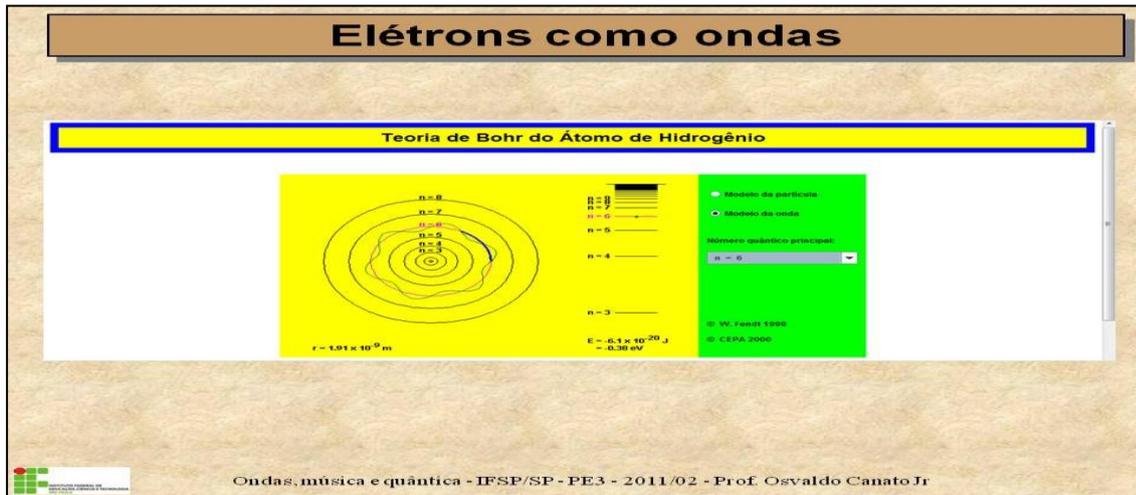


Figura A.2-10

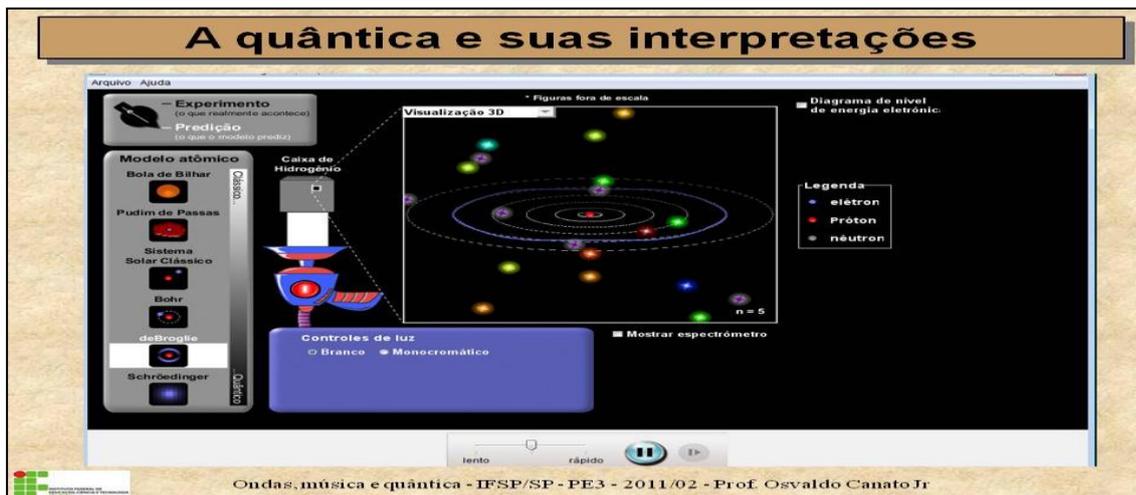


Figura A.2-11

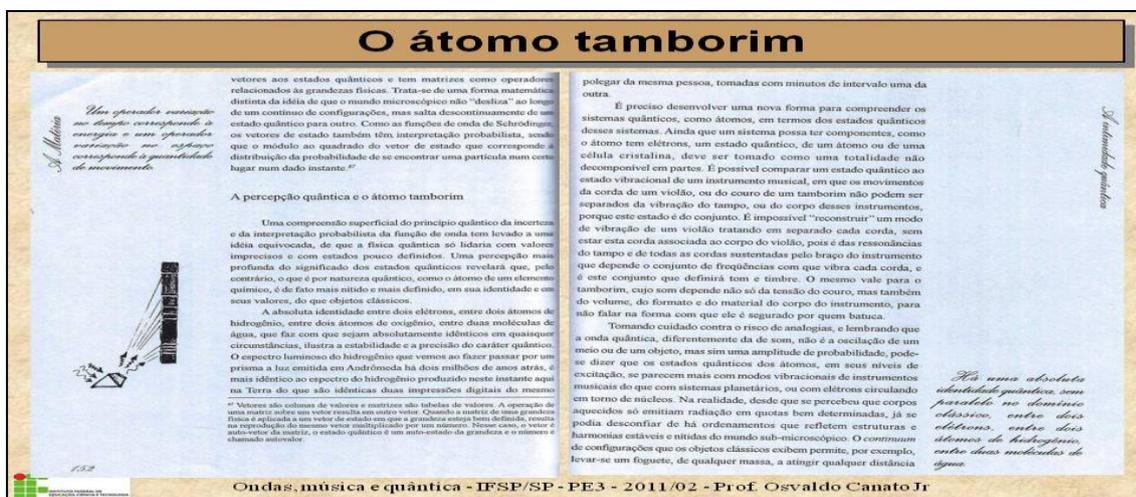


Figura A.2-12

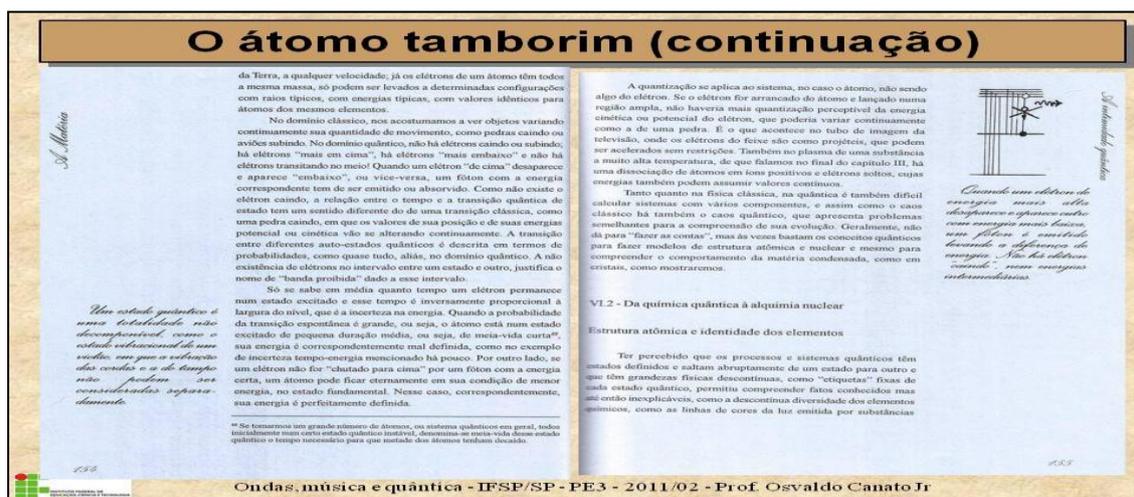


Figura A.2-13

## A.3 – Goiânia – o nuclear na terra do Sol

### 1. O nuclear na terra do Sol

Excerto de CANATO JR., O. **Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física). Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

Hoje, ao mesmo tempo em que projetos de colonização de Marte são idealizados e a formação do Universo é investigada, através de modernos aceleradores de partículas, vivemos na lembrança de Hiroxima e Nagasaki e temos medo da autodestruição da raça humana. Um medo que só tende a crescer, pois as núcleo-elétricas são uma alternativa concreta às outras usinas elétricas de grande porte e, mesmo que se evitem vazamentos radiativos, há produção de plutônio, cujo destino quase certo é o armamento nuclear. É claro que, nem sempre, se evitam vazamentos e não há garantias de que acidentes como o de Chernobil não voltem a acontecer.

Aliás, vazamentos radiativos não ocorrem apenas em usinas nucleares. Vale lembrar o triste episódio brasileiro da inocente violação, por sucateiros, de uma pequena cápsula de elemento radiativo - cerca de 2 cm de comprimento e 0,2 cm de diâmetro - encontrado dentro de uma bomba de cézio-137 abandonada pelo *Instituto Goiano de Radiologia*, em um terreno baldio da Rua 57 do Bairro Popular de Goiânia, em setembro de 1987. O relato de Gabeira (1987)<sup>1</sup> expressa de forma rica e comovente o drama da população de uma cidade que, pela ausência de usinas ou centros de pesquisas nucleares, parecia escapar de qualquer risco de acidente nuclear:

<sup>1</sup> GABEIRA, F. **Goiânia, rua 57: O nuclear na terra do sol**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A., 1987.

Tudo o que se conhece é que Roberto e Wagner [dois catadores de papel] retiraram a enorme peça num carrinho de mão e venderam o cabeçote de chumbo num ferro-velho. O preço foi de mil e seiscentos cruzados, pouco mais de vinte dólares. O dono do ferro-velho e os próprios catadores ficaram curiosos. Queriam, evidentemente, romper o chumbo para vendê-lo em partes, mas também queriam ver o que havia dentro. Era para eles uma espécie de raio X. Se a máquina pode ver dentro das pessoas, por que as pessoas não podem ver dentro da máquina?

Quando, aos golpes de marreta, chegaram à brilhante pedra azul, ficaram maravilhados. [...] Um dos catadores tentou traçar uma cruz no peito e o dono do ferro-velho quis reparti-la entre os amigos, gratuitamente, para que fizessem anéis. Um deles levou um pedaço para casa. [...] A pedra brilhava tanto que incomodava o sono da mulher com quem vivia. Ele chegou com a pedra no bolso da calça, quase em contato direto com ela. [...] O mais trágico dos movimentos aconteceu na casa do outro dono do ferro-velho, Ivo. Sua filha Leide, de seis anos, brincou próxima do pó de céσιο, tocou nele comendo um pedaço de pão com ovo e se contaminou internamente. [Ela morreria um mês depois]

[...] Os primeiros sintomas começaram a aparecer -vômitos, queimaduras na pele, queda de cabelo. Como qualquer pessoa numa circunstância dessas, os catadores de papel e o dono do ferro-velho começaram a se interrogar sobre o que comeram. Um deles chegou a levantar uma hipótese forte: leite com manga ou manga com sal. [...] A essa altura das indagações, não estavam apenas contaminados, mas estavam também emitindo radiações. Fizeram de tudo o que estava ao seu alcance. Foram ao farmacêutico e compraram pomada, foram ao pronto-socorro e se medicaram como vítimas de queimadura, e um dos catadores de papel, mais atingido, chegou a ser internado no hospital especializado em doenças tropicais.

Foi no auge dessa busca que a pedra começou a ficar sob suspeita e o veterinário Paulo Roberto Monteiro formulou, pela primeira vez, a descoberta do acidente. [...] A partir daí, o mistério se desfez, o mundo desencantou e o pedaço azul do céu se transformou num pedaço azul do inferno.

[...] Cerca de 43 técnicos desembarcaram em Goiânia. [...] O céσιο-137 estava em forma de pó. A primeira tarefa urgente era encontrá-lo. [...] Exatamente porque era invisível, a radiatividade estava em toda a parte e em nenhum lugar. Cinco mil pessoas, por dia, no princípio, acorriam ao Estádio Olímpico, onde foi instalada uma equipe incumbida de testar a contaminação.

[...] Assim que foram detectados, os catadores de papel e seus corpos tornaram-se um segredo de estado. As instalações do Hospital Naval [no Rio de Janeiro, para onde alguns pacientes foram levados] foram fechadas à imprensa, que só poderia acompanhar os acontecimentos do outro lado da rua. Qualquer tentativa de furar o bloqueio era respondida a tiro.

[...] Desde o momento em que os pacientes foram examinados no Estádio Olímpico até o momento de seu enterro [...] o nuclear revelou a capacidade de militarizar cada passo da medicina, transformando-a numa atividade secreta, protegida por guardas armados que só desaparecem de perto dos corpos quando sepultados em caixões de chumbo, recobertos por uma camada de concreto.

[...] O trato com os animais contaminados revelou-se também confuso e cheio de contradições. [...] Goiânia tem mais de mil pombos e eles voavam para todos os bairros, inclusive o Popular. [...] No seu sofrimento silencioso, Sheik [um cachorro abandonado na casa de um dos catadores de papel] já se havia transformado num cachorro atômico, seu corpo era uma transição do animal para o mineral, como se os fragmentos de chumbo e concreto que iriam compactá-lo para sempre já estivessem colados no seu corpo.

[...] Mas foi chegando o momento em que o verdadeiro calcanhar-de-aquiles de todo projeto nuclear iria aparecer para todos, com luminosidade mais intensa que a do

próprio céσιο-137. Esse momento se deu quando começou a discussão em torno do lixo atômico [as roupas recolhidas no Estádio Olímpico, por exemplo].

[...] Diante dessa realidade [recusa do Governo estadual em guardar o lixo atômico em Goiás], o Governo federal resolveu indicar um lugar definitivo para o lixo atômico: a Serra do Cachimbo, no sul do Pará.

[...] De todas as demonstrações [contrárias à decisão do Governo federal], a mais popular foi a realizada durante o Círio de Nazaré, a grande festa religiosa do norte do país. Uma centena de manifestantes entrou na procissão com cartazes e máscaras de protesto e foi, progressivamente, ganhando o apoio dos fiéis, estimulados também pelas declarações das autoridades católicas do Pará, contrárias ao depósito de lixo atômico. Os participantes do Círio de Nazaré viveram na realidade a grande cerimônia política do ano, porque manifestantes que protestavam contra a violência dos latifundiários do Pará também estavam presentes. Os dois movimentos se uniram ao longo do caminho, simbolizando dramaticamente as contradições de um Brasil incapaz de realizar ao mesmo tempo uma aspiração do século passado, a reforma agrária, e uma aspiração do século XX, a superação do projeto nuclear (GABEIRA, 1987, excertos p.13-46).

Independentemente da avaliação política ou técnica que se faça das implicações do episódio de Goiânia, fato é que, repentinamente, a Física atômica virou “conversa de botequim” naquela cidade e que um mínimo conhecimento científico desse assunto por parte da população poderia ter amenizado ou, quem sabe, evitado o acidente. Aspecto interessante é que o intenso brilho daquela pedra azul também teve seu reflexo na produção artística, com o goiano Siron Franco descobrindo uma nova técnica de trabalho com a terra, em especial misturada à tinta de tom prateado, e tendo projetado sua carreira nacional e internacionalmente:

É que, na época do acidente, eu fui fazendo braços, pés, membros de chumbo toda vez que amputavam alguém que tinha sido contaminado com Césio. Foi uma forma de executar as imagens das notícias. Elas me levavam a fazer isso, porque foi uma coisa que me impressionou bastante, já que eu passei toda minha infância ali. Além disso, eu fui chamado pelo pessoal do bairro para interferir com o governador, porque não estavam nem recolhendo o lixo mais, achavam que tudo estava contaminado. Virou uma paranóia. Aí eu comecei a trabalhar com a terra de Goiânia e levei a exposição para São Paulo, para mostrar que a terra da cidade não estava contaminada. Mas no início todo mundo tinha medo da exposição, porque pensavam que aquilo podia estar contaminado (FUNDAÇÃO IBERÊ CAMARGO, 2003<sup>2</sup>).

