



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA – SBF  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO IV  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS – IFAM  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM



ERICKSON MORAIS DE MEDEIROS

---

ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA  
UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

---

MANAUS

2023



ERICKSON MORAIS DE MEDEIROS

ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA  
UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo IV, Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM).

Orientador: Prof.Dr. Minos Martins Adão Neto

MANAUS

2023

**Biblioteca IFAM – Campus Manaus Centro**

---

M488e Medeiros, Erickson Morais de.

Ensino de física contemporânea: a história da nanotecnologia utilizando o método Peer Instruction / Erickson Morais de Medeiros. – Manaus, 2023. 218 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2023. Orientador: Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto.

1. Física – ensino. 2. Física contemporânea - ensino. 3. Sequência didática. 4. Nanotecnologia. I. Adão Neto, Minos Martins. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530



## Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

### Ata da 58ª Defesa de Dissertação

Aos três dias do mês de março, do ano de dois mil e vinte e três, às dez horas, no auditório Professor José Leitão, ocorreu a Defesa da Dissertação do Mestrando **Erickson Morais de Medeiros**, intitulada: **“ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION”**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto (UFAM), Profa. Dra. Luciana Rocha Hirsch (UTFPR) e Prof. Dr. Wanderley Vitorino da Silva Filho (UFAM). O Professor Doutor Minos Martins Adão Neto, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, duas (02) vias impressas e encadernadas no formato capa dura, e uma via (01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº. 47 - CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

---

Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto  
Presidente - UFAM



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA  
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS



**UFAM**

---

Profa. Dra. Luciana Rocha Hirsch  
Membro Externo - UTFPR

---


Prof. Dr. Wanderley Vitorino da Silva Filho  
Membro Interno - UFAM

## TERMO DE APROVAÇÃO

ERICKSON MORAIS DE MEDEIROS


### ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo IV, Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM), para a seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 MINOS MARTINS ADAO NETO  
Data: 03/05/2023 11:32:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Prof.Dr. Minos Martins Adão Neto**  
**Presidente - UFAM**

Documento assinado digitalmente  
 LUCIANA ROCHA HIRSCH  
Data: 03/05/2023 16:56:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Profa. Dra. Luciana Rocha Risch**  
Membro Titular Externo (UTFPR)

Documento assinado digitalmente  
 WANDERLEY VITORINO DA SILVA FILHO  
Data: 03/05/2023 11:12:23-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Wanderley Vitorino da Silva**  
**Filho**

Membro Titular Interno - UFAM

---

**Deniz dos Santos Mota**  
Membro Suplente Externo - UFAM

---

**Prof. Dr. Lúcio Fábio Pereira da Silva**  
Membro Suplente Interno - UFAM

Manaus, 03 de março de 2023.





*Este trabalho é dedicado a minha mãe, dona Ana Gomes de Moraes, que em vida foi uma guerreira por sua família e que foi um exemplo de ser humano maravilhoso, temente a Deus e uma verdadeira seguidora das palavras e ações de Jesus Cristo. Obrigado por tudo.*

**Te amo para sempre, mãe.**

*Dedico também a minha esposa, Rita de Cássia da Silva Martins, que lutou comigo por esta conquista, cobrando, incentivando, ajudando com seus conselhos e sendo uma companheira de vida e lutas.*

*A você serei eternamente grato.*

**Te amo muito.**



## AGRADECIMENTOS

A minha mãe Ana Gomes de Moraes (*in memoriam*), que foi minha heroína, sempre me dando apoio e incentivo toda vez que eu pensava em desistir.

Ao meu pai que sempre esteve comigo, ajudando, incentivando e dando um suporte em discussões sobre ensino-aprendizagem.

A minha esposa Cássia, que com minha mãe, esteve sempre ao meu lado, cobrando, incentivando, aconselhando e sendo um suporte basilar para mim e nossa família e na conquista de mais esta etapa da minha qualificação profissional. Te amo demais!

Ao meu amigo e orientador, o prof. Dr. Minos Adão Neto, por toda paciência, compreensão, incentivo, cobranças e ajuda, fundamentais para a conclusão deste trabalho. Muito obrigado por tudo, meu Patrão!

A minha amiga Virgínia Torres, que graças as conversas, incentivos e, sobretudo, por me convencer a procurar ajuda para resolver meus problemas de saúde, foi uma peça importantíssima para a conclusão dessa etapa na minha vida. Grato por tudo, gata!

A minha amiga, Fernanda Cabral, que mesmo com seus problemas e desafios diários, encontrava força para me incentivar a concluir este trabalho. Que você descanse em paz, mana!

Aos meus amigos do mestrado, Hudson Batista, Reginaldo Bacelar, Raysa Zurra, Nahuel Arenilas, Lucas Picanço e Paulo Puga (turma de 2013), que acompanharam minha luta contra a depressão e ansiedade, me incentivando sempre, dando suporte emocional por vezes, e permanecendo como um grupo de apoio desde o princípio. Vocês são demais!

Aos meus amigos, Di Ângelo Pinheiro e Fabrício de Oliveira Farias, professores do IFAM e amigos da turma de 2013, que além de tudo que já foi dito, foram fundamentais para a aplicação do Produto Educacional e, para a conclusão desse trabalho. Obrigado mesmo!

Ao meu filho, André Luiz Medeiros, minha sobrinha, Perla Balbi, e aos alunos do IFAM (Campus Manaus Centro e Campus Itacoatiara), que participaram e ajudaram na aplicação do Produto Educacional. Vocês foram fundamentais para a conclusão desse trabalho.

As minhas amigas Alice Dinelly Mafra, gestora da Escola Estadual Prof.<sup>a</sup> Eunice Serrano Telles de Souza, e Susiane Albuquerque, gestora da escola CEJA Jacira Caboclo, pelo apoio, incentivo, compreensão, suporte e carinho. Um abraço carinhoso e respeitoso em cada uma de vocês.

Aos meus amigos, prof. Dr. Péricles Lisboa, Deyvison Silva, Camila de Araújo e Eliane dos Reis, amigos e incentivadores, da escola Eunice Serrano, e a prof.<sup>a</sup> Elinara Jordão, da CEJA Jacira Caboclo. Obrigado pela força, orientações e o incentivo que vocês todos me deram até o fim dessa etapa.

Aos amigos que fiz durante essa jornada, dentro e fora deste mestrado e que, direta ou indiretamente, contribuíram com esse trabalho. Um abraço fraterno.

Aos professores deste curso, que acreditam em um Ensino de Qualidade para a nossa amada ciência, a Física. Sua dedicação e esforço, para que este curso seja de excelência, está rendendo ótimos frutos. Dedico esse trabalho com carinho e respeito a todos vocês.

A coordenação do MNPEF - Polo IV, que me suportou durante todo esse tempo. Obrigado por tudo!

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela oportunidade de uma qualificação profissional para muitos professores de física com a criação deste curso de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*"O homem, como um ser histórico, inserido num permanente movimento de procura, faz e refaz constantemente o seu saber. "*

*(Paulo Freire)*



## RESUMO

A Nanotecnologia é um ramo da ciência inter e multidisciplinar, sendo assim ela possibilita vários temas para serem abordados em sala de aula. Este trabalho se propõe a explorar a História da Nanotecnologia, através do uso da Teoria da Transposição Didática, de Chevallard, e fazendo o uso de metodologias ativas, em destaque o *Peer Instruction*, e seus aportes teóricos como as Teorias de Aprendizagem de Vygotsky e Ausubel. Elaboramos uma Sequência Didática baseada nessa metodologia, criada por Eric Mazur, e avaliadas com a metodologia de Ganho de Hake, o qual é uma medida normalizada que serve de base de comparação entre dois estados ou tempos de aprendizado. Devido aos problemas provocados pela Pandemia da Covid-19, o Produto Educacional elaborado para essa dissertação tem características de aulas híbridas, mas foi aplicado de forma online na sua totalidade. Com os problemas sanitários, o grupo discente contou com a participação de sete alunos voluntários advindos do IFAM (Campus Manaus e Campus Itacoatiara), formando um grupo heterogêneo e onde muitos não se conheciam. Os resultados obtidos na aplicação do Produto Educacional foram satisfatórios, visto que o ganho médio foi de 0,5 (Ganho Normalizado de Hake), mas devido à escolha errônea de uma questão (tipo de questão), que induziu os discentes ao erro, esse ganho talvez fosse melhor.