## **2. Síntese sobre a constituição nuclear e a radioatividade natural<sup>3</sup>**

- Os núcleos atômicos são constituídos de prótons e de nêutrons.
- O número de prótons é a carga total do núcleo, denominado número atômico (Z) do elemento químico e define suas propriedades químicas. Em um átomo neutro, o número de elétrons na eletrosfera é igual ao número de prótons no núcleo.
- Como os elétrons são muito leves, a massa atômica é praticamente igual à massa do núcleo do átomo.
- Devido à repulsão elétrica entre os prótons, a explosão de qualquer núcleo complexo seria inevitável, se a repulsão não fosse compensada pelas interações nucleares fortes, que são atrativas.
- A soma do número de prótons com o número de nêutrons define o número de massa (A) do núcleo.

<sup>2</sup> FUNDAÇÃO IBERÊ CAMARGO. **A arte como libertação**. 24 jan. 2003. Disponível em <<http://iberecamargo.uol.com.br/content/revista/entrevistas.asp?codent=38>>. Acesso em: 02 mai. 2003.

<sup>3</sup> Texto formulado a partir do exposto nas páginas 26 e 27 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

- Um conjunto de prótons e nêutrons livres tem massa maior do que um núcleo atômico formado pelo mesmo número de prótons e nêutrons; a diferença entre as massas equivale à energia de ligação internuclear, igual à energia necessária para desintegrar por completo o núcleo atômico.
- O número de nêutrons pode variar, para um mesmo elemento, sem alterar suas propriedades químicas, correspondendo a seus diferentes isótopos.
- Alguns isótopos não são estáveis, ou seja, dependendo do número de nêutrons, são radiativos, mas todos os elementos com carga nuclear menor que a do urânio (número atômico  $Z = 92$ ) têm pelo menos um isótopo estável.
- A radiação  $\alpha$ , que é a expulsão de um conjunto de dois nêutrons e dois prótons, deixa o núcleo com número de massa quatro unidades menor e com número atômico duas unidades menor.
- A radiação  $\beta$  corresponde à expulsão de um elétron gerado dentro do núcleo pela conversão de um nêutron em próton, na interação nuclear fraca, deixando o núcleo com praticamente a mesma massa, mas com número atômico uma unidade maior.
- A radiação  $\gamma$ , que é a emissão de um fóton de alta frequência, é a forma pela qual um núcleo previamente excitado, por exemplo, em consequência de uma emissão  $\alpha$  ou  $\beta$ , se acomoda em um nível de menor energia.
- As radiações cósmicas, originadas de processos nucleares em outras partes do Universo, também podem interagir com substâncias na atmosfera tornando-as radiativas.

### 3. Atividade sobre as famílias radioativas naturais<sup>4</sup>

Os elementos naturalmente radiativos constituem séries ou “famílias”, no sentido específico de que, do decaimento radiativo de um deles, resulta outro elemento também radiativo, seu “descendente”, que também decai gerando mais outro, e assim por diante, até chegar a um elemento estável, um dos isótopos do chumbo (Pb).

A tabela abaixo apresenta três famílias radioativas; duas delas começando por um isótopo do urânio (U) e a outra, por um de tório (Th).

Observe que na tabela estão representadas apenas as emissões  $\alpha$  e  $\beta$ , já que a  $\gamma$  não muda a espécie química. Perceba que há isótopos que tanto podem emitir radiação  $\alpha$  como  $\beta$ , não simultaneamente, causando ramificações dentro das séries, que, depois, se reúnem em outro isótopo, como fica claro no diagrama abaixo da tabela, em que se representa a família I. Realize, então, as seguintes atividades:

- 1) Construa um diagrama semelhante ao da família I para a família III.
- 2) Observe o tipo de desintegração das famílias I e III e, copiando em seu caderno os dados apresentados para a família II, indique o tipo de emissão radiativa,  $\alpha$  ou  $\beta$ , responsável pelas transmutações dessa família, sabendo que não há outros isótopos que possam causar ramificações além dos já representados. Construa, também, um diagrama para essa família.
- 4) Há uma emissão  $\gamma$ , não mostrada na tabela, entre quaisquer duas diferentes desintegrações; discuta por que é razoável que um núcleo que acabou de se transmutar “precise” emitir um ou mais fótons, ou seja, emitir radiação  $\gamma$ .

---

<sup>4</sup> Atividade formulada a partir do exposto nas páginas 27 e 28 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

FAMÍLIAS RADIATIVAS NATURAIS

FAMÍLIA I			FAMÍLIA II			FAMÍLIA III		
ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO	ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO	ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO
Urânio	${}_{92}\text{U}^{235}$	$\alpha$	Urânio	${}_{92}\text{U}^{238}$	?	Tório	${}_{90}\text{Th}^{232}$	$\alpha$
Tório	${}_{90}\text{Th}^{231}$	$\beta$	Tório	${}_{90}\text{Th}^{234}$	?	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{228}$	$\beta$
Protactínio	${}_{91}\text{Pa}^{231}$	$\alpha$	Protactínio	${}_{91}\text{Pa}^{234}$	?	Actínio	${}_{89}\text{Ac}^{228}$	$\beta$
Actínio	${}_{89}\text{Ac}^{227}$	$\alpha, \beta$	Urânio	${}_{92}\text{U}^{234}$	?	Tório	${}_{90}\text{Th}^{228}$	$\alpha$
Tório	${}_{90}\text{Th}^{227}$	$\alpha$	Tório	${}_{90}\text{Th}^{230}$	?	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{224}$	$\alpha$
Frâncio	${}_{87}\text{Fr}^{223}$	$\alpha, \beta$	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	?	Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	$\alpha$
Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{223}$	$\alpha$	Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	?	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{216}$	$\alpha, \beta$
Astato	${}_{85}\text{At}^{219}$	$\alpha, \beta$	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{218}$	$\alpha, \beta$	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	$\beta$
Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{219}$	$\alpha$	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{214}$	?	Astato	${}_{85}\text{At}^{216}$	$\alpha$
Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{215}$	$\beta$	Astato	${}_{85}\text{At}^{218}$	?	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	$\alpha, \beta$
Polônio	${}_{84}\text{Po}^{215}$	$\alpha, \beta$	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	$\alpha, \beta$	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{212}$	$\alpha$
Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{211}$	$\beta$	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{214}$	?	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{208}$	$\beta$
Astato	${}_{85}\text{At}^{215}$	$\alpha$	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{210}$	?	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	Estável
Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	$\alpha, \beta$	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	?			
Polônio	${}_{84}\text{Po}^{211}$	$\alpha$	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{210}$	$\alpha, \beta$			
Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{207}$	$\beta$	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{210}$	?			
Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	Estável	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{206}$	?			
			Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	Estável			

Figura A3 - 1

DIAGRAMA DAS DESINTEGRAÇÕES RADIATIVAS  $\text{U}^{235}$

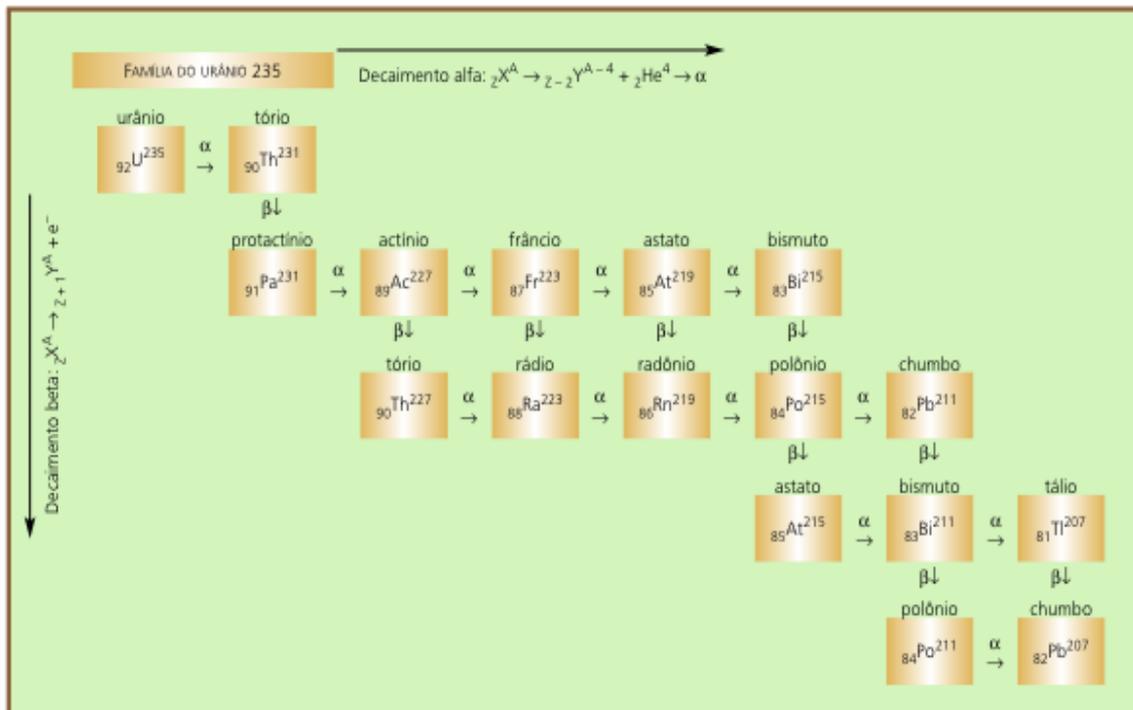


Figura A3 - 2

#### 4. E o Césio-137?<sup>5</sup>

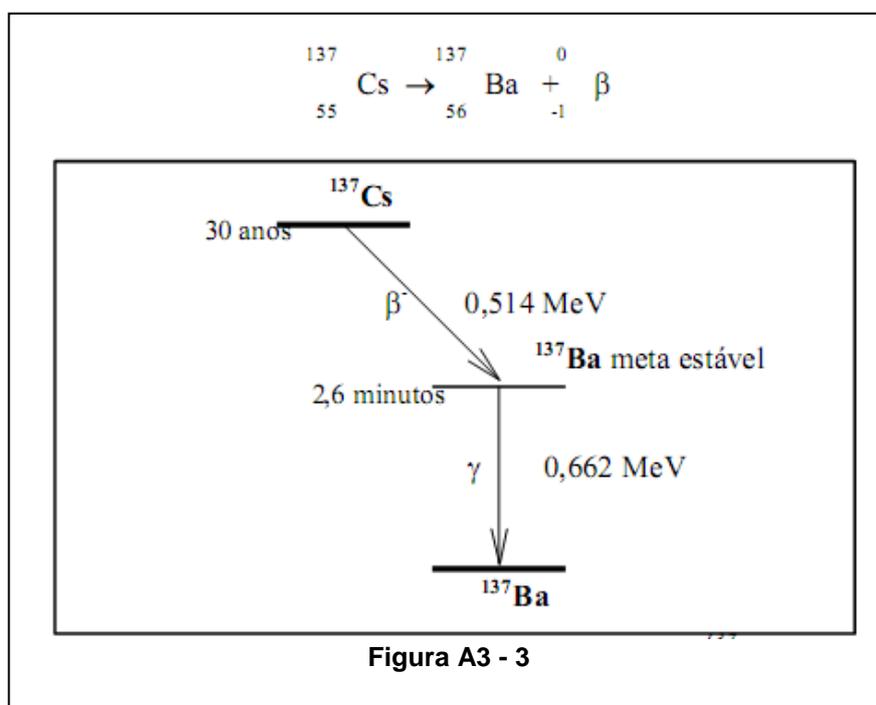
As mortes, doenças e danos materiais ocorridos no acidente de Goiânia foram causados por um isótopo radioativo, o césio-137. Por este motivo o césio (Cs), seus isótopos, seu decaimento e suas emissões radioativas serão analisados neste texto.

CÉSIO (Cs) - é um metal alcalino, altamente eletropositivo, que não existe livre na natureza, devido à sua grande atividade química, superior à do rubídio e do potássio, pertencentes ao mesmo grupo da tabela periódica. É encontrado na polucita, um silicato de césio e alumínio.

Tem ponto de fusão a 26°C e ponto de ebulição a 670°C. É o mais eletropositivo dos metais; tem cor branca prateada, é dúctil, oxida-se rapidamente no ar; com umidade inflama-se espontaneamente, produzindo chama não-luminosa de cor violeta-avermelhada; é solúvel no hidróxido de amônio e deve ser guardado em óleo mineral. Seu número atômico 55 e tem 35 isótopos, dos quais somente um é estável, o de massa nuclear igual a 133 u.m.a.. Dos seus muitos isótopos, vários apresentam meias-vidas muito pequenas, de frações de segundos a poucos segundos.

Meia-vida é o tempo que uma certa massa de isótopo radioativo leva para cair à metade da massa original. Quando as meias-vidas são muito pequenas, significa que há uma grande quantidade de partículas emitidas por unidade de tempo. Diz-se então que os isótopos de meia-vida pequena possuem uma grande atividade radioativa. No entanto, esta grande atividade de muitos isótopos do césio não chega a ser problemática, visto que, por apresentarem meias-vidas muito curtas, estes isótopos não existem naturalmente na Terra, já se desintegraram. Sua ocorrência é puramente artificial

A Figura ao lado [abaixo] permite verificar como ocorre o decaimento do isótopo de massa 137 do césio.



<sup>5</sup> Extraído de Eichler, M. L., Calvete, M. H. H., Salgado, T. D. M. **Módulos para o ensino de radioatividade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Instituto de Química. pp. 75-77. Disponível em: <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/radio.pdf>

O céσιο decai por emissão de partículas beta. Isótopos com massas menores que a do isótopo estável, céσιο-133, decaem por emissão de partículas beta positivas ( $\beta^+$ ), pósitrons. Para massas nucleares maiores que a do isótopo estável, como é o caso do céσιο-137, o decaimento se dá através de partículas beta negativas ( $\beta^-$ ). A meia-vida do céσιο-137 é de 30 anos.

Do decaimento do céσιο se origina o bário (Ba) com mesma massa nuclear (a partícula  $\beta^-$  mantém a massa nuclear, A, constante e acrescenta uma unidade ao número atômico, Z):

### *BÁRIO - 137*

O bário possui 31 isótopos, dos quais 7 são estáveis. O de maior abundância na natureza é o isótopo de massa nuclear igual a 138 u.m.a.. O bário-137, originado pela emissão de partículas  $\beta^-$  do céσιο-137 participa com 11,32% na composição ponderal isotópica do bário natural, no entanto este isótopo do bário é metaestável.

Estável é o átomo ou isótopo que não decai por emissão de partículas radioativas ou energia eletromagnética. Para manter este estado de estabilidade, cada átomo ou isótopo possui uma quantidade própria de energia armazenada.

Quando é aumentada esta quantidade de energia, ocorre um fenômeno chamado excitação. O estado metaestável é aquele no qual o átomo ou isótopo encontra-se no estado excitado. Para retornar à estabilidade, é necessário que ocorra uma desexcitação do átomo ou isótopo, que se dá com a liberação de energia eletromagnética na forma de fótons.

A excitação pode ocorrer tanto na eletrosfera como no núcleo. Quando a excitação se processa na eletrosfera, a desexcitação é feita pela emissão de raios X. Já a desexcitação no núcleo é feita através da emissão de um fóton gama (radiação  $\gamma$ ). O céσιο-137 pode decair para o bário-137 em seu nível fundamental de energia, ou pode decair para um estado excitado, metaestável. Neste último caso o bário-137 é radioativo, com meia-vida de 2,6 minutos e decai com emissão de raios  $\gamma$  para o próprio bário-137, somente que agora no estado estável.

Assim, numa amostra contendo céσιο-137, observa-se a emissão de dois tipos de radiação: partículas  $\beta$ , emitidas pelo  $^{137}\text{Cs}$ , e fótons  $\gamma$ , emitidos pelo  $^{137}\text{Ba}$ .



## APÊNDICE B – TEXTOS REFLEXIVOS DE LICENCIANDOS - OFICINAS\_V4

### B.1 - Grupo formado pelos alunos 01, 02 e 03:

#### Reflexão postada pelo ALUNO 01:

“O conhecimento pode ser adquirido de diversas formas, atualmente o ensino convencional é requerido através das gerações, mas apenas nestes últimos anos o conhecimento tecnológico foi inserido como uma nova área a ser estudada, o homem desenvolve continuamente extensões de seu corpo, como por exemplo: telescópio como extensões de seus olhos, caminhões de carga aumentando o poder de transporte, transmissão de dados em código binário para comunicação com o computador. Tornando assim essencial além do letramento a alfabetização tecnológica, necessidades criadas pelo homem para sua evolução.

Atualmente, não seria possível desvincular o binômio física clássica e física moderna, pois ambas se completam, contudo estudado separadamente é possível apresentar saltos quantizados, subníveis de energia, mas o conjunto (entende-se aparelho) possui ambos.

A possibilidade de criar recursos como aceleradores (sincrotron) permite a obtenção por exemplo de novos tipos de diagnósticos prevenindo e combatendo doenças que antes eram o mal da época, convém destacar que estamos ainda em desenvolvimento, baseando-se no computador que revolucionou diversas áreas e no momento que o computador quântico estiver à venda, a grandeza frequência do processador não terá apenas alguns gigahertz, mas será a própria luz, o que se pode esperar?

Apesar da realidade apresentada no texto sobre a opacidade conceitual entre a tecnologia envolvida em uma máquina de escrever e um teclado de computador, convém destacar o ambiente onde se apresenta tal assunto, pois uma escola tradicionalista exigirá que o professor continue apresentando a física nos livros destinados aos exames vestibulares, eliminando a necessidade de tal conhecimento, entretanto a construtivista permitirá a apresentação sobre o cotidiano dos alunos e suas indagações sobre o que o cerca, exigindo professor o conhecimento descrito inicialmente.

#### Resposta postada pelo ALUNO 02:

“Gostei da forma com que aborda o tema, me parece ter propriedade do que diz... mas hoje contextualizar as "duas físicas" de forma a prover o conhecimento tecnológico dos avanços da física é inconcebível. ainda, digo que com a grade de física que temos no estado é impossível fazer tal prática. mas concordo com vc sobre ser possível em meios de aprendizagem coerente, fazer o processo ensino aprendizagem acontecer em ambientes hostis, visto que a física classica por sí só não esgota assuntos e a inserção de física moderna só faz com que o alunado perca mais o interesse”.

#### Resposta postada pelo ALUNO 03:

“Achei o texto bom, articulando a física quântica na vida cotidiana junto com a física clássica. Com alguns exemplos do seu uso na vida atual. Gostei também do apontamento levantado sobre o ensino de física quântica na sala de aula. Porém vejo a necessidade de

especificar melhor cada ponto destacado pelo professor, ou seja, falar de forma mais detalhada sobre cada tópico:

- a alfabetização científica,
- funcionamento de aparelho que requerem leis da física quântica e clássica
- aceleração na criação de novas tecnologias
- conhecimento sobre o funcionamento de aparelhos que funcionam através da física quântica.

## **B.2 – Grupo formado pelos alunos 04, 05 e 06**

### Reflexão postada pelo ALUNO 04:

“Foi a partir do século XIX que o avanço tecnológico se iniciou e desde então não parou mais. Hoje quem não consegue se adaptar ao uso do computador, por exemplo, não está preparado para o mercado de trabalho. Tudo gira em torno do conhecimento tecnológico. Por isso é de grande importância a alfabetização técnico-científica. Mas não basta apenas sua inserção desconexa num currículo escolar, mas conforme diversos textos e teses já estudados é preciso uma inserção interligada com a física clássica. Primordialmente é necessário a capacitação dos professores, pois muitos deles não conhecem a Teoria Quântica devido sua formação ultrapassada atrelada ao comodismo de não estar atualizado. Isso gera um desconforto ao vermos uma física newtoniana fazer parte de grande parte dos anos médios. O uso dos aparelhos tecnológicos é uma grande janela para uma discussão da física presente no seus dispositivos, funcionamento e uso”.

### Resposta postada pelo ALUNO 05

“De fato, os aparelhos propiciam uma porta de entrada para a física moderna na sala de aula. Porém, como bem sabemos, no Brasil nos deparamos com um ensino sucateado, com professores sobrecarregados e sem tempo para fazer cursos de aperfeiçoamento. Diante desse quadro é difícil que os professores, que já estão na rede pública, tenha acesso às metodologias envolvidas no ensino de física quântica”.

### Resposta postada pelo ALUNO 06

“Concordo com a colega quando diz que é de grande importância a alfabetização científica/tecnológica e que é preciso uma interligação dos temas da física clássica com a física moderna, mas acredito que ensinar apenas os conteúdos referentes às inovações não basta, acho que é preciso que fiquem claras as implicações dessas tecnologias no contexto social: mostrar como funciona uma usina nuclear, por exemplo, não pode vir somente com conceitos físicos mas também com uma discussão sobre suas problemáticas, vantagens e desvantagens.”

## APÊNDICE C – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – OFICINAS\_V5 - 2012\_01

Olá,

Encare essa atividade como uma via de mão dupla. Em um sentido, suas respostas serão valiosas para o professor conhecer algumas características da turma e melhor adequar as atividades que darão sequência ao curso. Para o aluno será uma primeira oportunidade de refletir sobre algumas das problematizações que estarão presentes no curso e que deverão nortear a elaboração de seu projeto de regência em PE3. Além disso, no contexto das Oficinas de Projetos de Ensino como espaços de incentivo às iniciativas autorais de alunos e docentes, suas ações neste curso, incluídas as respostas a esse questionário, em muito contribuirão à atual investigação acadêmica em andamento acerca da temática da presente oficina.

São quatro as partes em que se agrupam as questões: Profissão, Formação, Polêmicas e Relações. Há questões gerais e obrigatórias (sinalizadas com um asterísco vermelho) e outras mais específicas que somente deverão ser respondidas por aqueles que se enquadrarem na situação ali descrita.

Isso posto, mãos à obra. Clique em mostrar questões e avance passo a passo, sem pressa. Se precisar fechar o questionário e depois reabri-lo, não há problema. As respostas parciais, desde que já gravadas, não serão perdidas.

Vale por fim informar que suas respostas não estarão visíveis aos demais colegas.

Att,

Prof. Osvaldo Canato Jr

\*\*\*\*\*

### **I - Profissão**

1. Em caso de atualmente ocupar função de professor de Ensino Médio ou Fund II ou já tê-la ocupado, indique-a, esclarecendo a rede escolar (privada/pública), modalidade (EJA, regular, técnico), disciplina(s) lecionada(s) e tempo de experiência.

2. Em caso de atualmente ocupar outra função no mercado de trabalho, ou de já ter tido considerável experiência em outra profissão, indique-a e explique o porquê da busca pelo curso de Licenciatura em Física.

### **II - Formação**

1. Onde cursou o Ensino Médio?

( ) Ensino Médio Regular

( ) EJA

( ) Ensino Técnico

2. Em caso de já ter formação em outra área (superior, técnico ou tecnológico), indique-a, esclarecendo área e certificação envolvidas.

3. Em caso de já ter formação em cursos de especialização ou pós graduação indique-o, esclarecendo área e certificação envolvidas.

### **III – IFSP**

1. Informe o semestre/ano de seu ingresso na Licenciatura em Física do IFSP-SP

2. Em caso de já ter participado de outras oficinas (PE1, PE2, PE4), indique-as e apresente uma breve descrição da temática nela(s) desenvolvida(s).

3. Das disciplinas listadas ao lado indique aquelas em que você já foi aprovado.

( ) FMO (Introdução à Física Moderna)

( ) ESM (Estrutura da Matéria)

( ) FAM (Física Atômica e Molecular)

( ) FNP (Física Nuclear e de Partículas)

( ) FES (Física do estado Sólido)

( ) AST (Astronomia)

( ) PEE (Política e Estrutura do ensino no Brasil)

( ) ESS (Escola e Sociedade)

( ) CI1 (Educação Científica e Prática de Ensino I)

( ) CI2 (Educação Científica e Prática de Ensino II)

4. Caso já tenha participado de projetos (PIBID, PIBIC, monitoria) vinculados à Licenciatura em Física, indique-os, esclarecendo a temática envolvida.

5. Caso já tenha participado de eventos científicos (Congressos, Simpósios, etc), indique-os, esclarecendo o nome do evento e, se aplicável, o título do trabalho apresentado.

#### **IV - Polêmicas**

**Nas questões a seguir, escolha um número de 1 a 5 de forma a indicar seu acordo ou desacordo com a afirmação. Números maiores correspondem à maior afinidade com a afirmação.**

1. O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.

2. O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.

3. O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.

4. Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.

5. Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.

6. A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.

7. Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico.

8. O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.

9. Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD. No entanto, há cerca de uma década, ainda era comum no Brasil o uso de aparelhos de telefone em que os transdutores podiam ser retirados com facilidade e, eventualmente, reparados de alguma avaria. A mesma comparação pode ser feita entre uma máquina de escrever e o teclado dos computadores ou entre um antigo rádio a válvulas e os modernos aparelhos de som, com seus vários circuitos integrados.

10. A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.

11. Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física podem ser visualizados como nós de uma rede em que a FMC ocupa um de seus mais importantes

centros.

12. O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.

13. Refletida no campo educacional, a percepção da relação dinâmica entre texto e contexto, entre autor e leitor, que caracteriza o hipertexto e as tecnologias intelectuais da informática, indica a necessidade de uma construção do saber em fluxo, tornando ineficazes as tentativas de se definirem pré-requisitos de aprendizagem.

#### **V - Relações**

1. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione diferentes campos conceituais da Física (Mecânica, Termodinâmica, etc). Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

2. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione a Física com a Química ou com a Biologia ou com a Matemática. Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

3. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione a Física com outras disciplinas e/ou áreas de conhecimento (História, Geografia, Medicina, Arqueologia, etc). Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

4. Indique ao menos um exemplo (ainda não citado ao longo desse questionário) de impregnação da Física Quântica na vivência da sociedade contemporânea.



## APÊNDICE D - MACROS DESENVOLVIDAS NO *WORD*

### D.1 – Macro-I para eliminação de acentos e sinais gráficos<sup>1</sup>:

```
Sub A0_Deletar_Acentos()  
,  
' AddNamespaceToMathMLInTextOnClipboard Macro  
,  
,  
With ActiveDocument.Content.Find  
  
.Text = "á"  
.Replacement.Text = "a"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "é"  
.Replacement.Text = "e"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "í"  
.Replacement.Text = "i"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ó"  
.Replacement.Text = "o"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ú"  
.Replacement.Text = "u"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ê"  
.Replacement.Text = "e"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
  
End With  
End Sub
```

### D.2 – Macro-II para composição da lista de palavras a serem excluídas

```
Sub A0_Deletar_Palavras_Criar_Lista()  
  
Selection.Copy  
Selection.Cut
```

---

<sup>1</sup> Aqui apresentada apenas como um recorte das linhas de código componentes da macro; a cada novo caractere que se deseje excluir, basta “copiar e colar” antes do código que encerra a macro a instrução

```
.Text = "caractere_a_ser_excluido"  
.Replacement.Text = " caractere_a_ser_excluido"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll
```

```
Documents.Open
FileName:="D:\Documents\IFSP\Cursos\PE3\2013_ANX4_I_original\Automap\deletar_palavras.txt"
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
End With

End Sub
```

### **D.3 – Macro III para composição da lista de associação de palavras**

```
Sub A0_Associar_Palavras_Criar_Lista()
Selection.Copy
Selection.Cut
Documents.Open FileName:="D:\Documents\IFSP\Cursos\PE3\juntar_palavras.txt"
Selection.GoTo What:=wdGoToBookmark, Name:="\EndOfDoc"
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
Dim Text1 As String
Text1 = ","
Selection.TypeText (Text1)
End With
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
End With
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
Selection.GoTo What:=wdGoToBookmark, Name:="\Para"
With Selection.Find
    .Forward = False
    .Text = " "
    .ClearFormatting
    .Replacement.Text = "_"
    .Execute Replace:=wdReplaceAll
End With
Selection.HomeKey Unit:=wdLine
Selection.TypeBackspace

End Sub
```

## APÊNDICE E - CLASSIFICAÇÃO DOS NÓS DA REDE CONCEITUAL - OFICINAS\_V7

### E.1 – Distribuição nas disciplinas e áreas

Nós	Classificação
<p>Aceleradores de partículas, temperatura crítica alta, Atomo de Bohr, temperatura crítica baixa, Calor, Campo elétrico, Campo magnético, Campo Magnético crítico, Campo magnético da terra, cargas elétricas, Celsius, Circuitos elétricos, Condutores elétricos, Corrente elétrica, Diferença de Potencial, Efeito fotoelétrico, Efeito Meissner, Elétrons, Energia Nuclear, grandeza escalar, Escalas Termométricas, exclusão do campo magnético no material, Fahrenheit, Força elétrica, Fótons, frequência e energia, Supercondutor Tipo I e Tipo II, Ima, Isolantes elétricos, Kelvin, metais, nêutrons, partículas atômicas, Potencial elétrico, Primeira lei de Ohm, prótons, alta resistência elétrica, resistência elétrica nula, baixa resistência elétrica, Resistência Elétrica, Supercondutores, Temperatura crítica menor 77K, Temperatura crítica maior 77K, temperatura crítica, temperatura do planeta, grandeza vetorial, Zero absoluto, Acústica, Autôfalantes, Câmera Infravermelha, Células Térmicas, Detector de ondas gravitacionais, Detector Mario Schenberg, Efeito Hall, Eletromagnetismo, Exame SEM de amostras, Mecânica, Microfone, Óptica, Pastilhas de Peltier, Radiações, Semicondutores, Termofísica, agitação das partículas, alta temperatura crítica, campo magnético nulo, baixa temperatura crítica, Baixa Temperatura, Comportamento dos supercondutores, condensado de Bose Einstein, Diamagnetismo Perfeito, Eletroímãs ampliadores de campo magnético, Energia, energia de gap, exceto cobre prata ouro, fenômeno eletromagnético, fenômeno térmico, fenômeno quântico, fluidez de carga elétrica, flutuação magnética, fônon, perda de calor, Geradores de Eletricidade e cabos de transmissão, Hg 4 2K MgB2 39 2K, linhas de campo, liquefação do hélio e supercondutores, magnético, medida de temperatura, Meios de propagação, rede cristalina, Pares de Cooper, barreira de potencial, preso no fônon, sem efeito joule, Sem resistividade, supercondutividade e superfluidez, superfluidez, temperatura abaixo da crítica, Teoria BCS, teoria da supercondutividade teoria BCS, Supercondutor Tipo I, Supercondutor Tipo II, tipos de supercondutores, Tunelamento, tunelamento nos supercondutores e semicondutores, vence repulsão de Coulomb, partícula alfa, átomo, partícula beta, Eletricidade, Física, física clássica, física moderna, Física Nuclear, Fissão nuclear, Fusão Nuclear, raios gama, meia-vida, Núcleo Atômico, obtenção de energia, Ondas eletromagnéticas, Ondulatória, probabilidades, Radiatividade, Raio X, raios catódicos, Termodinâmica, absorção de energia, Aquecimento de um gás, Arco íris, colisão de elétrons, coloração amarelada, coloração vermelha, cores brilhantes, cores, emissão de fótons, Espectro Descontínuo, Espectro Solar, estrutura de materiais, feixe de luz solar, feixes de luz coerente, Lâmpada Fluorescente, fornos, Graos de Energia, Lâmpadas Incandescentes, luz incidente na pele, opaco ao infravermelho, ionização do gás Hg, Lâmpadas, Linhas espectrais, absorção de luz ultravioleta, luz vermelha amarelada, luz visível, Temperatura, ondas luminosas absorvidas e refletidas, filamento de tungstênio, eletrodos, tubos com mistura de Hg e Ne, passagem de ondas eletromagnéticas, Planck, Prisma, radiação eletromagnética, Radiação Solar, reação em cadeia, Refração da Luz, Saltos quânticos, opacos a luz, transparentes a luz, substância fosforescente, radiação emitida para a superfície terrestre, temperatura e cor da luz, Lâmpada de vapor de sódio, comprimento de onda, Detector Piroelétrico, Fotodiodo, Frequências, Lâmpadas de Mercúrio, Lâmpadas de Xenônio, Linhas de Fraunhofer, Newton e a espectroscopia, Radiação do Corpo Negro, aparelhos elétricos, dilatação térmica, Espectro Eletromagnético, força eletromotriz, Forças fundamentais, geradores elétricos, Gravitação, indução magnética, Lei de Lenz e Faraday, Segunda lei de Newton, Leis de Newton, luz, Magnetismo, Máquinas Térmicas, Motor mecânico, motores elétricos, estado físico, ondas, pilhas,</p>	Física