**Palavras-chaves:** peer instruction. ensino de física. sequência didática. nanotecnologia. Covid-19, ensino híbrido.





## ABSTRACT

Nanotechnology is an interdisciplinary and multidisciplinary branch of science, thus enabling various topics to be addressed in the classroom. This work proposes to explore the History of Nanotechnology, through the use of Chevallard's Didactic Transposition Theory, and making use of active methodologies, highlighting Peer Instruction, and its theoretical contributions such as Vygotsky's and Ausubel's Learning Theories. We have developed a Didactic Sequence based on this methodology, created by Eric Mazur, and evaluated with the Hake Gain methodology, which is a normalized measure that serves as a basis for comparison between two states or learning times. Due to the problems caused by the Covid-19 Pandemic, the Educational Product developed for this dissertation has characteristics of hybrid classes, but was applied entirely online. With the sanitary problems, the student group had the participation of seven volunteer students from IFAM (Manaus Campus and Itacoatiara Campus), forming a heterogeneous group where many did not know each other. The results obtained in the application of the Educational Product were satisfactory, since the average gain was 0.5 (Hake Normalized Gain), but due to the wrong choice of a question (type of question), which led students to error, this gain might have been better.

**Key-words:** peer instruction. didactic sequence. physics teaching. nanotechnology, Covid-19, hybrid classes.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Comparação entre os tamanhos dos diâmetros da Terra, bola de futebol e fulereno $C_{60}$ . . . . .	43
FIGURA 2 – ENIAC, o primeiro computador eletrônico. . . . .	44
FIGURA 3 – (a) Válvula eletrônica utilizadas no ENIAC; (b) Transistor, substituto das válvulas nos computadores eletrônicos; (c) Transistor de silício. . . . .	44
FIGURA 4 – Cálice de Licurgo sendo iluminado pelo lado de fora (tom esverdeado) e pelo lado de dentro (tom avermelhado). . . . .	48
FIGURA 5 – Richard P. Feynman, o “Pai da Nanotecnologia. Ver link: <a href="https://cdn-images-1.medium.com">https://cdn-images-1.medium.com</a> . . . . .	49
FIGURA 6 – Diagrama esquemático de um STM. À medida que a ponta se aproxima da superfície, mesmo sem energia suficiente para transpor a barreira espaço vazio, uma corrente começa a passar entre a ponta e a superfície por efeito túnel. Esse resultado, impossível na física clássica, foi previsto pela mecânica quântica. A corrente aumenta exponencialmente com a aproximação, e a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008) . . . . .	51
FIGURA 7 – Estrutura do fulereno $C_{60}$ ou buckball. . . . .	51
FIGURA 8 – Fullerenos com 28, 32, 50, 60, 70, 240 e 540 átomos de carbono. . . . .	52
FIGURA 9 – Diagrama esquemático do bocal supersônico pulsado usado para gerar feixes de cluster de carbono. Ver em Kroto, Heath, O’Brien, Curl e Smalley (1985) . . . . .	52
FIGURA 10 – Formação do fulereno $C_{60}$ a partir da vaporização do grafeno. Ver em Ruela (2013) . . . . .	53
FIGURA 11 – Primeiro equipamento concebido para a produção em escala “macroscópica” de fullerenos. Ver em Ruela (2013) . . . . .	53
FIGURA 12 – Diagrama esquemático de um AFM. O AFM tem uma ponta fina presa a um braço de material semicondutor. Esse braço, chamado cantiléver, sofre deflexões quando a ponta interage com a superfície. A força, que pode ser controlada eletronicamente e sentida pelo cantiléver, é monitorada por feixes de laser e, a partir da deflexão no detector, a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008) . . . . .	54
FIGURA 13 – Ponteira de um microscópio de força atômica. Ver Cadioli e Salla (2015) . . . . .	55

FIGURA 14 – Logotipo da IBM escrito com 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. Ver em <a href="https://abre.ai/ibm35atoms">https://abre.ai/ibm35atoms</a> . . . . .	56
FIGURA 15 – Rede hexagonal da folha de grafeno onde $\vec{d}$ : diâmetro do nanotubo, $\vec{C}$ : vetor quiral, vetores da base $\vec{a}_1$ e $\vec{a}_2$ da rede. Ver em Troche (2007)	58
FIGURA 16 – Micrografias dos primeiros nanotubos de carbono de paredes múltiplas observadas por Iijima em 1991. Com tubos (a) 5, (b) 2 e (c) 7 paredes. Ver Iijima (1991) . . . . .	58
FIGURA 17 – Nanotubos de Carbono de diferentes categorias estruturais. Ver em <a href="https://bit.ly/NanoTubos">https://bit.ly/NanoTubos</a> . . . . .	59
FIGURA 18 – Filmes de grafeno. (A) Fotografia (em luz branca normal) de um floco de grafeno multicamada relativamente grande com espessura $\sim 3$ nm em cima de um wafer de Si oxidado. (B) Imagem do microscópio de força atômica (AFM) da área de $4\mu m^2$ deste floco próximo à sua borda. Cores: marrom escuro, superfície $SiO_2$ ; laranja, 3 nm de altura acima da superfície $SiO_2$ . (C) imagem AFM de grafeno de camada única. Cores: marrom escuro, superfície $SiO_2$ ; marrom-avermelhado (área central), 0,8 nm de altura; amarelo-marrom (canto inferior esquerdo), 1,2 nm; laranja (canto superior esquerdo), 2,5 nm. Observe a parte dobrada do filme perto do fundo, que apresenta uma altura diferencial de $\approx 0,4$ nm. Para detalhes da imagem AFM de grafeno de camada única, consulte (15). (D) Imagem de microscópio eletrônico de varredura de um de nossos dispositivos experimentais preparados a partir de FLG. (E) Vista esquemática do dispositivo em (D). Ver em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004) . . . . .	61
FIGURA 19 – Representação da estrutura hexagonal planar do grafeno análise das ligações $sp^2$ . Ver em Lima (2011) . . . . .	62
FIGURA 20 – (a) A rede do grafeno é uma hexagonal com dois átomos na base (A e B); (b) bandas de energia do grafeno no entorno do nível de Fermi ( $E_f$ ), resultante da interação entre os orbitais $\pi$ de átomos de carbono vizinhos. Na parte direita do gráfico é apresentada a primeira zona de Brillouin do grafeno, destacando os pontos de alta simetria. Ver em Kirch (2014). . . . .	63
FIGURA 21 – Representação do transistor mais fino do mundo construído a partir de uma folha de grafeno. Ver em Lima (2011) . . . . .	64
FIGURA 22 – Ilustração esquemática do compósito de grafeno com metais e óxidos de metais. Ver em Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013) . . . . .	64

FIGURA 23 – Diagrama de uma aula <i>Peer Instruction</i> , adaptado de Mariotto, Chicon, Rosa, Quaresma, Beatriz e Garcês (2022) . . . . .	79
FIGURA 24 – Atividade de Leitura entregue pela aluna A2 . . . . .	88
FIGURA 25 – Resultado do pré-teste, mostrando a porcentagem de acertos de cada questão na segunda coluna, e um mapa de acertos (verde) e erros (vermelho), nas colunas de A1 a A7. . . . .	89
FIGURA 26 – Apresentação do material em slides . . . . .	92
FIGURA 27 – Teste de Conceito nas Plataformas <i>Meet</i> e <i>WhatsApp</i> , utilizando o aplicativo de quizzes <i>Pollie</i> . . . . .	93
FIGURA 28 – Interações da aula usando a metodologia <i>Peer Instruction</i> . . . . .	93
FIGURA 29 – Testes de Conceito, antes (à esquerda) e depois (à direita) da segunda explicação do professor e da discussão entre os alunos. . . . .	94
FIGURA 30 – Resultado geral agrupado dos pré e pós-testes. A última coluna mostra o Ganho de Hake normalizado para cada questão e a última linha mostra o Ganho de Hake Médio e o ganho de Hake de cada aluno . . . . .	95
FIGURA 31 – O gráfico mostra o Ganho de Hake por aluno, com destaque aos alunos, A3, A1 e A2, com os maiores ganhos médios e para o resultado negativo do aluno A7 . . . . .	95
FIGURA 32 – O ganho de Hake por questão, com destaque para as questões com maiores ganhos $g = 1$ (Q1, Q2 e Q7) e para as com ganho negativo (Q5 e q14) . . . . .	96