<p>potencia eletrica, processos de eletrizacao, reacoes nucleares, relatividade, tensao eletrica, Trabalho, voltagem, Campos, Coesao das particulas subatomicas, Forca_Eletromagnetica, Energia Potencial Gravitacional, Fisica Atomica, Fisica de Particulas, Forca_Gravitacional, Gregos: Atomistica, Interacoes Fundamentais, Massa e Matéria, Mecanica Newtoniana, Mecanica Quantica, Forca_Nuclear_Forte, Forca_Nuclear_Fraca, carga eletrica positiva, carga eletrica negativa, antenas de transmissao, bluetooth, onda classica, colapso da funcao de onda, onda de Schrodinger, decaimento nuclear, eletromagnetica, emissao de eletron, equacao de onda, espectro de cores, forno de micro_ondas, funcao de onda, infravermelho, ionizacao de celulas, massageadores, Micro_ondas, ondas de radio, oscilacao, partícula, quanta, corpo negro, radio, radio am fm, ultravioleta, wifi, Aparelhos de telefonia movel, Campos magneticos de alta intensidade, Datacao Radioativa, dominio antropomorfo, dominio astronomico, dominio nuclear, Dominio Quantico, Eletrodinamica Quantica, Energia eletrica, Interacao eletrica, Interacao eletrofraca, Interacao magnetica, Particulas fundamentais, Resistividade, Supercorrentes, Tempo, Controles remotos, EINSTEIN, Emissao e Absorcao, Espectro de emissao, Modelo Atomico de Dalton, Modelo Atomico de Thomson, Modelos atomicos, Ondas curtas medias e longas, Ressonancia, Rutherford</p>	
<p>Biologia, ceramica, efeito estufa, Elementos quimicos, materiais, Quimica, Sentido magnetico em animais, ligacoes_quimicas, Astrofisica, Biofisica, Nanocristais de Alta Fotoluminescencia, ceramicos, composto nao metalico, materiais ceramicos supercondutores, fontes de emissao artificial, idade de fosseis e planetas, linguagem unica, matematica, Seres vivos, Astronomia, atomos de Hidrogenio, atomos de Na, atomos de Neonio, bronzeamento natural, CO2 na atmosfera, elementos quimicos diferentes, escurecimento de pele, Espectroscopia, Fogos de Artificios, Fotossintese, liberacao de melanina, macromoleculas, plantas e algas, Teste de Chama, vidro, Astrobiologia, Biociencias, Biologia Molecular, Bioquimica, Caracterizacao de bacterias, carbono e diamantes, Ciencia dos materiais, Composicao da atmosfera de planetas, Cosmologia, Descoberta de elementos quimicos, Estrelas, Identificacao de microorganismos, Identificacao de Substancias, Nanotecnologia, Sol, corpo humano, visao, composicao de corpos, espectrometria, sintese de vitamina D, satelites artificiais, Celulas, Corpos celestes, satelites naturais, Olhos, Reino vegetal, Satelites, Tabela periodica</p>	Ciências da Natureza
<p>barragens, Bombas nucleares, Chernobyl, Acidentes nucleares, discussao, geracao de energia eletrica, Fukushima, Geografia, Guerra mundial, Hiroshima, Historia, Impactos ambientais, Medicina, mudancas climaticas, Nagasaki, relevo geografico, Ressonancia Magnetica Nuclear, Sociologia, Trens MAGLEV, Usina eolica, Hidreletricas, Usinas nucleares, termeletrica, Usinas eletricas, Diodos, visao noturna, Geologia, Industria Belica, Microprocessadores, Minas Terrestres, Misseis, MOSFET, Paleomagnetismo, Protesses, Supercomputadores, Tiristor, Transistor, PREMIO NOBEL, goiania, alternativa para o futuro, antropologia, armas nucleares, bomba atomica, bomba hidrogenio, cintilografia, degradacao do meio ambiente, doencas, esterilizacao alimentos, incertezas, poder, preservacao do meio ambiente, Reatores nucleares, tratamento, deteccao e prevencao de doencas, aquecimento global, iluminacao de shows, iluminacao publica, iluminacao residencial e industrial, Lasers, Metalurgia, Aplicacoes tecnologicas, Geociencias, Industria, Industria farmaceutica, Belicismo Nuclear, Eletromiografia, esporte, Historia e Geografia, Kung Fu, sensores, Diagnosticos Exames e Terapias, Eletroeletronicos e Comunicacao, Energia no Brasil, Engenheiros Fisicos Cientistas Especilistas Professores e Tecnicos, Geracao e Consumo Energetico, Meio Ambiente Impactos, Pesquisa Cientifica Desenvolvimento Tecnologico, Pros e Beneficios Contras e Ricos, Usinas e Reatores Nucleares, cancer de pele, cancerigeno, celular, comunicacao de baixa distancia, diagnostico medico, esterilizacao, sensores de calor, telefone, telefone sem fio, tomografia, transmissao via saetile, Dominio territorial topografico, Estudo dos acontecimentos, Radiofarmacos, Sociedade, Tecnologias, Telecomunicacoes, Equipamentos e dispositivos de comunicacao, Evolucao da Transmissao de informacoes e seus impactos sociais, Influencia na sociedade, Sensores de elevadores, Sensores iluminacao de Rua</p>	Outras áreas

## E.2 – Termos contextualizados no desenvolvimento da física quântica

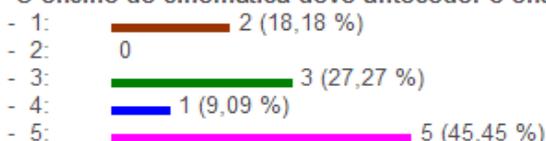
Nanocristais de Alta Fotoluminescencia, materiais ceramicos supercondutores, idade de fosseis e planetas, atomos de Hidrogenio, atomos de Na, atomos de Neonio, Espectroscopia, Teste de Chama, Identificacao de microorganismos, Identificacao de Substancias, Nanotecnologia, espectrometria, Tabela periodica, Aceleradores de particulas, temperatura critica alta, Atomo de Bohr, temperatura critica baixa, Efeito fotoeletrico, Efeito Meissner, Energia Nuclear, Fotons, Supercondutor Tipo I e Tipo II, neutrons, particulas atomicas, protons, Supercondutores, Temperatura critica menor 77K, Temperatura critica maior 77K, temperatura\_critica, Camera Infravermelha, Detector de ondas gravitacionais, Detector Mario Schenberg, Efeito Hall, Exame SEM de amostras, Pastilhas de Peltier, Radiacoes, Semicondutores, Comportamento dos supercondutores, condensado\_de Bose\_Einstein, energia de gap, fenomeno\_quantico, flutuacao magnetica, fonon, Hg 4 2K MgB2 39 2K, liquefacao do helio e supercondutores, rede\_cristalina, Pares de Cooper, barreira de potencial, preso no fonon, supercondutividade e superfluidez, superfluidez, temperatura abaixo da critica, Teoria BCS, teoria da supercondutividade\_teorias BCS, Supercondutor\_Tipo\_I, Supercondutor\_Tipo\_II, tipos de supercondutores, Tunelamento, tunelamento nos supercondutores e semicondutores, particula alfa, atomo, particula beta, fisica moderna, Fisica\_Nuclear, Fissao nuclear, Fusao Nuclear, raios gama, meia\_vida, Nucleo Atomico, Radiatividade, Raio\_X, raios catodicos, colisao de eletrons, coloracao amarelada, coloracao vermelha, cores brilhantes, cores, emissao de fotons, Espectro Descontínuo, feixes de luz coerente, Lampada Fluorescente, Graos de Energia, Linhas espectrais, absorcao de luz ultravioleta, tubos com mistura de Hg e Ne, Planck, reacao em cadeia, Saltos quanticos, substancia fosforescente, Lampada de vapor de sodio, Detector Piroeletrico, Fotodiodo, Lampadas de Mercurio, Lampadas de Xenonio, Newton e a espectroscopia, Radiação do Corpo Negro, Forças fundamentais, reacoes nucleares, Coesao das particulas subatomicas, Fisica Atomica, Fisica de Particulas, Interacoes Fundamentais, Mecanica Quantica, Forca\_Nuclear\_Forte, Forca\_Nuclear\_Fraca, bluetooth, colapso da funcao de onda, onda de Schrodinger, decaimento nuclear, emissao de eletrons, equacao de onda, espectro de cores, forno de micro\_ondas, funcao de onda, infravermelho, Micro\_ondas, quanta, corpo negro, ultravioleta, wifi, Datacao Radioativa, dominio nuclear, Dominio Quantico, Eletrodinamica Quantica, Interacao eletrofraca, Particulas fundamentais, Supercorrentes, EINSTEIN, Espectro de emissao, Bombas nucleares, Chernobyl, Acidentes nucleares, Fukushima, Hiroshima, Nagasaki, Ressonancia Magnetica Nuclear, Usinas nucleares, Diodos, visao noturna, Microprocessadores, Misseis, MOSFET, Supercomputadores, Tiristor, Transistor, goiania, alternativa para o futuro, armas nucleares, bomba atomica, bomba hidrogenio, cintilografia, esterilizacao alimentos, Reatores nucleares, Lasers, Belicismo Nuclear, sensores, Pros e Beneficios Contrastes e Riscos, Usinas e Reatores Nucleares, celular, esterilizacao, sensores de calor, telefone sem fio, transmissao via saletile, Sensores de elevadores, Sensores iluminacao de Rua.



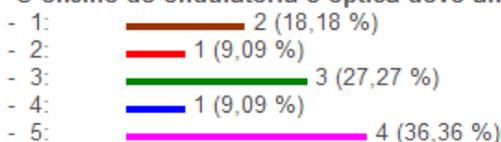
## APÊNDICE F – RESPOSTAS DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA APLICADA NA OFICINAS V\_7

**F.1 – Distribuição estatística das respostas apresentadas no início do curso (a escolha de um número maior, desde 1 até 5, indica maior afinidade com a afirmação).**

**O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.**



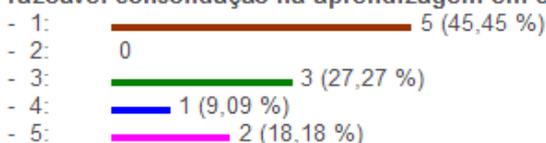
**O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.**



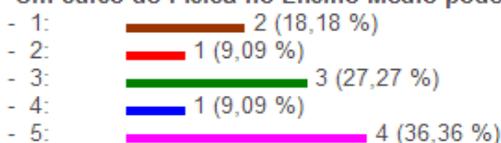
**O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.**



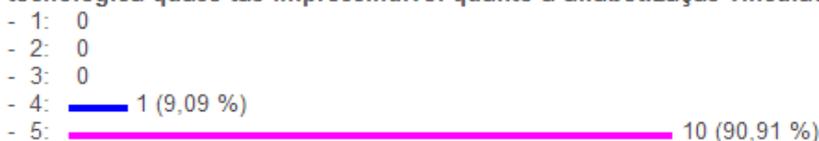
**Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.**



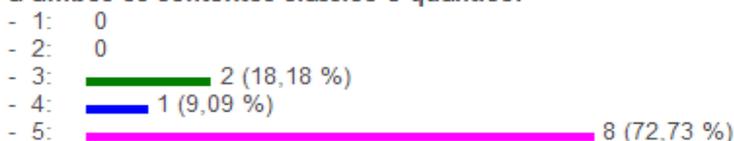
**Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.**



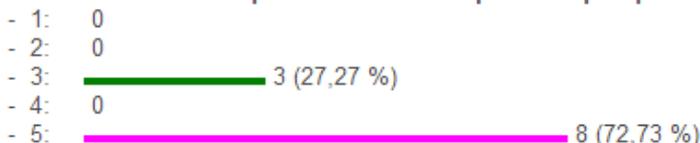
**A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.**



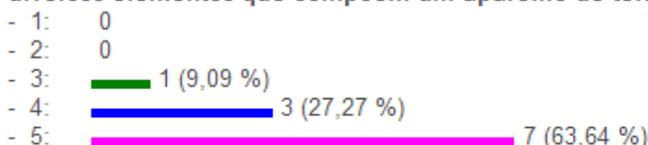
**Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculad a ambos os contextos clássico e quântico.**



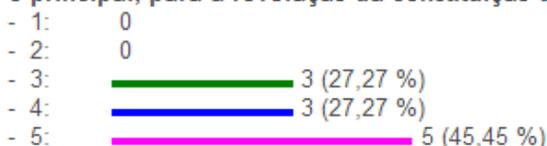
O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.



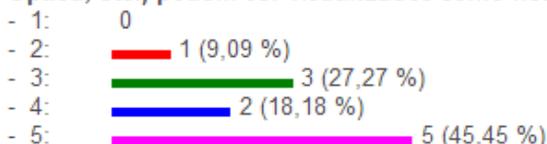
Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD.



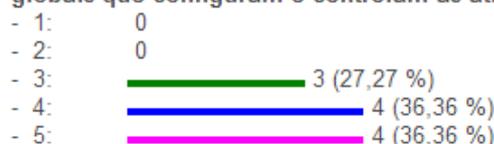
A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.



Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física (Mecânica, Física Térmica, Óptica, etc.) podem ser visualizados como nós de uma rede tecida pela Física Quântica.



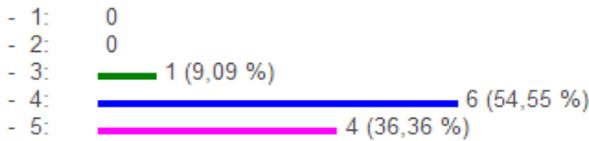
O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.



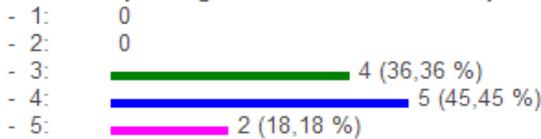
Refletida no campo educacional, a percepção da relação dinâmica entre texto e contexto, entre autor e leitor, que caracteriza o hipertexto e as tecnologias intelectuais da informática, indica a necessidade de uma construção do saber em fluxo, tornando ineficazes as tentativas de se definirem pré-requisitos de aprendizagem como norteadores da estrutura curricular.



A Física Quântica tem potencial para ser elemento essencial na textura de redes conceituais no ensino de física.

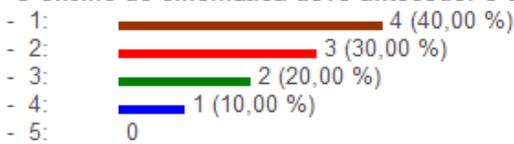


A Física Quântica não deve ser percebida como um conteúdo a mais, mas, sim, como um conteúdo privilegiado a ser ensinado e aprendido ao longo de todo o ensino médio.