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Regras da Transposição Didática. Ver em Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001) . . . . .	39
TABELA 2 – Regras da Transposição Didática aplicadas e as relações com o tema História da Nanotecnologia. Fonte: O próprio autor. . . . .	40





## LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

**ADN** Ácido Desoxirribonucleico

**AFM** *Atomic Force Microscope*

**APS** *American Physical Society*

**CalTech** *California Institute of Technology*

**DWNT** *Double Walled Carbon Nanotube*

**ENIAC** *Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*

**FCI** *Force Concept Inventory*

**FMC** Física Moderna e Contemporânea

**GPC** Grafeno de Poucas Camadas

**HFC** História e Filosofia da Ciência

**HRTEM** High Resolution Transmission Electron Microscope

**IC** Instrução por Colegas

**INPA** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**IP** Instrução por Pares

**ISO-TC** International Organization for Standardization – Technical Committee

**MFA** Microscópio de Força Atômica

**MWNT** *Multi-Wall Carbon Nanotubes*

**NNI** The National Nanotechnology Initiative

**NTMP** Nanotubo de Carbono de Múltiplas Paredes

**NTPD** Nanotubo de Carbono de Parede Dupla

**NTPS** Nanotubo de Carbono de Parede Simples

**PI** *Peer Instruction*

**PT** Pós-teste

**SSD** *Solid State Drive*

**STM** *Scanning Tunneling Microscope*

**SWNT** *Single Walled Carbon Nanotube*

**TD** Transposição Didática

**TEM** Transmission Electron Microscope

**TIC** Tecnologias de Informação e Comunicação

**TPS** *Think-Pair-Share*

**UFAM** Universidade Federal do Amazonas

**ZDP** Zona de Desenvolvimento Proximal

**pT** Pré-teste

**rpm** rotações por minuto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Ângulo quiral nos Nanotubos de Carbono
$\vec{d}$	Diametro do Nanotubo de Carbono de Parede Simples
$\vec{C}$	Vetor Quiral
$\vec{a}_i$	Vetores de Base da rede hexagonal do grafeno
$\vec{b}_j$	Vetores de base recíprova da rede hexagonal do grafeno
$\delta_{ij}$	Delta de Kronecker
$\hbar$	Contante de Planck
$\sigma$	Orbital hibridizado do carbono
$\pi$	Orbital hibridizado do carbono (Química); o próprio $\pi$ (Matemática)
$v_F$	Velocidade de Fermi
$E_F$	Nível de energia de Fermi



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>29</b>
<b>1      TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA COMO DIRECIONAMENTO PARA ENSINO DA NANOTECNOLOGIA</b> . . . . .	<b>33</b>
1.1    O CONCEITO DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE YVES CHEVALLARD	34
1.1.1   O Saber Sábio ( <i>Savoir Savant</i> ) . . . . .	34
1.1.2   O Saber a Ensinar ( <i>Savoir à Enseigner</i> ) . . . . .	35
1.1.3   O Saber Ensinado ( <i>Savoir Enseigné</i> ) . . . . .	36
1.1.4   Práticas Sociais de Referências e a História e Filosofia da Ciência . . . . .	37
1.1.5   As regras da Transposição Didática . . . . .	38
<b>2      HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA</b> . . . . .	<b>41</b>
2.1    INTRODUÇÃO . . . . .	41
2.2    DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS . . . . .	42
2.3    A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA . . . . .	47
2.4    ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA	65
<b>3      INSTRUMENTOS DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: METODOLOGIAS ATIVAS</b> . . . . .	<b>67</b>
3.1    TEORIA SOCIO-INTERACIONISTA DE VYGOTSKY . . . . .	67
3.2    A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL . . . . .	69
3.2.1   Condições para a ocorrência da Aprendizagem Significativa . . . . .	72
3.3    COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS ATIVAS DE APRENDIZAGEM	72
<b>4      O MÉTODO PEER INSTRUCTION</b> . . . . .	<b>77</b>
4.1    INTRODUÇÃO . . . . .	77
4.2    ASPECTO HISTÓRICO . . . . .	77
4.3    O MÉTODO <i>PEER INSTRUCTION</i> . . . . .	77
4.4    MELHORIA NO APRENDIZADO DO ALUNO . . . . .	79
4.5    IMPLEMENTAÇÃO . . . . .	81
4.6    GANHO DE HAKE . . . . .	82
<b>5      APLICAÇÃO E ANÁLISE DO PRODUTO EDUCACIONAL</b> . . . . .	<b>85</b>
5.1    AULA 1: EXPLICAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA <i>PEER INSTRUCTION</i> . . . . .	86
5.1.1   Relato e Análise da aplicação da Aula 1 . . . . .	87

5.2	AULA 2 - NANOTECNOLOGIA: HISTÓRICO . . . . .	89
5.2.1	Relatos e Análise da aplicação da aula 2 . . . . .	92
5.3	AULA 3 - APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE . . . . .	94
5.3.1	Análise da aplicação do Pós-Teste . . . . .	94
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>99</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>PRODUTO EDUCACIONAL:ENSINO DE FÍSICA CON- TEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION . .</b>	<b>109</b>

## INTRODUÇÃO

A pandemia de Covid-19, trouxe para o mundo um enorme desafio, o de se adequar a uma nova realidade. O ser humano, como um ser social, se viu agora em uma situação de isolamento, restando buscar um alento na tecnologia para essa situação que vitimou a todos. Já possuíamos as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) sendo usada para este propósito, comunicar e informar, mas, devido ao contexto, elas passaram a se tornar ferramentas de trabalho para muitos que tinham acesso a elas.

A nanotecnologia teve um grande impacto nos aparelhos eletrônicos que usamos como Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). O rádio, a TV, o computador e os equipamentos de gravação audiovisuais agora são agregados em um único equipamento portátil, versátil e multiúso que cabe na palma da mão, o *Smartphone*. Isso foi possível graças à miniaturização dos componentes eletrônicos ao nível atômico promovida pela nanotecnologia.

Como a Nanotecnologia se desenvolveu? Quais métodos e dispositivos utilizados para a nanotecnologia alcançar tamanho desenvolvimento? Essas são as questões que motivaram a elaboração do Produto Educacional, na tentativa de elucidá-las fazendo o uso das metodologias ativas, mais precisamente, o *Peer Instruction*.

Esta dissertação, intitulada de **ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION**, foi pensada para auxiliar na elaboração, aplicação e análise da aplicação do Produto Educacional de mesmo nome. O Produto Educacional propõe a trazer os conceitos nos quais a Nanotecnologia se baseia, revelar um pouco da sua história, fazendo um recorte, desde a utilização de nanopartículas de ouro em artefatos antigos até a descoberta do grafeno, em 2004.

A dissertação é dividida em 5 capítulos e as Considerações finais, e acompanhada do Produto Educacional (Apêndice A). A aplicação do Produto Educacional foi analisada e está exposta no capítulo 5.

O Produto Educacional, é um documento destacável do restante da Dissertação, pois o professor que se propor a utilizá-lo poderá fazê-lo sem que faça a leitura prévia da dissertação. Ele é composto por quatro capítulos, juntamente com a Introdução e Considerações finais. E conta com dois Apêndices, o primeiro com o texto utilizado como base para a aula (Apêndice A: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA), o segundo apêndice com os pré e pós-testes (Apêndice B) e o Anexo A (O USO DO APP/SITE QUIZZ). A descrição completa dos capítulos pode ser encontrada no próprio Produto Educacional.