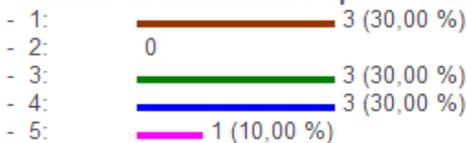


**F.2 – Distribuição estatística das respostas apresentadas no final do curso (a escolha de um número maior, desde 1 até 5, indica maior afinidade com a afirmação).**

O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.



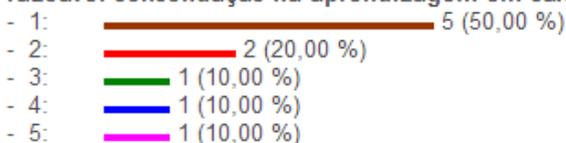
O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.



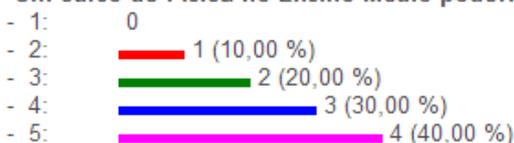
O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.



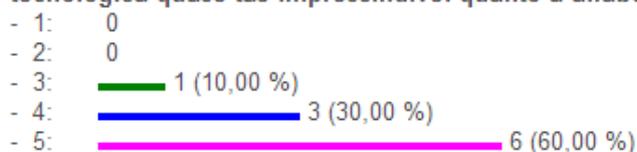
Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.



Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.



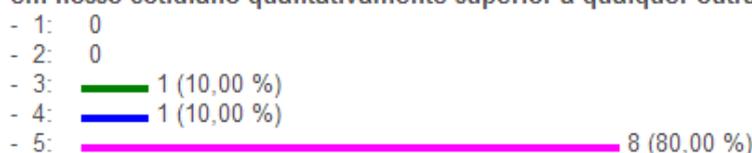
A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.



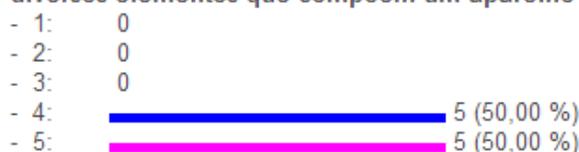
Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico.



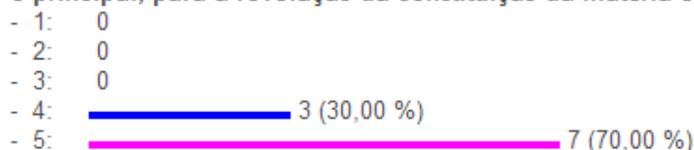
O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.



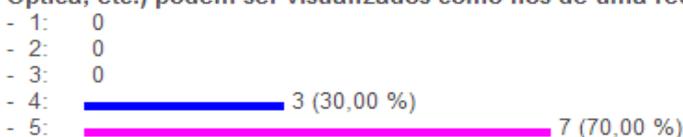
Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD.



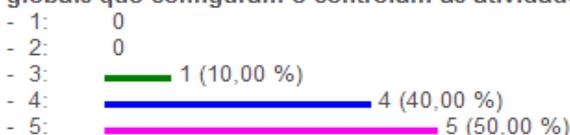
A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.



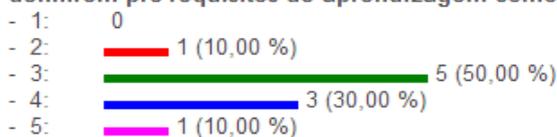
Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física (Mecânica, Física Térmica, Óptica, etc.) podem ser visualizados como nós de uma rede tecida pela Física Quântica.



O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.



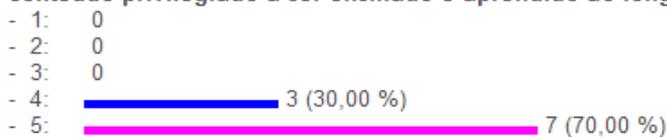
Refletida no campo educacional, a percepção da relação dinâmica entre texto e contexto, entre autor e leitor, que caracteriza o hipertexto e as tecnologias intelectuais da informática, indica a necessidade de uma construção do saber em fluxo, tornando ineficazes as tentativas de se definirem pré-requisitos de aprendizagem como norteadores da estrutura curricular.



A Física Quântica tem potencial para ser elemento essencial na textura de redes conceituais no ensino de física.



A Física Quântica não deve ser percebida como um conteúdo a mais, mas, sim, como um conteúdo privilegiado a ser ensinado e aprendido ao longo de todo o ensino médio.





## APÊNDICE G - EXEMPLO DE TEXTO UTILIZADO EM ESM

### *GASES INCANDESCENTES: ESPECTRO DESCONTÍNUO<sup>1</sup>*

A ideia de Einstein de que a luz é constituída por fótons com determinados *quanta* de energia serviu para resolver um mistério que intrigava muitos cientistas há vários anos envolvendo a luz emitida por gases superaquecidos (esse fenômeno é utilizado nas lâmpadas da iluminação pública como as amarelas, e sódio, ou azuladas, de mercúrio). Se a luz emitida pelo gás for feita passar por um prisma, o espectro produzido não é contínuo como o arco-íris: linhas brilhantes separadas por faixas escuras, formando um espectro fatiado. Por quê?

Um prisma separa as cores do feixe de luz que nele incide. Isso ocorre devido à refração da luz no prisma, que produz desvio maior sobre a radiação luminosa de maior frequência; assim, o que era um feixe único de cores torna-se um feixe espalhado com diversos ângulos de saída de diferentes cores. O arco-íris também resulta desse fenômeno, só que produzido pela refração da luz solar em gotículas de água em suspensão, após a chuva. O mistério, que somente foi resolvido pela teoria quântica, era que o arco-íris tem espectro contínuo de cores (e, portanto de frequências), mas um gás aquecido produz um arco-íris “fatiado”, o que é denominado espectro descontínuo.

Conhecidos desde o século XIX, os espectros descontínuos eram comumente usados como uma técnica para a identificação da presença de elementos químicos em compostos. Já se sabia que cada substância tem seu espectro característico, mas não havia uma explicação para o fenômeno da descontinuidade do espectro e das linhas espectrais, também denominadas raias.

Utilizando a ideia dos grãos de energia quânticos, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962) propôs que um elétron, para perder energia, ao decair de uma órbita ao redor do núcleo de maior energia para outra de menor energia, emitia um quantum de luz.

O átomo se assemelharia a um sistema planetário, com elétrons girando ao redor do núcleo, sendo a própria energia do elétron no átomo também quantizada, podendo ocupar apenas certas órbitas. A diferença de energia entre duas órbitas seria igual ao quantum  $hf$  da luz emitida ( $\Delta E = hf$ ), quando elétrons de uma órbita fossem para outra. Saltos entre órbitas mais distantes corresponderiam à absorção ou emissão de radiações eletromagnéticas de maior frequência (absorção: salto de órbita com menor energia para outra com maior energia; emissão: salto de órbita com maior energia para outra com menor energia). Com  $\Delta E = hf$  acima de certos valores, a radiação emitida ou absorvida já não seria luz visível, podendo ser de ultravioleta até raios X.

#### *O espectro do hidrogênio e os átomos de Rutherford e Bohr*

No início do século XX, fizeram-se muitos estudos sobre os espectros dos elementos químicos. Como historiadores tentando decifrar hieróglifos, cientistas procuravam encontrar algum padrão que explicasse as linhas espectrais, por exemplo, das Séries do Hidrogênio, nome dado às sequências de linhas espectrais do hidrogênio que apresentam um padrão comum. .

O átomo pensado como um “sistema planetário” de elétrons circulando em torno de núcleos positivos, como propôs Rutherford, explicaria um espectro contínuo. O espectro discreto,

---

<sup>1</sup> Texto formulado a partir do exposto nas páginas 14-16 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003

“fatiado”, teve uma primeira explicação dada por Bohr, que propôs a existência de órbitas eletrônicas “fixas”.

De um estado de menor energia,  $E_1$ , o elétron poderia saltar para órbitas mais externas, de maior energia,  $E_2$ , ao absorver a energia de um fóton.

Ao retornar à órbita original, o elétron perderia a energia absorvida, emitindo um fóton de frequência proporcional à diferença de energia entre as órbitas:  $hf = E_2 - E_1 = \Delta E$ .

Bohr calculou que a energia de cada órbita teria um valor dado pela expressão  $E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$ ,

em que  $n$  é o número da órbita, também denominado número quântico principal de cada elétron.

Assim, a energia do elétron em cada órbita seria:

- no estado fundamental ( $n = 1$ ) seria:  $E_1 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{1^2} = -13,6 \text{ eV}$  ;
- no segundo nível de energia ( $n = 2$ ):  $E_2 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$  ;
- no terceiro nível de energia ( $n = 3$ ):  $E_3 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{3^2} = -1,51 \text{ eV}$  ;

... e assim sucessivamente, com os valores dos níveis de energia cada vez menos negativo até chegar ao valor nulo, quando o elétron escaparia do átomo, podendo assumir qualquer valor de energia.

Apesar de ser um sucesso para a explicação de todas as séries espectrais do hidrogênio, o modelo atômico quântico de Bohr tinha de ser constantemente reajustado para explicar o espectro de outros átomos com maior número de elétrons.

Da órbita circular, determinada pelo número quântico principal  $n$ , derivaram-se órbitas elípticas com diferentes inclinações, dadas por outros números quânticos. Mais tarde, uma verdadeira teoria quântica seria formulada, descartando as ideias clássicas, de trajetórias de elétrons circulando em torno do núcleo, sejam elas circulares ou elípticas.

### Questões:

1. No modelo de átomo de Bohr (modelo planetário do átomo), os elétrons estariam em camadas definidas (numeradas de 1 até  $\infty$ ), das quais poderiam saltar conforme ganhassem ou perdessem energia. Qual o valor mínimo da energia dos fótons para excitar o átomo de hidrogênio nas seguintes transições?

- a) do nível fundamental ( $n = 1$ ) para o segundo nível energético ( $n = 2$ );
- b) do nível fundamental ( $n = 1$ ) para o terceiro nível energético ( $n = 3$ );
- c) do nível fundamental ( $n = 1$ ) para o quarto nível energético ( $n = 4$ );
- d) do segundo nível energético ( $n = 2$ ) para o terceiro nível energético ( $n = 3$ );
- e) do terceiro nível energético ( $n = 3$ ) para o quarto nível energético ( $n = 4$ );

2. Qual(is) das transições acima poderia(m) ser realizada(s) pela luz visível (de  $f = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  até  $f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ )?

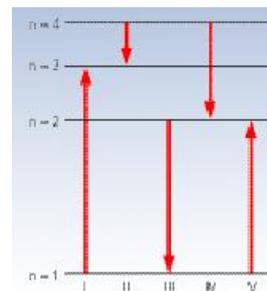
3. (UFMG) Para produzir fogos de artifício de diferentes cores, misturam-se diferentes compostos químicos à pólvora. Os compostos à base de sódio produzem luz amarela e os à base de bário, luz verde. Sabe-se que a frequência da luz amarela é menor que a da verde. Sejam  $E_{\text{Na}}$  e  $E_{\text{Ba}}$  as diferenças de energia entre os níveis de energia envolvidos na emissão de luz pelos átomos de sódio e de bário, respectivamente, e  $v_{\text{Na}}$  e  $v_{\text{Ba}}$  as velocidades dos fótons emitidos, também respectivamente. Assim sendo, é correto afirmar que:

- a)  $E_{\text{Na}} < E_{\text{Ba}}$  e  $v_{\text{Na}} = v_{\text{Ba}}$ ;
- b)  $E_{\text{Na}} < E_{\text{Ba}}$  e  $v_{\text{Na}} \neq v_{\text{Ba}}$ ;
- c)  $E_{\text{Na}} > E_{\text{Ba}}$  e  $v_{\text{Na}} = v_{\text{Ba}}$ ;

d)  $E_{Na} > E_{Ba}$  e  $v_{Na} \neq v_{Ba}$ .

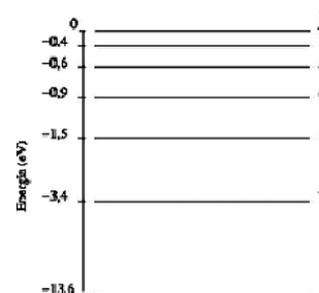
4. (ITA) O diagrama ao lado mostra os níveis de energia ( $n$ ) de um elétron em certo átomo. Qual das transições mostradas na figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?

- I.
- II.
- III.
- IV.
- V.



5. Qual o nível de menor energia do átomo de hidrogênio que deve estar um elétron para que ao saltar para o nível  $n = 2$ , emita um fóton que provoque o efeito fotoelétrico em um material cuja função trabalho vale  $2,7 \text{ eV}$ ?

6. (UFJF) A figura ao lado mostra os níveis de energia do átomo de hidrogênio. Se inicialmente o elétron está no estado quântico fundamental (de menor energia), qual a sua energia cinética após o átomo ter sido ionizado por um fóton de energia  $20 \text{ eV}$ ?



- $33,6 \text{ eV}$ .
- $13,6 \text{ eV}$ .
- $6,4 \text{ eV}$ .
- $10,2 \text{ eV}$ .

7. Suponha que um elétron tenha saltado do nível 4 para o nível 2 do átomo de hidrogênio.

- Calcule a energia e a frequência do fóton emitido;
- Determine para quais dos materiais listados abaixo esse fóton poderá provocar o efeito fotoelétrico;

platina:  $E_{\text{mínima}} = 6,35 \text{ eV}$ ; prata:  $E_{\text{mínima}} = 4,74 \text{ eV}$ ; antimônio:  $E_{\text{mínima}} = 2,4 \text{ eV}$ ; potássio:  $E_{\text{mínima}} = 2,20 \text{ eV}$ ; célio:  $E_{\text{mínima}} = 1,90 \text{ eV}$

8. Uma linha do espectro de raios X do ouro tem comprimento de onda  $0,18 \text{ \AA}$ . Determine a energia do estado estacionário inferior, sabendo que a energia do estado superior, cuja transição resulta na linha observada é  $-13,7 \text{ keV}$ . OBS:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

9. Mostre, num diagrama de níveis de energia do hidrogênio, os números quânticos que correspondem a uma transição em que o fóton emitido tem o comprimento de onda  $121,6 \text{ nm}$ .

10. Suponha que um átomo de hidrogênio seja excitado de um estado com  $n = 1$  até um estado com  $n = 4$ .

- Calcule a energia que deve ser absorvida pelo átomo.
- Calcule as diferentes energias dos fótons que podem ser emitidos se o átomo retornar ao estado  $n = 1$ .
- Desenhe um diagrama destes níveis de energia.
- Classifique os fótons identificados no item "b" como correspondentes à luz infravermelha, à luz visível ou à luz ultravioleta. Para tal, observe os seguintes dados relacionados ao espectro eletromagnético: luz infravermelha: de  $1 \text{ mm}$  a  $700 \text{ nm}$ ; luz visível: de  $700 \text{ nm}$  a  $400 \text{ nm}$ .

nm; Luz ultravioleta: de 400 nm a 1 nm.

11. De forma simplificada, o cálculo dos níveis quânticos de energia do átomo de Hélio ionizado pode ser efetuado pela seguinte expressão:  $E_n = \frac{-54,4}{n^2}$ , onde  $n$  é o número quântico correspondente a cada nível energético, com  $n = 1$  correspondendo ao estado de menor energia, ou fundamental. Qual o nível de menor energia do átomo de Hélio ionizado para que um elétron ao saltar para o nível  $n = 2$  emita um fóton que provoque o efeito fotoelétrico no tântalo de função trabalho 4,2 eV?