O primeiro capítulo dessa Dissertação, após essa breve introdução, trata da necessidade de transformar o conhecimento científico em um conhecimento ensinável, ou seja, trata da Transposição Didática, elaborada por Yves Chevallard, que serve como um guia para a transformação adaptativa do conhecimento científico, por ele chamado de Saber Sábio, em um conhecimento ensinável, que possa ser entendido pelas demais pessoas. Essa transformação transforma o Saber Sábio em Material que pode ser utilizado para lecionar ou informar, sendo que este material passa a ser chamado de Saber a Ensinar.

Chevallard, define regras para que isso possa ser feito sem que haja perda do sentido epistemológico, tornando o objeto de estudo do cientista um exercício a ser resolvido agora pelo aluno. O professor de posse desse novo material se encarrega de torná-lo ainda mais assimilável, fazendo assim uma segunda Transposição Didática, transformando o Saber a Ensinar em Saber Ensinado, elaborando novos materiais, apostilas, resumos, exemplos resolvidos, de modo que esse novo material mantenha o sentido inicial do Saber Sábio. Para isso, o professor deve se munir do ferramental didático, que ele utilizará em suas aulas, para fazer a transmissão desse novo conhecimento. Tendo então que buscar nos Métodos de Ensino, tais ferramentas.

O capítulo 2, trata da fundamentação histórico-teórica do tema que será abordado no produto aqui analisado. Parte da descrição de alguns conceitos e dispositivos que levarão a criação dessa nova área de estudo, fazendo a ponte de ligação até a ideia de Feynman sobre a possibilidade do uso dos átomos para a construção de novos dispositivos, em escala nanométrica (escala atômica/molecular), aproveitando dos novos efeitos que aparecem nesta escala, fazendo uma cronologia dos eventos e dispositivos criados ao logo do desenvolvimento desta nova tecnologia, dando destaque aos microscópios, utilizados para sintetizar e caracterizar estes materiais.

Este capítulo ainda dá um destaque aos nanomateriais de carbono (fulerenos, nanotubos e o grafeno), fazendo uma descrição do porquê e como eles foram sintetizados e caracterizados e mostrando algumas de suas possíveis aplicações tecnológicas. Ao final, faz uma breve consideração sobre o estado atual do financiamento das pesquisas em Nanotecnologia, mostrando a necessidade de mais investimento por parte do governo brasileiro nessas pesquisas e no ensino, visando não ficar a deriva nesse novo nicho tecnológico.

O capítulo 3, desta dissertação, trata das Metodologias Ativas de Ensino. Buscando esclarecer sua fundamentação teórica, mais especificamente, de forma resumida as Teorias de Vygotsky e Ausubel, teorias que afirmam que a interação social e os conhecimentos prévios são fundamentais para o aprendizado ocorrer. Levando a busca de uma metodologia ativa de ensino que se adéque a necessidade do professor e do aluno. O capítulo mostra uma comparação entre algumas metodologias, sendo o *Peer Instruction* a escolhida para a



elaboração e aplicação do produto educacional gerado nesta dissertação.

No capítulo 4, o Método *Peer Instruction*, método criado pelo professor de Física, Eric Mazur, é tratado de maneira resumida, mas mostrando o seu funcionamento, com seus passos sendo descritos e um diagrama esquemático de sua aplicação em uma aula. Mostra também a análise, feita por Mazur e Crouch, de 10 anos de aplicações desse método por alguns professores, e mostra como ele ajudou na evolução do nível de aprendizagem dos alunos que passaram por essas aulas, dados analisados pelo método de Hake, que também é descrito nesse capítulo, de forma que o professor consiga entender como ele pode fazer a avaliação do método e dos resultados dos seus alunos.

No capítulo 5 é feita a análise da aplicação do Produto Educacional elaborado nessa dissertação. Vale ressaltar que, graças a flexibilização das formas de aplicação do Produto Educacional, feitas pela Coordenação Geral do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), em acordo com a Capes, devido aos desafios enfrentados por alunos e professores nas escolas e no próprio programa do mestrado, e desse produto ter sido aplicado após o ápice da crise, crise essa que afetou professores e alunos nos mais diversos aspectos, mas principalmente no psicológico, o Produto Educacional foi aplicado, fazendo o uso da prerrogativa dada ao discente de prorrogação estendida do prazo de defesa. Dito isto, para efeito de registro.

O Produto aplicado foi analisado com base na aplicação do Método PI utilizando o método de Ganho de Hake, esta análise foi feita aula-por-aula, apontando os aspectos relacionados a elaboração do Produto Educacional, como a escolha das questões do pré-teste (aula 1), analisando, com o pós-teste (aula 3), as questões elaboradas (as mesmas do pré-teste), observando os conceitos envolvidos, e o tipos de questões utilizadas para apresentar a pergunta.

Na aula dois foram analisadas as características e passos, de uma aula em PI, que deveriam ser seguidas pelo professor. Pela análise do resultado mostrado no pós-teste, o professor pôde concluir que a aplicação teve êxito, podendo servir de base de análise para outros colegas que queiram utilizar o Produto Educacional dessa dissertação ou somente o método PI.



## 1 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA COMO DIRECIONAMENTO PARA ENSINO DA NANOTECNOLOGIA

O conhecimento, para ser ensinado em uma sala de aula, passa por diversas transformações, desde o contexto sócio-histórico até o epistemológico, ou seja, um conhecimento (ou Saber) passa por diversas adaptações, tirando de seu contexto social e histórico, mudando a ordem cronológica e o conceito original definido pelo idealizador, descaracterizando, total ou parcialmente, como este saber é apresentado em sua forma final. Um exemplo é o conceito físico de Força, CARVALHO *apud* Pinheiro (1996) diz:

“... exemplo que pode ilustrar a reformulação, a dogmatização e a transposição de um elemento do “Saber Sábio” para o conteúdo físico escolar pode ser encontrado na maioria dos livros de didáticos destinados à 1ª série do 2º grau, quando tratam das leis de Newton. A 2ª Lei de foi formulada originalmente por Newton, definindo força como a derivada temporal da quantidade de movimento [ $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$  (negrito é vetor)], ou numa linguagem mais apropriada ao ensino do 2º grau, como a variação do vetor quantidade de movimento com relação à variação do tempo ( $\mathbf{F} = \Delta\mathbf{p}/\Delta t$ ). Entretanto, na maioria dos livros ela é apresentada como sendo  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ , que é a estrutura elaborada por Euler quase um século depois de Newton.”

Desta forma, podemos observar que o Saber denominado de Força, desde sua concepção por Newton, sofreu uma “didatização” sendo apresentado com a forma concebida por Euler, muito tempo depois de Newton, e que continua a ser ensinado desde então.

A teoria da Transposição Didática teve o termo cunhado inicialmente por Michel Verret, na sua tese de doutorado *Le temps des études*, publicada em 1975 Chevallard (1991) *apud* Leite (2004, p.47), que estudava, com visão sociológica, a distribuição do tempo das atividades escolares e suas implicações sociais. Este identificou que existe o tempo do conhecimento e o tempo de transmissão desse conhecimento. Chevallard se baseia nesse trabalho e dá uma visão mais específica, fazendo uma análise das transformações sofridas pelos conceitos matemáticos desde suas concepções até o momento de seu ensino para os alunos.

O significado do conceito de Transposição, usada por Chevallard, foi emprestada da teoria musical, em referência a passagem de formas melódicas de um tom para outro, num processo de “transformação adaptativa” de um contexto a um novo (Idem, p.50). Essa transformação adaptativa ocorre com o conhecimento que será ensinado na sala de aula, passando por alguns estágios (tempos) partindo do conhecimento criado pelos cientistas, passando por uma adaptação para livros e manuais didáticos e no final sendo transformado pelo professor de forma que ele consiga transmitir o conhecimento conforme seu método didático.

A Teoria da Transposição Didática é um sistema de análise didática, que serve de

referência para a tentativa de se produzir materiais didáticos voltados às mudanças no “já existente” conceitual dos alunos, já que estes, mesmo que estes materiais estejam fora do contexto científico, servem de referência e sistema de explicação eficaz e funcional para o aluno, segundo Astolfi, Develay, Sento e Fonseca (2006).

Assim, podemos definir o que é a Transposição Didática (TD) de Chevallard.

## 1.1 O CONCEITO DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE YVES CHEVALLARD

Chevallard define sua teoria de Transposição Didática da seguinte maneira:

*“Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O ‘trabalho’ que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino, é chamado de transposição didática.”* Chevallard e Johsua (1991, p.39).

A Transposição Didática (TD) é necessária porque o Saber, que deve ser transmitido para as novas gerações através da escola, é todo objeto do conhecimento que deve ser manipulado e transformado (transposto) em um objeto de ensino pelos atores que fazem parte deste processo. Isso ocorre por o Saber ser subdividido em três categorias que sofrem influências distintas e possui seus próprios interesses e finalidades. São classificados, por Chevallard, os saberes: Saber Sábio (*savoir savant*), o Saber a Ensinar (*savoir à enseigner*) e o Saber Ensinado (*savoir enseigné*).

Os agentes que influenciam e promovem tais transformações do Saber são denominados *Noosfera*. São membros da sociedade, que a partir das suas próprias necessidades e das necessidades desta sociedade, definem que saberes devem ser transformados, e de qual forma serão apresentados, para então serem ensinados e como serão ensinados.

### 1.1.1 O Saber Sábio (*Savoir Savant*)

O Saber Sábio (*Savior Savant*) advém do trabalho dos componentes da *Noosfera* que “cria” o Novo Conhecimento (Saber Sábio), utilizando de métodos próprios desse grupo, ou seja, os intelectuais e cientistas, estes constroem o chamado Conhecimento Científico, e exposto ao público via publicações em revistas e periódicos científicos, veículos próprios de transmissão do conhecimento dentro desse grupo que compõe a *Noosfera*.

Reichenbach *apud* Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001, p. 80), descreve o processo de produção do conhecimento. Ele define o processo inicial, adotado pelo cientista/intelectual, por “Contexto da Descoberta”, onde ele inicia se fazendo uma pergunta-problema, que define o objeto de pesquisa, assim ele visa fazer uma discussão, primeira interna e depois,

com seus colegas, procurando vários caminhos e atalhos intelectuais para resolver tal problema. Esse processo é assistemático e informal.

Após todo caminho percorrido até a descoberta é necessário que ela seja analisada e julgada por outros cientistas/intelectuais. Esse é o momento que Reichenbach (Idem) define o “Contexto da Justificação”, onde o autor da descoberta usa de publicações padronizadas, elaborando artigos ou textos para periódicos especializados, com sua organização ritualizada pela comunidade científica, que consiste na apresentação dos elementos fundantes, das medições realizadas, da apresentação da metodologia e da conclusão ao final do texto.

No Contexto da Descoberta, o Saber é despersonalizado, ou seja, todas as idas e vindas do autor não aparecem no relato da descoberta. Só importando para a comunidade científica os dados, métodos, análises e conclusões.

Esse processo de formalização do conhecimento e sua publicização para a comunidade científica, Reichenbach (Idem) define como reconstrução racional *“que diferencia o processo como o ser humano (cientista) produziu um determinado saber e como o cientista (ser humano) apresenta-o formalmente a seus pares.”*

Nesse ponto Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001, p. 80), chega a se referir a um processo de transposição não-didática, ou seja, uma transposição científica, “caracterizada pela despersonalização e reformulação do saber”. Assim, o Saber Sábio passa agora pelo processo de validação pela comunidade científica, e quando corroborado e consolidado por essa comunidade, passa a se tornar um objeto de estudos e por consequência de ensino, que o leva a se transformar no Saber a Ensinar.

### 1.1.2 O Saber a Ensinar (*Savoir à Enseigner*)

Agora o Saber Sábio, já consolidado pela comunidade científica, é “preparado” para ser divulgado para o restante da sociedade. Esta etapa de transformação do Saber Sábio em Saber a Ensinar envolve mais pessoas e os mais diversos interesses. Então, o Saber Sábio só será tratado como Saber a Ensinar se este trouxer consigo um objetivo no plano social, uma atualização de um certo conceito ou a simples atualização curricular no plano de ensino, tanto no nível do ensino superior quanto no ensino básico.

No caso do currículo de Física, principalmente a Física Moderna e Contemporânea (FMC), estão sendo feitos ensaios de adaptações dos seus conceitos para o Ensino Básico, pois suas ideias e o ferramental matemático são difíceis de serem transmitidos para esse nível de ensino pela dificuldade de serem transpostos didaticamente. Então, há aqui uma necessidade de Atualização de Currículo de modo que os conceitos de FMC sejam contemplados nos livros e manuais didáticos, bem como nos planos de aula dos professores do Ensino Básico, especialmente para os professores do Ensino Médio.

A necessidade de atualização curricular é definida pelos componentes da Noosfera: são os autores de livros, professores especialistas ou não especialistas, donos de editoras de livros e manuais didáticos, pela necessidade da sociedade em geral, pelos interesses econômicos, etc., esses são os impulsionadores da transformação de um Saber em outro. Assim, o Saber Sábido sofre a primeira Transposição Didática (1ª TD). Nesse momento o Saber começa a ser transformado de modo que ele saia do seu Contexto da Descoberta e da Justificativa e começa a ser adequado ao contexto de ensino.

Não podemos confundir a TD como uma mera simplificação do Saber Sábido, ela envolve muito esforço intelectual para transformar, sem a perda do seu sentido epistemológico, para incorporar tal conhecimento aos já existentes (ou fazer a substituição de um conceito superado pelo novo), e criar exercícios e problemas que se utilizam destes conceitos que passam pela TD, de modo que o problema gerador do novo Saber se torne um entre tantos outros exercícios ou problemas, isso tudo para ser vista agora como **Saber a Ensinar** e fazer parte dos livros e manuais didáticos para serem ensinados aos estudantes, primeiramente aos de nível superior, de modo que eles se “apropriem” de tal conhecimento para que no próximo nível, o **Saber Ensinado**, eles possam, quando se tornarem professores, achar uma maneira de fazer uma segunda Transformação Didática (2ª TD) e consigam transmitir este novo conhecimento para os estudantes do ensino básico.

### 1.1.3 O Saber Ensinado (*Savoir Enseigné*)

O professor em posse do “novo saber” (Saber a Ensinar), transformado em objeto de ensino, deve encontrar uma forma de transmitir esse conhecimento para os seus alunos. Surge, então, uma necessidade de adaptação deste objeto de ensino para a realidade da escola, dos alunos, das pressões que surgem sobre as avaliações, tanto internas quanto externas, entre tantos fatores que irão influenciar na didática do professor e sua capacidade de transformar o conhecimento por ele adquirido em um novo conhecimento, ajustado-o a capacidade cognitiva dos alunos.

Nesse estágio da Transposição Didática o professor deverá conhecer muito bem o conteúdo a ser ensinado, tendo visto e revisto em diferentes fontes, que vão desde o livro didático de nível superior e básico, livros paradidáticos e artigos de jornal ou sites voltados ao público, buscando uma forma de adaptar o formalismo acadêmico ao formalismo que poderá ser compreendido pelos seus alunos e depois trabalhado em forma de exercícios ou outras atividades.

A transformação do Saber a Ensinar no Saber Ensinado força o professor a descaracterizar, de uma maneira mais drástica, o conhecimento do Saber Sábido, como a reestruturação histórica (tirando o conhecimento de seu contexto histórico-sócio-político) e a reestruturação do formalismo utilizado para descrever os fenômenos a serem apresentados

para o seu público. Aqui ocorrem as transformações que consideram o interesse as pressões de alguns atores da Noosfera, como o do sistema de ensino, o da escola, o do professor, dos pais de alunos e dos próprios alunos, além do tempo estipulado para o cumprimento de carga horária e a avaliação que será utilizada pelo professor (baseada no sistema de ensino a que ele está vinculado) que servirá para aferir se o novo conhecimento foi assimilado pelos seus alunos e se sua metodologia de ensino foi eficiente para o processo.