## APÊNDICE H – PERGUNTAS QUÂNTICAS

### H.1 – As *perguntas quânticas* e questões delas decorrentes conforme trabalhadas junto aos licenciandos de ESM, 2013\_01

- A) *Quais as principais diferenças se imagina haver entre a atmosfera primitiva e a de hoje e como isso interferiu na origem da vida e no tipo de radiação que hoje nos atinge?*
- A1) Por que a camada de ozônio absorve radiações UV?
  - A2) Por que o dióxido de carbono é transparente à luz visível emitida pelo Sol mas opaco à luz infravermelha emitida pela superfície terrestre?
  - A3) Por que o nitrogênio presente na atmosfera não pode ser diretamente utilizado pelos organismos vivos e de que forma ele é convertido para formas químicas que tornam tal uso possível?
  - A4) Por que a ação da radiação solar destruiu boa parte das moléculas de metano e de amoníaco presentes na atmosfera primitiva?
- B) *Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*
- B1) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pelos sais de prata presentes nas lentes fotocromáticas de serem sensíveis à luz, especialmente à luz ultravioleta?
  - B2) Qual exatamente o processo físico-químico característico às lentes fotocromáticas que promove a conversão dos sais de prata em prata metálica e a posterior reconversão?
  - B3) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pela melanina de absorver a luz solar?
  - B4) Que processo físico-químico ocorre quando a melanina absorve a luz solar e por que uma exposição intensa à luz solar pode originar um câncer de pele?
  - B5) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pela clorofila de absorver a luz solar?
  - B6) Qual a explicação quântica para a transformação da energia luminosa em energia química que caracteriza o processo da fotossíntese?
- C) *Por que a técnica da difração de raios X foi fundamental na descoberta da estrutura do DNA e quais suas diferenças para com a técnica envolvida com a microscopia eletrônica e óptica?*
- Em virtude de recorrentes ausências do licenciando nas aulas relativas ao trabalho com as *perguntas quânticas*, não foram formuladas questões decorrentes a essa pergunta.
- D) *Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores?*
- D1) Qual a explicação quântica para a cor característica dos pigmentos geralmente encontrados nas flores, bem como para o verde que caracteriza a clorofila?
  - D2) Por que as abelhas enxergam UV e não vêem o vermelho enquanto nós vemos o vermelho mas não vemos o UV?
  - D3) De que maneira a coloração da clorofila se relaciona com o processo energético da fotossíntese?
  - D4) Por que algumas folhas mudam de cor ao longo do ano?
- E) *Por que o carbono é tão importante para a vida e o silício tão importante para a microeletrônica?*

- E1) De que forma a configuração eletrônica do carbono explica a existência dos cerca de 10 milhões de compostos de carbono, sua presença em todas as formas de vida, sendo um dos elementos mais importantes para a estrutura dos seres vivos?
- E2) Além de compor a estrutura dos seres vivos, a presença de compostos gasosos de carbono na atmosfera impedem a perda para o espaço sideral de parte do calor emitido pela superfície terrestre, garantindo uma temperatura adequada para a formação e manutenção da vida. Qual a explicação quântica para esse processo?
- E3) De que forma a configuração eletrônica do carbono e de seus compostos explica sua absorção pelas plantas e pelos oceanos?
- E4) De que forma a configuração eletrônica do silício explica sua abundante presença na microeletrônica?
- F) *O que é luz síncrotron e como ela é utilizada para investigação da estrutura de proteínas e biotecnologia em geral?*
- F1) Por que é necessário que os elétrons ganhem velocidade próxima à da luz para que a luz síncrotron seja emitida?
- F2) O acelerador síncrotron pode ser classificado como um tipo de ciclotron. O que é um ciclotron e quais seus diferentes tipos?
- F3) Uma das vantagens da utilização da luz síncrotron frente a outras técnicas é sua grande intensidade. Por que a luz síncrotron é tão intensa e quais outras vantagens podem ser indicadas para o uso da luz síncrotron?
- F4) Além da cristalografia molecular, que outras aplicações se faz com o uso dos raios X produzidos por um acelerador síncrotron?
- F5) E quanto às demais faixas de frequência por ele produzidas? Onde são utilizadas e por que se utilizam diferentes tipos de luz a depender do que se pretende investigar?
- G) *Como funcionam os sensores que controlam a iluminação automática de ruas, corredores e escadas de edifício, a abertura de portas de lojas, aeroportos e elevadores e o acionamento pelo controle remoto de recursos de uma televisão?*
- Em virtude de recorrentes ausências do licenciando nas aulas relativas ao trabalho com as *perguntas quânticas*, não foram formuladas questões decorrentes a essa pergunta.

## **H.2 – Questões propostas como forma de verificar a apreensão de cada licenciando para com as respostas apresentadas pelos demais colegas, bem como para com a percepção do enredamento conceitual inerente ao conjunto das *perguntas quânticas*.**

- I) Escolha uma pergunta que não tenha sido seu próprio tema de pesquisa para, com base na apresentação do colega e em seus próprios conhecimentos, respondê-la de forma a mais objetiva, clara e completa possível, tendo por base o tempo médio de uma questão de uma tradicional prova escrita;
- II) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem diferentes campos conceituais da Física (Mecânica, Termodinâmica, etc), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário;
- III) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem a Física com outra(s) área(s) das Ciências da Natureza (Química, Biologia, Matemática, Astronomia), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um

- outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário;
- IV) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem as Ciências da Natureza com outros campos de conhecimento (História, Geografia, Medicina, Arqueologia, etc), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado por nenhum seminário;
- V) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de impregnação da Física Quântica na vivência da sociedade contemporânea, com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário.

### H.3 – Respostas das questões apresentadas no item anterior pelos 5 licenciandos que realizaram a tarefa.

#### H.3.1 - Pergunta I:

##### ➤ Licenciando 1

Pergunta quântica escolhida: D (*Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores*).

Resposta: Pelo que entendi, ainda não temos uma explicação completa a respeito deste assunto..porém a mais aceitável até o momento é que as cores servem para chamar mais a atenção dos insetos para ajudar na polinização (reprodução das plantas), pois a visão dos insetos é bem limitada...e a cor verde, viabiliza a fotossíntese....devido o espectro luminoso que chega nas folhagens ser absorvido na maior parte das frequências e reflete o verde....facilitando este processo....

##### ➤ Licenciando 2

Pergunta quântica escolhida: B (*Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*).

Resposta: Nas lentes fotocromáticas ocorrem reações químicas onde a lente "queima" com a passagem de luz forte e as lentes escurecem. Ao ser atingida pela luz a folha recebe também ondas de alta energia, essa energia é suficiente para excitar o elétron e levá-lo a uma região de maior energia, quando esse elétron perde energia ele volta a sua camada original e emite um fóton nesse caminho de volta, no caso das folhas esse elétron carrega também as substâncias necessárias para a vegetação, servindo para o transporte de nutrientes. Na nossa pele existe uma substância chamada melanina, ela se ativa com raios de alta frequência vindos de qualquer fonte no nosso caso a maior parte vem do sol, ao ser atingida pela luz essas células se ativam e escurecem ao serem queimadas, pessoas que possuem mais melanina se queimam com maior facilidade, pessoas que possuem menos não apresentam alterações de cores.

##### ➤ Licenciando 3

Pergunta quântica escolhida: E (*Por que o carbono é tão importante para a vida e o silício tão importante para a microeletrônica?*).

Resposta: porque o carbono tem a capacidade de formar cadeias, e com isso é possível a existência de macromoléculas como proteínas ou o mesmo DNA, enquanto o silício forma estruturas hexagonais que se associam pela sua vez formando lamina cristalinas de elevada dureza, as quais podem ser modeladas em forma de pastilhas, que depois são fatiadas para dar a base de montagem dos microchips.

➤ Licenciando 4

Pergunta quântica escolhida: D (*Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores?*).

Resposta: Porque folhagem e flores tem estruturas moleculares diferentes. Quando o raio solar incide na folhagem ou na flor, as mesmas tem uma reação química, isto é, com a excitação dos elétrons, a mesma sai do seu nível estável de energia e emite um fóton. A energia dessa reação química refletirá uma luz que corresponderá a um determinado pigmento. No caso das folhagens, seu pigmento verde vem da característica da clorofila, que tem como atributo principal tal coloração e, portanto, ao reagir com a intensidade da luz solar, o elétron da clorofila se agita, altera seu nível energético e reflete a coloração verde. O mesmo processo ocorre com as flores, mas como cada flor tem uma estrutura, ao "interagir" com a intensidade solar, altera-se seu nível energético e assim parte da luz é absorvida e parte é refletida com uma determinada coloração. O pigmento das flores, portanto, é diretamente ligada a reação química em tais estruturas moleculares.

➤ Licenciando 5

Pergunta quântica escolhida: B (*Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*).

Resposta: Nas folhagens os fótons da luz solar vão excitar os cloroplastos, mais especificamente a clorofila, e aí então se iniciará processo de síntese de glicose e gás oxigênio por dióxido de carbono água e luz. Na pele humana os fótons vão excitar a ativar o pigmento melanina, que caracteriza o tom de pele que cada um possui, uma pessoa que possui mais melanina terá mais facilidade para se bronzear do que uma pessoa com menos. Nas lentes fotossensíveis, a disposição das moléculas que as constituem é que serão responsáveis pela alteração de cor das lentes quando expostas ao Sol, seus elétrons alteram seus níveis quânticos de energia pela exposição à luz, porém os mesmos não retornam as suas posições devido à exposição aos fótons, o que deixa as lentes escuras...

H.3.2 - Pergunta II, III, IV e V:

➤ Licenciando 1

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

A entrada de raios luminosos e o bloqueio de raios ultravioleta que se dá devido o nível de energia necessária para atravessar a camada de ozônio, que causa um filtro (seminário da pergunta A).

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

Raios ultravioletas que entram na nossa atmosfera e após absorção são refletidos como raios infravermelhos que acabam gerando calor para nosso planeta...pois devido seu nível de energia ser baixo não conseguem voltar para o espaço (seminário da pergunta E).

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

A utilização da luz sincronon para mapear / verificar fósseis sem destruir rochas (seminário da pergunta F).

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

A presença de silício na maioria dos componetes eletrônicos que permite uma mudança de frequencias na transmissão de dados (seminário da pergunta E)

➤ Licenciando 2

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

O efeito fotoelétrico mistura física quântica na parte que ao se emitir um fóton, ou seja ao se colocar pacotes de energia em qualquer material, pode-se arrancar seu elétron, e surge a parte da elétrica ao se alterar a voltagem e conseguir trazer esse elétron de volta, alterando seu movimento. o que aparece no seminário da pergunta B na parte da fotossíntese e no da pergunta E na explicação do efeito estufa. Na parte da radiação do corpo negro, a termodinâmica aparece na parte do aquecimento de corpos, agitação molecular. E a quântica explica a radiação, faixa de intensidade luminosa emitida.

Pergunta III ( Relação entre física e demais ciências da natureza):

No seminário da pergunta D esteve bem clara a relação dos fenômenos quânticos de alteração de nível energético de um elétron dentro de reações químicas que acontecem em um ser vivo, misturando física, química e biologia. A física quântica explica a radiação do corpo negro e isto pode ser relacionado com astronomia ao passo que isto ocorre com as estrelas, estando o sol incluso.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

No seminário da pergunta A aparece a relação da quântica com a arqueologia e a história, pois ao tentar decifrar como era a atmosfera nos tempo primitivos e também a relação química das moléculas dos gases. No seminário da pergunta B aparece também a relação da medicina com os fenômenos quânticos do bronzeamento e o câncer de pele e no seminário da pergunta C a utilização da quântica nos raios x pela medicina.

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

Atualmente utilizamos a física quântica na emissão de raios x, onde com frequências acima da luz ultravioleta é possível marcar chapas fotográficas, sendo muito utilizada na medicina para verificar os ossos uma vez que esses raios não passam os ossos e não marcam a chapa, assunto abordado no seminário da pergunta C. Um tema que não foi abordado é o das comunicações como por exemplo as ondas emitidas por um telefone móvel e sua transmissão.

➤ Licenciando 3

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

O fenômeno de difração de raios x, e a criação de imagens usando a deflexão de elétrons no microscópio eletrônico. na difração os raios x geram padrões de interferência reconhecíveis macroscopicamente, ao passar pela estrutura cristalina das moléculas, enquanto na microscopia eletrônica os elétrons defletidos geram imagens ou superfícies de nível que são interpretadas no computador como áreas de luz e sombra (seminário da pergunta C).

Pergunta III ( Relação entre física e demais ciências da natureza):

O fenômeno da fotossíntese e sua relação com o salto quântico gerado pelo impacto do fóton na molécula de clorofila, e a ativação do ciclo de Krebs pelo elétron desprendido. A atmosfera primitiva e sua diferente capacidade de absorção de radiações, vinculadas ao efeito estufa (seminários das perguntas A e B).

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

O uso de radiações x e gama na formação de imagens do corpo humano invisíveis com luz visível, e a marcação de órgãos internos com sais que são fluorescentes com os raios x. O conhecimento dos fenômenos atômico- nucleares que permitiu a dominação das atuais potenciais mundiais pela criação de armas de vasto poder letal (seminário da pergunta C).

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

A crença de que a física quântica pode ter influencia em fenômenos psicológicos, o estar diretamente relacionada com a existência do espírito humano imaterial.

➤ Licenciando 4

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

(A) No seminário da pergunta C, o tema sobre raio-x é bastante atrelado a óptica, que estuda fenômenos da luz através de ondas eletromagnéticas, pois o raio-x é uma eletromagnética carregada por fótons. (B) Não foi abordado em nenhum seminário o conceito da termodinâmica, onde relaciona temperatura x comprimento de onda, que estudamos no experimento de radiação do corpo negro. Associando os conhecimento de termodinâmica, à temperatura constante, um corpo negro ideal irradia energia na mesma taxa que a absorve, sendo essa uma das propriedades que o tornam uma fonte ideal de radiação térmica.

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

(A) Nos seminários das perguntas B e D houve a relação entre a quântica e a química e a biologia, expondo as reações necessárias para que com a intensidade da luz, haja uma reação química e justifique a pigmentação das folhagens e das flores e o efeito da fotossíntese. O principal conceito abordado foi o de nível energética da molécula, onde o mesmo é alterado com a incidência da luz solar, ou seja, é agregar o conceito que Bohr utilizou para descrever os diferentes níveis energéticos causados ao emitir uma luz no sistema. (B) É possível relacionar a matemática e a física quântica por meio da estatística. Toda vez que se faz uma gráfico ou estima-se a energia necessário para a emissão de um fóton há uma relação matemática com a quântica.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

(A) Seminário da pergunta A: há características de estudo arqueólogo e histórico, pois o mesmo nos expôs que, houve alteração na composição da atmosfera e como consequência, houve o surgimento da camada de ozônio e os estudos feitos sobre a radiação de ultravioleta e da luz infravermelha. (B) Um estudo bem interessante que não foi abordado, seria o estudo da formação da terra e a explicação quântica deste efeito. Até mesmo sobre o Big Bang. Interagir a teoria da relatividade (estudada em FMO) com a mecânica quântica (estudada em ESM) é um tema bem complexo mas envolvente.

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

(A) Me interessou bastante o tema do seminário da pergunta D e a explicação quântica para a coloração das flores. Entender a alteração dos níveis de energia, causado pela luz solar, reagi nas flores de diferentes intensidades e com diferentes reações e associar este mesmo processo a produção de melanina, que gera o bronzeamento na pele (explicado no seminário da pergunta B). São processos físicos-químicos que ocorrem sempre e de passam despercebidos. Conceito que até mesmo que pode ser utilizado em sala de aula. (B) A física quântica também se mostra bem presente na área hospitalar, em equipamento de ressonância magnética, por exemplo. A ressonância é o correlacionamento da energia absorvida contra a frequência, na faixa de megahertz (MHz) do espectro magnético, caracterizando-se como sendo uma espectroscopia. Espectroscopia é o estudo da interação entre radiação e matéria como uma função do comprimento de onda ( $\lambda$ ).

➤ Licenciando 5

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

Modelo atômico de Bohr: abordado no seminário da pergunta B, energia e quantidade de movimento, o modelo atômico de Bohr diz que para existir a excitação de elétrons

de um órbita, para outra do átomo, é necessário que um fóton de energia exata ou superior à necessária para transferi-lo, o atinja. Dualidade onda partícula: aborda cinemática e ondulatória, um feixe de partículas quando arremessado a uma pequena fenda, deve, ao transpassá-la, se houver um anteparo, nele veremos impresso um padrão de interferência de ondas causado por partículas, esse é apenas um dos indícios.

Pergunta III ( Relação entre física e demais ciências da natureza):

Espectro atômico/molecular – Botânica: seminário da pergunta D onde foram tratados os pigmentos dos vegetais, eles tem característica de cor de acordo com a sua configuração geométrica e eletrônica, quando os elétrons excitados retornam ao seu local de origem emitem fótons, eles chegarão aos nossos olhos e nos darão a noção de cor da cada um dos vegetais. Espectro atômico – Modelo de Bohr – Astronomia: na Astronomia, utiliza-se esse conceito de emissão de fótons e de espectro de emissão respectivo, para identificar a composição química das estrelas, e assim estimar como deve ser sua vizinhança.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

Decaimento radioativo – Paleontologia (no seminário da pergunta E): Além das propriedades do carbono para a existência e manutenção da vida, um dos isótopos dele o carbono-14, é utilizado no ramo da paleontologia para detectar, por meio de emissão de radiação, a idades dos fósseis como, por exemplo, os de dinossauros. Radiações eletromagnéticas – Medicina: na medicina utilizam a física quântica para, por meio de radiações eletromagnéticas, alterar a estabilidade energética de células cancerígenas, e assim destruí-las, isso na radioterapia por exemplo.

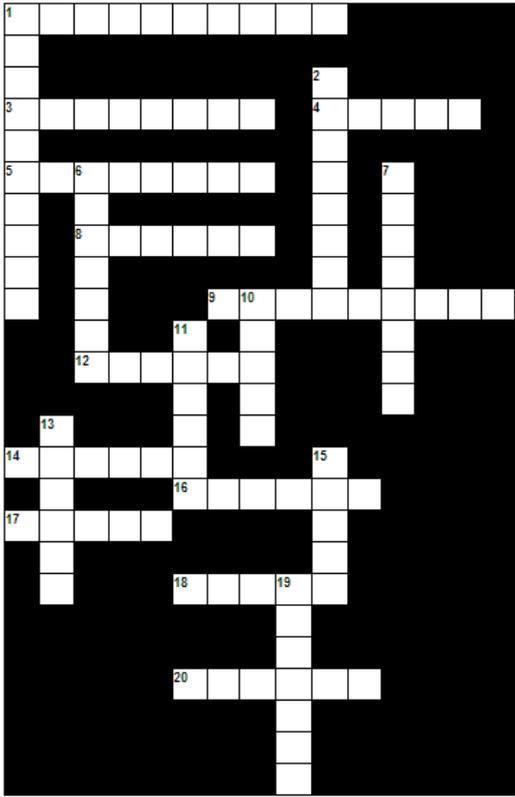
Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

Partículas elementares – Acelerador de partículas (seminário da pergunta F): Os aceleradores de partículas da atualidade buscam formas de encontrar as partículas elementares do modelo padrão, um exemplo é o Bóson de Higs que vem sendo procurado no CERN, lá partículas são colocadas em altas velocidades para que se choquem e novas partículas sejam criadas. Raios catódicos – Televisões de tubo: Hoje não são tão utilizadas, mas os televisores de tubo utilizam o disparo de elétrons que percorrem um campo elétrico e outro magnético e atingem uma região fotossensível que por sua vez aparecerá para nós como um ponto de luz na tela, se forem diversos elétrons e diversos pontos de luz teremos uma imagem formada na tela.



## APÊNDICE I – CRUZADAS E OUTROS PASSATEMPOS ONLINE UTILIZADOS EM ESM.

### I.1 – Cruzadas sobre a tabela periódica<sup>1</sup>:

	<p><b>Horizontais:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elemento que atua como ponte entre átomos e moléculas em determinado tipo de ligação química.</li> <li>3. Gás cujas moléculas são formadas pelo compartilhamento de elétrons de um mesmo elemento químico.</li> <li>4. Quanto maior o número de elétrons nele presente, mais complexa é sua configuração quântica.</li> <li>5. Palavra associada ao princípio que estabelece que diferentes elétrons nunca ocupam um mesmo estado quântico.</li> <li>8. Tipo de ligação química que explica a estabilidade de moléculas entre elementos químicos de valências de sinais opostos.</li> <li>9. Elementos químicos que apresentam baixa energia de ionização.</li> <li>12. É como são chamados os elétrons constituintes da nuvem eletrônica compartilhada por átomos associados via ligação metálica.</li> <li>14. Mantida entre partículas de gases devido fundamentalmente à ligação de Van der Waals.</li> <li>16. É como são chamados os gases que por terem completa sua última camada eletrônica são pouco reativos.</li> <li>17. Elemento químico altamente reativo e presente no sal de cozinha.</li> <li>18. Elementos químicos pertencentes a um mesmo _____ têm o mesmo número de elétrons na última camada.</li> </ol>
<p><b>Verticais:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elementos químicos como o cloro e o fluor.</li> <li>2. Valoração associada à tendência dos átomos em ter completa sua última camada.</li> <li>6. Agregado ordenado de átomos, em geral com valências +1, +2 e +3.</li> <li>7. Partículas que, como os elétrons, "se excluem", nunca ocupando um mesmo estado quântico em determinado sistema.</li> <li>10. Tipo de luz vinculada à propriedade associativa dos fótons.</li> <li>11. Partícula cuja quantidade presente no núcleo determina o número atômico de um elemento químico.</li> <li>13. Classificação que pode ser atribuída aos fótons.</li> <li>15. Elemento químico estável que possui dois elétrons em sua última camada eletrônica.</li> <li>19. Elementos químicos pertencentes a um mesmo _____ têm em comum o mesmo número quântico principal, n, que determina a energia de seu elétron mais externo.</li> </ol>	

<sup>1</sup> Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2150>

### I.2 – Reordenamento de expressões – espectro eletromagnético<sup>2</sup>:

**Espectro eletromagnético**

Coloque em ordem crescente de frequência os citados usos das radiações eletromagnéticas.

Sintonização de sinais de rádio e TV. Ondas eletromagnéticas associadas a uma rede elétrica residencial. Diagnósticos por cintilografia. Aquecimento de alimentos por um forno microondas. Disparo de alarme pelo calor emitido pelo corpo de uma pessoa. Luz branca emitida por lâmpadas fluorescentes. Radioterapia.

### I.3 – Associação de colunas – descarga elétrica nos gases<sup>3</sup>:

Instruções:

Arraste os elementos da esquerda sobre os elementos da direita de maneira a formar um conjunto de 10 associações um a um.

Raios cósmicos	Majoritariamente constituído por moléculas gasosas ionizadas que, atraídas pelo cátodo, provocam canais luminosos por trás dele.
Ionização	Condição para que um gás seja condutor.
Metais	Descarga contínua com emissão de luz branca e brilhante e que provoca grande elevação de temperatura dos eletrodos.
Raios catódicos	Responsável pela alta tensão necessária para o tubo de Crookes.
Ânodo	Quando condutores, não obedecem à Lei de Ohm.
Aroo voltáico	Alto poder de penetração.
Gases	Placa positiva.
Raios canais	Estudo de descargas elétricas no vácuo.
Bobina de Rumkhorff	Condutores ôhmicos.
Tubos de Geissler	Estudo de descargas elétricas em gases rarefeitos.
Tubos de Crookes	Placa negativa.
Televisão CRT (convencional)	Elétrons.
Cátodo	Tubo de raios catódicos.

<sup>2</sup> Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2151>

<sup>3</sup> Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2152>

#### I.4 – Preenchimento de lacunas – descarga elétrica nos gases<sup>4</sup>:

##### Um pouco de história sobre a estrutura da matéria

##### Passatempo de preenchimento de lacunas

Uma indicação da existência de partículas [?] surgiu, em meados do século XIX, com o estudo de descargas elétricas em tubos de [?], precursores dos modernos tubos de imagem de TVs e monitores de computador.

Quando um gás rarefeito era submetido a elevada tensão elétrica, o eletrodo [?], ou isto é, o cátodo, emitia um feixe de raios que se propagava em linha reta e atingia a parede oposta do tubo, tornando-a [?]. Outros experimentos mostrariam que esses raios [?], eram desviados tanto por [?] quanto por placas eletrizadas, constituindo-se de partículas com carga elétrica negativa, até então desconhecidas. Em 1897, o físico inglês Joseph John Thomson mediu a relação entre a carga elétrica e a [?] dessas partículas, observando que o resultado obtido não dependia nem do tipo de eletrodo ou nem do gás utilizado no tubo. Descobria-se assim a existência do [?], partícula subatômica constituinte universal da matéria, cuja [?] elétrica seria, em 1910, medida por Robert Millikan em seu famoso experimento com gotas de óleo eletrizadas.

Pouco depois, Ernest Rutherford revelaria que o átomo possui um núcleo [?] e positivo envolvido, supostamente rodeado por uma eletrosfera organizada de forma semelhante a um sistema solar. Reinterpretando essa descoberta Niels Bohr apresentou, em 1913, um modelo atômico em que as órbitas eletrônicas corresponderiam a níveis quânticos de energia entre os quais elétrons saltariam sempre que e somente quando absorvessem ou emitissem [?] de energia igual à diferença energética entre os níveis de origem e destino.

Apesar de hoje já não mais se pensar apropriada a ideia de que elétrons descrevam órbitas circulares ou mesmo elípticas em torno de núcleos atômicos, a proposição dos saltos quânticos se manteve, mas com os níveis energéticos imaginados como nuvens eletrônicas, regiões com determinadas [?] de abrigarem elétrons.

<sup>4</sup> Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=350>



## APÊNDICE J – ROTEIROS REFERENTE AO EXPERIMENTO DE MILLIKAN

### J.1 – Roteiro para uso do simulador

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SÃO PAULO</p>	<p>Licenciatura em Física Estrutura da Matéria (ESM25) Professor Osvaldo Canato Júnior</p>
--	--

#### EXPLORANDO O EXPERIMENTO DE MILLIKAN SOBRE A CARGA DO ELÉTRON

Roteiro para utilizar a simulação computacional sobre o experimento de Millikan disponível pelo KCVS da University of Alberta<sup>1</sup>

##### Introdução

O objetivo desta atividade é o de familiarizar-se com a simulação de uma versão simplificada do experimento de Millikan de observação do movimento de gotas de óleo eletrizadas, com a consequente determinação da carga do elétron e de rever os princípios da física necessários para compreender esse experimento.

Nota: A simulação é um modelo e, como todos os modelos, tem algumas limitações. A experiência original de Millikan é tediosa e consome muito tempo. Esta simulação inclui uma série de simplificações:

- apenas uma gota é observada, em vez de muitas gotas;
- cada gota tem uma carga aleatória dada por algum método de carregamento; no caso de Millikan, as gotas foram carregadas a partir do atrito entre elas após serem emitidas por um pulverizador atômico e uso da ionização por raios X;
- as gotas caem no vazio e não no ar, mas o princípio de uma força resultante nula ainda se aplica como no experimento original;
- são fornecidos gráficos instantâneos da velocidade de uma gota em função do tempo decorrido em seu percurso, para cima ou para baixo, através de uma determinada distância;
- as massas das gotas já são diretamente fornecidas, ao passo que Millikan tinha que calculá-las a partir da medida da velocidade terminal e da utilização da densidade do óleo e da lei de Stoke;

##### Procedimentos e questões

###### **A) Gota em queda livre (1,0)**

Contexto: Millikan teria pulverizado numerosas gotas de óleo na câmara superior e observado muitas gotas caindo através da abertura. Parte do experimento de Millikan envolveu a observação da queda de uma gota de óleo na ausência de campo elétrico.

Procedimento: Selecione *Force Directions* no menu *Options* e com a tensão selecionada em 0 V, clique em *Start*.

##### Questões:

1. Nomeie a(s) força(s) que atua(m) sobre a gota de óleo. Que equação(ões) seria(m) usada(s) para calcular o(s) valor(es) desta(s) força(s)?

Procedimento: Clique em *Rewind*, selecione *vt Graph* no menu *Options* e clique novamente em *Start*.

##### Questões:

2. Descreva e explique a forma do gráfico.

<sup>1</sup> Adaptação de *Millikan's Oil-Drop Experiment* ([http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/millikan/millikanlike.swf](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/millikan/millikanlike.swf))

3. Clique no ícone da ferramenta de inclinação *slope tool* disponível no menu do gráfico e clique em vários pontos ao longo da linha. Quais são e o que representa(m) o(s) valor(es) indicado(s)?

### B) Efeito de um campo elétrico (1,0)

Procedimento: Clique em *Reset* e certifique-se que no menu *Options* estejam selecionados tanto *Force Directions* como *v-t Graph*. Mova o controle deslizante de tensão para cerca de metade do valor máximo e clique em *Start*.

#### Questões:

4. Descreva a forma do gráfico. Como parte dessa descrição, use a ferramenta de inclinação para obter algumas observações quantitativas.
5. Qual é o sinal da carga da gota de óleo? Por quê?
6. Por que não há força elétrica atuando na gota na câmara superior? Verifique sua resposta selecionando *Electric Field Direction*, no menu *Options*.
7. Supondo conhecida a distância,  $d$ , entre as placas eletricamente carregadas, que equação seria usada para calcular a intensidade da força elétrica agindo na gota de óleo na câmara inferior?

### C) Forças Equilibradas (2,0)

Contexto: Na experiência original de Millikan e nesta simulação, a tensão entre as placas é ajustada para produzir forças equilibradas sobre uma gota de óleo eletricamente carregada, ou seja,  $F_R = 0$ .

#### Questões:

8. Se as forças elétricas e gravitacionais estiverem equilibradas, qual será a inclinação da linha traçada no gráfico  $v \times t$ ? Por quê?

Procedimento: Clique em "*Reset*" e certifique-se que no menu *Options* estejam selecionados tanto *Force Directions* como *v-t Graph*. Mova o controle deslizante de tensão para cerca de metade do valor máximo, clique em *Start* e quando a gota de óleo tiver caído cerca de metade da distância entre as placas clique em *Pause*.

#### Questões:

9. A intensidade da força elétrica é maior ou menor que a intensidade da força gravitacional? Qual o valor da aceleração da gota de óleo dentro da câmara inferior? Ela é maior ou menor que a aceleração da gravidade?

10. Demonstre que essa aceleração poderia ser calculada pela expressão  $a = g - \frac{qU}{md}$  ou

$a = \frac{qU}{md} - g$  a depender do sentido da força resultante.

11. A tensão tem que ser aumentada ou diminuída para fazer com que a intensidade da força elétrica se iguale à intensidade da força gravitacional? Justifique sua resposta com o apropriado equacionamento.

12. Quando as forças elétricas e gravitacionais estiverem equilibradas, mostre que é válida a expressão  $q = \frac{mgd}{U}$ .

Procedimento: Mova o controle deslizante de tensão de modo que os vetores que representam as forças pareçam ter o mesmo comprimento. Clique em *Start* para observar a continuidade da queda da gota e, logo em seguida, clique em *Pause*. Verifique a inclinação do gráfico para se certificar de que as forças estejam equilibradas.