Nessa fase da Transposição Didática, o professor, devido a tais pressões acima citadas, acaba por simplificar demais os conceitos, tirando-os do contexto histórico fazendo com que os alunos tenham uma percepção errônea da ciência, como algo criado por gênios, sem conexão com a realidade, tornando o conhecimento algo sem sentido para eles, que é um problema que deve ser contornado pelo professor se ele quiser que seus alunos aprendam significativamente, conforme Ausubel. Esse problema pode ser minimizado quando o professor se utiliza das Práticas Sociais de Referências e a História e Filosofia da Ciência.

#### 1.1.4 Práticas Sociais de Referências e a História e Filosofia da Ciência

Segundo Astolfi, Develay, Sento e Fonseca (2006), as Práticas Sociais de Referências estão todas no cotidiano do aluno, ou seja, o cozinhar, passar roupas, pescar, atividades de pesquisa, montar e desmontar equipamentos, a produção agrícola e tantas outras atividades, podem servir de referência para a realização de experimentos, de base para métodos de resolução de problemas entre outros aspectos da cognição.

Assim, as Práticas Sociais de Referência nos dão um limite do conhecimento trazido pelos alunos (Subsunçores de Ausubel) e que servirão de base para as atividades científicas que serão desenvolvidas pelos mesmos. Do mesmo modo, elas servem para que o professor não se utilize de termos que os alunos não tenham conhecimento para tentar exemplificar um fenômeno. Por exemplo, se utilizar de trens para alunos de Manaus onde não se utiliza desse tipo de transporte ou usar as marés para explicar a influência gravitacional da Lua sobre os oceanos e mares para pessoas que não moram perto do mar, tornando, a assimilação destes novos conhecimentos um processo mais complicado para os estudantes, conforme Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001).

O uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) pode ajudar na contextualização do conhecimento científico que será abordado, desvelando o processo socio-histórico do seu desenvolvimento, sua evolução e as implicações deste conhecimento na época de sua elaboração e atualmente.

Para Batista e Silva (2018), a contextualização dos conhecimentos científicos, pautando as aulas na HFC, leva a humanização das ciências, levando ela para mais perto dos interesses dos alunos, evidenciando os aspectos éticos, culturais e políticos de um

conhecimento científico. Além disso, a HFC pode:

“tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, dar uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.” Matthews (1995, p.165) *apud* Batista e Silva (2018).

Ou seja, o professor, no processo de Transposição Didática, deve considerar muitos fatores e estes são os mais importantes, as Práticas Sociais de Referência e a HFC. Se ele quer fazer com que seus alunos tenham uma melhor compreensão de um determinado fenômeno físico, ele não deve misturar dois conceitos desconexos da realidade destes alunos – o conceito do fenômeno a ser ensinado e o objeto sobre o qual será aplicado o fenômeno físico.

Para Batista e Silva (2018), o professor deve recorrer ao contexto histórico no qual o conhecimento foi construído, pois a História da Ciência pode ser uma fonte de inspiração no desenvolvimento das atividades e a relação delas com o contexto do estudante, propiciando uma melhor compreensão dos conceitos e procedimentos, motivando-os e engajando-os para as atividades de aprendizagem.

Dessa forma, a Teoria da Transposição Didática possui algumas regras que devem ser consideradas pelo professor, como será visto na seção a seguir.

#### 1.1.5 As regras da Transposição Didática

Poderemos analisar as regras da TD para o tema a ser trabalhado nesta dissertação, a Nanotecnologia e suas Aplicações, de modo que tenhamos um melhor entendimento delas.

Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001), organiza uma tabela com as regras da TD que servirão para a análise da aplicação da sequência didática a que se destina este trabalho.

Para o tema sugerido nesta dissertação, a Nanotecnologia e suas aplicações, podemos observar que ela segue tais regras de transposição didática, como podemos perceber pela análise elaborada na tabela 2:

Assim, podemos ponderar introduzir os conceitos relacionados à Nanotecnologia e suas possíveis aplicações na indústria, na medicina, na biologia, na química, na física e em tantas outras áreas que compõem as nanociências.



<b>N.º</b>	<b>Regra</b>	<b>Comentário</b>
1	Modernizar o saber escolar	Determinada pela necessidade de inclusão de novos conhecimentos acadêmicos, para a atualização da formação básica dos futuros profissionais no curso de graduação.
2	Atualizar o Saber a Ensinar	Justifica a modernização curricular com eliminação de saberes que se banalizaram ou que foram excluídos com o passar do tempo.
3	Articular o saber “novo” com o “antigo”	A introdução de objetos de saber “novos” ocorre melhor se articulados com os antigos. O novo se apresenta como que esclarecendo melhor o conteúdo antigo, e o antigo hipotecando validade ao novo.
4	Transformar um saber em exercícios e problemas	O Saber Sábio cuja formatação permite uma gama maior de exercícios é aquele que, certamente, terá preferência frente conteúdos menos “operacionalizáveis” a título de exercícios.
5	Tornar um conceito mais compreensível	A possibilidade de diminuir as dificuldades na aprendizagem de conceitos.

TABELA 1 – Regras da Transposição Didática. Ver em Pietrocola, Filho e Pinheiro (2001)

Nos próximos capítulos introduziremos os conceitos englobados pela nanotecnologia, começando pelo histórico, os processos de sintetização dos nanomateriais, a Física da Nanotecnologia e os Nanomateriais de Carbono e suas aplicações.

<b>Regra</b>	<b>Análise</b>
Modernizar o saber escolar	A nanotecnologia está presente em todos os aparelhos eletrônicos fabricados hoje, além de fazer parte da indústria promovendo várias melhorias, como a redução de dispositivos de armazenamento de informações e energia.
Atualizar o Saber a Ensinar	Como consequência da primeira regra, a nanotecnologia pode ser utilizada para os alunos entenderem as escalas, e os fenômenos que ocorrem em escala nanométrica, de modo a compreenderem as leis físicas e as consequências e aplicabilidades dessas leis em tal escala.
Articular o saber “novo” com o “antigo”	A nanotecnologia é parte da Física da Matéria Condensada e Materiais e envolve conceitos como Mecânica Quântica e Física Estatística para a compreensão de fenômenos em escala nanométrica, como os conceitos de átomos, relações de troca energia em sistemas de várias partículas e suas aplicações na eletrônica e transferência de energia e calor.
Transformar um saber em exercícios e problemas	A nanotecnologia tem várias aplicações tanto na Física, na Química, na Biologia, e muitas outras áreas que formam as Nanociências, fornecendo assim uma vasta gama de exercícios a serem trabalhados com os alunos.
Tornar um conceito mais compreensível	Os nanomateriais, como o Grafeno, os Fullerenos e os Nanotubos, podem se utilizar dos conceitos já apresentados aos alunos, como os da Química Orgânica, para descrever tais estruturas e servirem de exemplos para estes conceitos.

TABELA 2 – Regras da Transposição Didática aplicadas e as relações com o tema História da Nanotecnologia.

Fonte: O próprio autor.

## 2 HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

### 2.1 INTRODUÇÃO

A Física, com o surgimento da Mecânica Quântica, foi uma das responsáveis pelo desenvolvimento da Nanotecnologia, pois o estudo da matéria em escala atômica e molecular promoveu uma melhor compreensão dos mecanismos que regem as interações entre átomos e moléculas nessa escala de tamanho, levando ao desenvolvimento de materiais relevantes para campos diversos, como a medicina, eletrônica, ciência da computação, química, biologia e engenharia de materiais, campos de estudo aplicados a nanotecnologia compõem a Nanociência.

A atuação desses campos é transdisciplinar permitindo o planejamento e a miniaturização de materiais ou dispositivos, ou seja, a construção de estruturas e novos materiais em nanoescala (escala atômica), onde o objetivo principal é alcançar o controle dos átomos e utilizá-los para construir estruturas estáveis e convenientes para aplicações nestas áreas de estudo. Na medicina, por exemplo, nanopartículas que levam remédios direto nas células afetadas, como a utilização de derivados dos fulerenos com ações anti-HIV, antimicrobiana, antioxidantes e compostos capazes de carregar fragmentos de DNA para possíveis terapias genéticas, segundo Ruela (2013).

Se entendermos e controlarmos as propriedades físico-químicas dos nanomateriais, como as propriedades eletrônicas (condutividade), ópticas, térmicas e resistências a deformações, poderemos criar aplicações e melhorar processos de fabricação destes e de outros materiais, como a aplicação de nanotubos de carbono na construção civil substituindo o aço das estruturas ou sendo agregada ao concreto para torná-lo mais forte.

Os materiais semicondutores, muito utilizados na indústria para fabricação de componentes eletrônicos, podem se tornar mais finos e flexíveis com a substituição do silício pelo grafeno, tornando os produtos finais mais eficientes energeticamente, diminuindo a dissipação de energia pelo calor e aumentando o seu poder de processamento de informações ou das demais características de interesse industrial como transporte de energia elétrica e térmica, por exemplo.

Conforme Pereira (2019), Schulz (2013) e Maciel (2015), os nanomateriais como os nanotubos de carbono e o grafeno, que conduzem os elétrons com muita eficiência, são nanomateriais feitos de carbono, com estruturas hexagonais formados pelas ligações covalentes dos seus átomos. O grafeno é uma folha de carbono de um átomo de espessura, já os nanotubos podem ser considerados “canudos” feitos de grafeno. Esses dois nanomateriais podem se tornar semicondutores de alta velocidade, tornando-os ótimos candidatos a

substituir o silício na fabricação de componentes eletrônicos, como os chips de computador, fazendo com que eles sejam mais rápidos e mais eficientes energeticamente.

A grande mobilidade dos elétrons na estrutura do grafeno o torna um ótimo candidato a transistores de alta frequência, podendo superar 500 GHz, uma vantagem sobre o silício que trabalha abaixo dos 5 GHz, conforme artigo publicado no site Inovação Tecnológica, conforme o artigo Tecnológica (2014).

No meio ambiente, a nanotecnologia pode ser aplicada para sensoriamento ambiental, indicando contaminantes ou mudanças no clima locais, compósitos magnéticos podem ser utilizados para a purificação de água e no tratamento de resíduos industriais por meio da adsorção de poluentes presentes nesses líquidos. As nanopartículas magnéticas são adicionadas à água ou ao resíduo industrial, onde se ligam aos poluentes presentes. Em seguida, um campo magnético externo é aplicado, permitindo que as nanopartículas sejam separadas do líquido juntamente com os poluentes adsorvidos. Essa técnica é conhecida como separação magnética e é uma alternativa eficiente e econômica para a remoção de poluentes em soluções aquosas, para Da Silva, Dinola e Neto (2018).

Peres (2021) cita também a aplicação da nanotecnologia na área cosmética, onde os nanomateriais têm uma melhor absorção dos seus componentes pela pele humana, ou na indústria de tintas para automóveis, e em tecidos, que tornam os materiais onde foram aplicados mais resistentes a arranhões (automóveis) ou impermeáveis (paredes, tecidos, calçados, etc.).

Portanto, a capacidade de controlar e manipular materiais e dispositivos nanométricos possibilita explorar novas propriedades físicas, químicas e biológicas destes nanomateriais, tornando o número de aplicações da nanotecnologia impensável, dependendo somente da imaginação do ser humano em encontrar um problema que possa ser resolvido com a nanotecnologia.

Para entendermos melhor o que é a Nanotecnologia, devemos procurar entender o conceito relacionado a palavra grega *Nano*.

## 2.2 DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS

A definição mais simples de nanotecnologia é dada pelo seu prefixo *NANO*, que em grego significa **Anão** e representado pela letra *n*. O termo é utilizado para designar coisas muito pequenas, na casa do bilionésimo, portanto, o prefixo *n* equivale a uma divisão por 1 bilhão, de modo que em relação à escala de comprimento temos que  $1 \text{ nm} = 1 \text{ metro} (1 \text{ m}) / 1.000.000.000 = 1 \text{ m} / 10^9 = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ , ou seja, 1 nm (um nanômetro) é um bilionésimo do metro.

Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015) faz uma comparação interessante considera o

tamanho da Terra (T), o de uma bola de futebol (B) e o tamanho do fulereno  $C_{60}$  (F) (ver figura 1). Onde  $T/B \approx B/F \approx 10^6$ .



FIGURA 1 – Comparação entre os tamanhos dos diâmetros da Terra, bola de futebol e fulereno  $C_{60}$

Outras comparações podem ser efetuadas com estruturas que conhecemos, por exemplo, o fio de cabelo (de aproximadamente 100.000 nm), com os glóbulos vermelhos do nosso sangue (em torno de 7.000 nm), e diversas outras estruturas biológicas, como bactérias e vírus e retrovírus como o HIV, em ordem decrescente de tamanho.

Um nanotubo de carbono tem espessura de aproximadamente 10 nm, se fizermos a mesma comparação de anteriormente, Terra  $\Rightarrow$  Bola  $\Rightarrow$  fulereno, o tamanho de um prédio de 3 andares é aproximadamente 10 mil vezes maior que a espessura de um fio de cabelo, enquanto o fio de cabelo é cerca de 10 mil vezes mais espesso que um nanotubo de carbono. Podemos também comparar as escalas dos dispositivos eletrônicos, como os transistores, os responsáveis pela redução do tamanho dos computadores eletrônicos.

Os computadores evoluíram do ábaco, uma calculadora manual que inventada pelos chineses no século V a.C, até o computador eletrônico, que se tornou possível com o controle da eletricidade pelo ser humano e pela necessidade de um alto nível de processamento de dados durante e após a 2ª Guerra Mundial, onde quem tivesse alto poder computacional poderia ganhar guerras.

O primeiro computador eletrônico (ver figura 2) o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*), construído em 1945, era composto por 17.468 válvulas, ocupando um espaço de um prédio, segundo Souza (2023). Com a descoberta dos transistores, que possuem a mesma função das válvulas, os computadores tiveram uma redução muito considerável de tamanho, cabendo na palma da mão, além da melhoria de eficiência energética e computacional.

O transistor, é um componente que controla a passagem da corrente, constituído por três partes, o emissor (polo positivo), coletor (polo negativo) e a base, que controla os estados de liga e desliga do transistor, nos dando uma unidade de computação binária, o *bit*. Assim, a redução do tamanho dos computadores acompanhou a redução do tamanho desses componentes eletrônicos, que saíram da casa dos centímetros para a casa dos nanômetros ( $10^7$  vezes menor), conforme Panzenhagen (2014). De maneira que, o número de componentes eletrônicos que realizam os cálculos no computador saíram dos 17.000

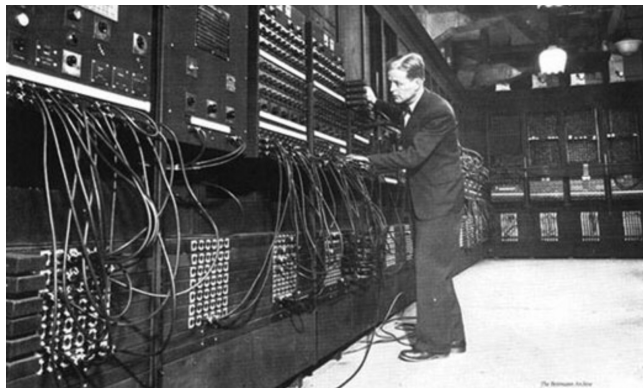


FIGURA 2 – ENIAC, o primeiro computador eletrônico.

(ENIAC) para a casa dos 30 bilhões de transistores em um processador de computador (*Intel Core i9*), devido à redução destes componentes através do uso das técnicas de fabricação desenvolvidas com a Nanotecnologia.