Continue a mover o cursor de tensão e, com o auxílio da ferramenta de "ajuste fino" (disponível a partir do ícone de jogo da velha, "#") obtenha no gráfico uma inclinação igual a zero. Quando você conseguir o equilíbrio das forças, clique em *Record Data* para registrar os resultados na tabela de Evidências (*Evidence* no menu *Options*).

Nota: Se a qualquer momento a gota atingir o fundo da câmara inferior antes de ter ocorrido o equilíbrio das forças, clique em *Rewind* a fim de manter inalterada a carga elétrica da gota e o ajuste da tensão. Não clique em *Reset*, pois nesse caso o simulador entenderá que você solicitou o trabalho

com uma gota de diferente carga elétrica, alterando o valor da força elétrica por ela recebida e a inclinação do gráfico velocidade x tempo.

Questões:

13. Informe os valores registrados na tabela de Evidências.

**D) Determinação da menor unidade de carga elétrica (2,0)**

Contexto: O experimento de Millikan levou muitos anos de trabalho. Mediram-se milhares de gotas de óleo de vários tamanhos e cargas elétricas e utilizaram-se diferentes óleos. A observação do movimento das gotas de óleo imersas em um campo elétrico mostra claramente que elas são carregadas, mas não há nenhuma maneira de saber quantas unidades de carga estão presentes em uma gota de óleo em particular. Millikan sabia disso e proposadamente alterava as cargas elétricas de determinadas gotas de óleo irradiando-as com raios X. Em última análise, seu objetivo era obter um conjunto de resultados a partir do qual um padrão poderia ser deduzido.

Millikan suspeitava de que os valores das cargas que ele obtinha eram múltiplos da menor unidade de carga elétrica existente. No entanto, como eram valores muito maiores do que essa carga elementar, não era nada fácil perceber tal coisa.

Procedimento:

Para entender como Millikan fez sua análise, considere a seguinte analogia: suponha um grupo de caixas seladas com cada caixa contendo um número desconhecido de bolas de metal idênticas; a massa de cada caixa é medida com o resultado abaixo exposto; conhecendo-se apenas estes dados, pergunta-se: qual é a massa de uma bola de metal?

Caixa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Massa (g)	32,2	16,1	25,3	29,9	9,2	41,4	13,8	23,0	6,9	34,5

A solução é perceber que a diferença entre as massas de duas caixas provavelmente representa um menor número de bolas de metal do que aquelas existentes dentro de qualquer uma das caixas.

Questões:

14. Para fazer essa análise ainda mais evidente, reorganize a tabela ordenando as massas do maior para o menor valor.

15. Subtraia as massas adjacentes (por exemplo, 41,4 g - 34,5 g) para obter nove diferenças de massa.

16. Qual é a massa provável de uma bola de metal? Por quê?

17. Teste esta conclusão através da determinação do número de bolas presente em cada caixa. São os resultados consistentes com a menor massa encontrada na questão anterior?

18. Que inferência está sendo feita a respeito da carga elétrica de um objeto nessa analogia?

**E) Colhendo os dados para análise (2,0)**

Questões:

19. Seguindo o procedimento descrito no item C para gotas submetidas a forças equilibradas, obtenha pelo menos 10 registros de dados “experimentais” organizados na tabela da ferramenta *Evidence*, no menu *Options*. Lembre-se que o botão *Rewind* reinicia o experimento com a mesma carga, ao passo que o botão *Reset* força a troca da carga, iniciando um novo dado experimental. Informe os 10 registros obtidos tanto no documento Word contendo o conjunto de suas respostas como na planilha Excel a ser utilizada na solução da próxima questão.

OBS: Uma vez que o simulador até aqui utilizado fornece apenas possibilidade de trabalho em torno de 4 valores de tensão elétrica capazes de permitir o movimento uniforme descendente das gotas de óleo, a fim de atender aos requisitados 10 registros, utilize a variante do simulador disponibilizada no seguinte endereço:

[http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/millikan/MillikanLike.swf](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/millikan/MillikanLike.swf).

**F) Análise dos dados obtidos (2,0)**

Contexto: Na época dos experimentos de Millikan, ainda havia desacordo generalizado sobre a existência de partículas subatômicas e muitos cientistas também pensavam que a carga elétrica era uma variável contínua. O experimento de Millikan com as gotas de óleo, juntamente com os resultados de Thomson para o valor de  $e/m$ , ajudaram consideravelmente no estabelecimento do elétron enquanto uma partícula subatômica com carga elétrica definida.

O experimento de Millikan foi a primeira determinação confiável e inequívoca da carga de um elétron, hoje conhecida como a carga elementar. A carga elementar é agora reconhecida como uma das constantes físicas fundamentais.

Questões:

20. Levando em conta os dados obtidos na questão anterior e a técnica discutida no item D deste roteiro, estime o valor da carga do elétron e compare-o com o valor atualmente conhecido. Justifique sua resposta por meio de cálculos realizados via planilha Excel.

OBS: Cuidado especial deve ser tomado com o uso de aproximações no tratamento dos dados. Estar em torno de certo valor não significa ter exatamente aquele valor, tratando-se, no contexto do experimento de Millikan, de um sério erro conceitual aproximar valores como  $12,78 \cdot 10^{-19}$  C para  $12,8 \cdot 10^{-19}$  C ou  $11,19 \cdot 10^{-19}$  C para  $11,2 \cdot 10^{-19}$  C. Tais aproximações pressupõe o conhecimento antecipado daquilo que motiva o cálculo: encontrar o valor da carga elétrica elementar. Se você assim proceder, concluirá que o valor da carga elementar dado pela simulação concorda plenamente com o tradicional valor teórico de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Mas, pudera...devido à aproximação feita não haveria mesmo como não ser assim! Se Millikan já soubesse para qual valor ele deveria aproximar...!!! Assim, a técnica indicada de comparação entre as massas das bolinhas de metal dentro das 10 caixas não deve ser aplicada de forma descontextualizada aos valores das cargas elétricas fornecidos pela simulação. A técnica é a mesma, mas a complexidade não! Uma coisa é trabalhar com 10 valores pré-estabelecidos, “palpáveis” (que permitem o cálculo imediato, “de cabeça”) e múltiplos de um valor “palpável”, facilmente identificável. Outra coisa é trabalhar com uma infinidade de valores experimentais que possuem ordens de grandeza como  $10^{-16}$  ou  $10^{-19}$  e que “giram” em torno do múltiplo de um valor desconhecido. Exemplo concreto: se a menor diferença entre dois valores experimentais dados pela simulação for de  $0,039 \cdot 10^{-19}$  C, deve-se adotar esse valor como sendo o da carga elementar procurada ou deve ser descartado, já que indicaria duas gotas com a mesma carga elétrica? Só é possível responder corretamente a questão testando a divisibilidade por esse valor dos outros valores coletados. Para entender melhor a “brincadeira”, clique aqui e analise o exemplo “Descubra o número”, arquivo Excel disponibilizado no [fisicaemrede](#).

## J.2 – Roteiro para uso do equipamento

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SÃO PAULO</p>	<p><b>Licenciatura em Física</b> <b>Estrutura da matéria (ESMZ5) - LAB</b> Professor Osvaldo Canato Júnior</p>
--	--

### EXPERIMENTO DE MILLIKAN

#### **1) Verificar montagem:**

- Fonte e lâmpada de iluminação interna conectadas na rede elétrica, mantendo a fonte configurada como desligada (não há interruptor na lâmpada, implicando que ela ficará sempre ligada durante o experimento).
- Mesa nivelada horizontalmente.
- Controlador da voltagem no capacitor configurado na posição desligado.
- Multímetro conectado no aparelho de Millikan e configurado para medidas de resistência elétrica na escala de 20 M $\Omega$ .
- Toalhas de papel, borrifador de óleo e pano de limpeza prontos para uso.

#### **2) Procedimento inicial:**

- Limpeza do capacitor de forma suave com o pano disponibilizado.  
OBS: manusear cada peça do capacitor com muito cuidado, sempre apoiando as peças que não estiverem sendo instantaneamente utilizadas nas toalhas de papel dispostas na mesa.
- Medir com o paquímetro a espessura interna do dielétrico (material isolante) que separa as placas do capacitor.
- Medir com o micrômetro a espessura da agulha que servirá de referência para o conhecimento da espessura dos quadradinhos da grade quadriculada.
- Inserir com muito cuidado a agulha no capacitor e, com a calibração adequada da lâmpada de iluminação interna, medir a espessura dos quadradinhos da grade quadriculada.
- Retirar a agulha do capacitor e reposicioná-la em seu local de origem.
- Remontar o capacitor com o dispositivo de redução do volume de entrada óleo corretamente posicionado.
- Ligar a fonte e configurá-la para uma tensão em torno de 400-450 V.
- Borrifar um pouco de óleo no ar a fim de verificar se o borrifador está com boa pressão.
- Reconhecer a tabela inscrita no aparelho de Millikan que indica a relação entre temperatura interna e a resistência elétrica, prevendo valores razoáveis a serem indicados pelo multímetro de acordo com a temperatura ambiente.
- Reconhecer a alavanca de configuração do aparelho de Millikan que indica as posições “fechado”, “spray” e “reionização”.

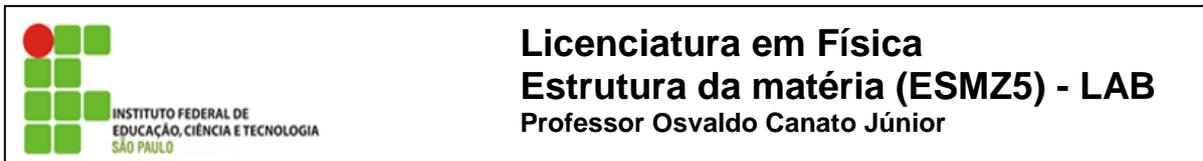
#### **3) Procedimento para obtenção dos tempos de queda e subida das gotas de óleo:**

- Funções do Aluno A:
  - Sempre que solicitado pelo aluno C, posicionar a alavanca de configuração do aparelho de Millikan na posição “spray”, borrifar óleo na câmara do capacitor e, em seguida, reposicionar a alavanca para a posição “fechado”.
  - Verificar a cada 5 minutos a leitura da resistência elétrica, sempre se certificando de que as pontas do multímetro estejam bem conectadas nos terminais do aparelho de Millikan (geralmente a má conexão provoca valores absurdos na medida da resistência elétrica).
- Funções do aluno B: trabalhar em “parceria extrema” com o aluno C, de modo a:
  - Montar tabela para o registro de 10 tempos de subida e 10 tempos de descida das gotas de óleo.
  - Preencher a tabela com os valores do tempo de subida e descida das gotas de óleo a cada toque no cronômetro dado pelo aluno C.

- Registrar o número de quadradinhos escolhido pelo aluno C para efetuar as medidas.
- Registrar eventuais trocas de gotas de óleo observadas pelo aluno C.
- Funções do aluno C: trabalhar em “extrema parceira” com o aluno B, de modo a:
  - controlar com uma das mãos o cronômetro.
  - controlar com a outra mão o controle da voltagem no capacitor.
  - observar, através da ocular, as gotas de óleo no interior do capacitor e escolher uma gota adequada para realizar as medidas do tempo de queda (com o capacitor descarregado) e subida (com o capacitor carregado).
  - escolhida a gota e “sem tirar o olho dela”, medir 10 tempos de queda e de subida, deixando o cronômetro no campo de visão do aluno B. Em caso de não ser possível efetuar 10 medidas com a mesma gota, continuar o experimento com outra gota (caso em que se deve orientar o aluno B a registrar o fato). Vale lembrar que sempre estará disponível o processo de reionização a fim de permitir que a gota volte a subir em caso da perda da carga elétrica inicial.

**OBS: a fim de evitar perturbações no interior do capacitor, durante o experimento nenhum dos três alunos deve se apoiar na mesa.**

### J.3 – Roteiro para trabalho com dados extraídos do experimento



#### Experimento de Millikan – Roteiro para entrega

Com base nos procedimentos, expressões e tabelas indicadas, cada dupla/trio deve entregar um arquivo Word (.doc) contendo os seguintes itens:

- 1) Tabelas dos tempos de descida e subida colhidos no experimento, com todas as informações necessárias para o cálculo dos correspondentes valores das cargas elétricas (seguir o modelo de tabela apresentado pelo professor).
- 2) Cálculo da carga elétrica das gotas observadas (explicitar os cálculos, passo a passo);
- 3) Verificação quanto aos valores encontrados serem ou não múltiplos da carga elétrica elementar com a discussão dos possíveis erros experimentais em caso de resultados discrepantes com o teoricamente esperado (explicitar os cálculos);
- 4) Resposta às seguintes questões:
  - a) A expressão para o cálculo dos raios das gotas de óleo apresentada no documento "tabelas e fórmulas" só é válida para gotas em queda com o capacitor descarregado. Por quê?
  - b) Com base na análise das forças envolvidas durante a queda (com o capacitor desligado) e subida (com o capacitor ligado) de uma gota de óleo de massa  $m$ , demonstre a expressão para o cálculo do valor da carga elétrica apresentada no documento "tabelas e fórmulas".
  - c) No manual do equipamento fornecido pela Pasco, há o relato de uma variante no procedimento experimental em que um terceiro dado é colhido: o tempo de queda com o capacitor carregado. Nesse caso, como ficaria a expressão para o cálculo do valor da carga elétrica de uma gota de óleo de massa  $m$ ? Explicitar a demonstração.



## ÍNDICE DOS AUTORES CITADOS

Adams, C, 42  
Ahmad, K, 72, 73  
Allianz Global Investors, 42  
Antiqueira, I., 76, 150  
Baggott, J., 20  
Barabási, A.L, 49, 53, 54, 61, 62  
Basset, 59  
Beniger, J. R., 43  
Broder, A., 61, 62  
Bruner, J. S., 101  
Brunn, J., 75, 150  
Buchanan, M., 33  
Canãs, A. J., 78  
Canato Jr., O., 8, 108, 140, 142, 173, 214, 216, 217, 236  
Castells, M., 40, 41, 63, 64, 65  
Chispino, A., 70  
Cisco, 60  
Deleuze, G., 93, 94, 95  
Demo, P., 95, 96, 97, 111, 112, 113, 114, 115, 122, 123, 124, 125, 177  
Franco, A., 123, 191  
Gallo, S., 93  
Gilmore, R., 103, 104, 182  
Kelly, K., 45  
Khun, t., 39  
Kragh, H., 21  
Lévy, P., 90, 91, 93, 95, 115, 116, 117, 118, 120  
Li, S., 54, 55  
Lobato, T., 133  
Ma, H., 18, 36, 42, 43, 49, 54, 55, 68, 71, 104, 237  
Macedo, A. L., 76, 77, 150  
Machado, N. J., 89, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 110, 111, 113, 114, 129, 173, 176, 177  
Masucci, A.P., 74  
Menezes, L. C., 8, 10, 16, 17, 21, 34, 90, 108, 127, 128, 216, 217, 236  
Michel, J.B., 71  
Milgram, S., 47  
Monteiro, M. A., 131, 132, 133  
Moreti, F., 79, 80, 81  
Observatorio CTS, 65, 66, 68, 69  
Oliveira, F. F, 131  
Oliveira, I. A., 95, 131  
Pérez, C., 39  
Pessoa Jr, O. F., 24, 26, 27, 33, 39, 83, 84  
Prigogine, Y., 18, 19, 20, 27, 28, 197  
Rosenstiehl, P., 45  
Ryberg, T., 124  
Sanches, M. B., 130  
SÃO PAULO, 140  
Segrè, E., 17, 18, 20  
Siemens, G., 124  
Sporns, O., 58, 59  
Tofler, A., 43  
Tori, R., 119  
Watts, D. J., 27, 28, 47, 49  
Wonglimpiyarat, J., 42