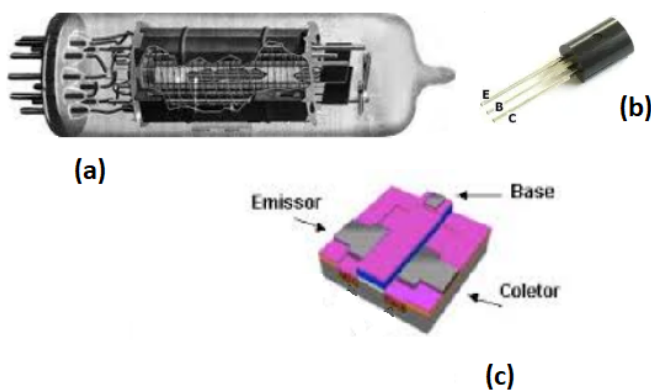


FIGURA 3 – (a) Válvula eletrônica utilizadas no ENIAC; (b) Transistor, substituto das válvulas nos computadores eletrônicos; (c) Transistor de silício.

O termo Nanotecnologia, segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015), possui duas definições, concebidas por duas instituições, o Comitê Técnico da Organização Internacional de Padronizações, em inglês *International Organization for Standardization – Technical Committee* (ISO-TC) e outra pela *The National Nanotechnology Initiative (NNI)*:

ISO-TC: "Compreensão e controle da matéria e processos em escala nanométrica, em geral – mas não exclusivamente – abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos ligados ao tamanho geralmente permite novas aplicações."

NNI: "Utilização de propriedades dos materiais em nanoescala, a qual difere da escala dos átomos, das moléculas e da matéria a granel, para a criação de melhores materiais, dispositivos, e sistemas que exploram essas novas propriedades."

Para que um sistema, material ou dispositivo seja considerado nanotecnológico, é necessário que, além do tamanho nanométrico, ele possua propriedades específicas associadas à escala nanométrica. Para a *NNI*, os limites mínimo e máximo para dispositivos e materiais nanotecnológicos vai da escala de 1 nm, o tamanho aproximado de um átomo, até 100 nm, conforme Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015).

Em resumo, a Nanotecnologia se refere à “habilidade de projetar, construir e manipular dispositivos, materiais e sistemas funcionais em escala nanométrica”, sendo considerada uma engenharia de sistemas em escala molecular (*Ibid.*).

Os processos utilizados para a fabricação de nanomateriais são os mais diversos, por dependerem de propriedades físico-químicas dos materiais a serem trabalhados e de quais propriedades se deseja para esse novo material. Para se obter um nanomaterial específico podemos utilizar dois tipos de processos distintos, o primeiro de Cima para baixo (*top-down*) e o segundo de baixo para cima (*botton-up*), para Probst (2020), que serão descritos a seguir.

De cima para baixo e de baixo para cima são dois métodos de fabricação de um produto. Em 1989, o Foresight Institute aplicou pela primeira vez esses termos ao campo da nanotecnologia para distinguir entre manufatura molecular (que produz objetos grandes em massa com precisão atômica) e manufatura convencional (que pode produzir objetos grandes em massa com imprecisão atômica). As abordagens de baixo para cima buscam construir componentes menores (geralmente moleculares) em montagens mais complexas, como os fulerenos e nanotubos de carbono, enquanto as abordagens de cima para baixo buscam usar componentes maiores controlados externamente para orientar sua montagem para criar dispositivos em nanoescala, como os transistores utilizados em chips de computador, como explica Crandall e Lewis (1992).

Abordagens de cima para baixo normalmente usam oficina tradicional ou métodos de microfabricação, onde ferramentas, controladas externamente, são usadas para cortar, segmentar e moldar materiais nas formas e sequências desejadas. Técnicas de micropadronização, como litografia e impressão a jato de tinta, se enquadram nessa categoria.

Em contraste, as abordagens de baixo para cima exploram as propriedades químicas de moléculas simples para permitir que seus componentes se automontem em alguma conformação útil; ou instalados posicionalmente. Esses métodos usam os conceitos de automontagem molecular e/ou reconhecimento molecular. Essa abordagem de baixo para cima geralmente deve conseguir produzir dispositivos em paralelo e ser muito mais barata do que uma abordagem de cima para baixo, mas pode ficar sobrecarregada à medida que o tamanho e a complexidade dos componentes necessários aumentam.

As propriedades desejadas pelos nanomateriais estão associadas às suas características físico-químico-biológicas, com a redução do tamanho dos dispositivos, até a nanoescala, suas propriedades mudam e sofrem a influência das leis da mecânica quântica, fazendo aparecer outros efeitos que não são observáveis em escala macroscópica ou micrométrica. Desta forma podemos destacar as propriedades ópticas, quando os nanomateriais se absorvem a luz transformando em calor ou eletricidade, ou simplesmente mudando de cor, a condutividade elétrica, para a fabricação de materiais que conduzem a eletricidade de forma mais eficiente (supercondutores), semicondutores que possuam melhores propriedades, como transferência de cargas elétricas de maneira mais rápida quando exigido e com melhor eficiência energética, segundo Disner e Cestari (2016).

A redução de tamanho de uma determinada substância ou dispositivo provoca um aumento da área de superfície correspondente destas partículas em comparação ao correspondente macroscópico, podendo ter uma maior reatividade química, servindo de catalisadores mais eficientes ou propriedades terapêuticas ampliadas, em contrapartida, temos um possível efeito tóxico também ampliado (*Ibid.*).

Podemos destacar também a condutividade térmica, necessária para retirada de calor de forma mais rápida de um sistema, como em um chip de computador, por exemplo. Quando se planeja e se cria um nanomaterial, espera-se que este revele uma nova propriedade mais interessante e que tenha uma nova aplicabilidade ou que sirva como uma nova abordagem para a solução de um problema antigo.

Estas propriedades procuradas e exploradas em nano materiais, provocam grande interesse pelo estudo e desenvolvimento da nanotecnologia e da nanociência. Whitesides (2005) *apud* Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015), elenca seis razões para o estudo da nanotecnologia e nanociência:

1. Muitas propriedades, ainda são consideradas como um “mistério”, como, por exemplo, o funcionamento do motor flagelar da bactéria *E. coli* ou como os elétrons se movimentam ao redor de nanofios organometálicos.
2. A dificuldade de se obter os nanomateriais.
3. Muitas das estruturas nanométricas ainda são inacessíveis, e seu estudo pode levar a novos fenômenos.
4. Nanoestruturas apresentam uma variedade de tamanhos em que os fenômenos quânticos (principalmente o emaranhamento quântico e outros reflexos do caráter de onda da matéria) são esperados. Fenômenos quânticos, com certeza, explicam o comportamento e as propriedades dos átomos e das moléculas, mas estes fenômenos não são perceptíveis ao nível macroscópico. Como exemplo, os pontos quânticos



(quantum dots) e os nanofios já foram obtidos e apresentam propriedades eletrônicas particulares.

5. Estruturas nanométricas e funcionais realizam as principais funções de uma célula são a fronteira da Biologia. Como, por exemplo, ribossomos, histonas e cromatina, o aparelho de Golgi, a estrutura do interior das mitocôndrias, o micromotor flagelar, o centro de reações fotossintéticas e as ATPases das células são nanoestruturas que estão sendo caracterizadas e compreendidas.
6. A nanociência será a base para o desenvolvimento da nanoeletrônica e fotônica.

A nanotecnologia é uma área de grande potencial de produção de novos materiais e dispositivos com grande aplicabilidade, nos mais diversos campos da atividade vida humana, isso abre espaço para o Brasil ocupar um lugar de destaque nesse cenário, pois possuímos uma vasta biodiversidade e excelentes centros de pesquisas, para a síntese e caracterização de novos materiais e dispositivos em nanoescala. No Amazonas, temos a UFAM (Universidade Federal do Amazonas) e o INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) que realizam pesquisas com nanomateriais, conforme COETI, Coordenação de Extensão Tecnológica e Inovação (2022), e sua aplicação em diversas áreas, como a despoluição e tratamento da água, por exemplo, revelado por Da Silva, Dinola e Neto (2018).

O Brasil participa da pesquisa em nanociências e nanotecnologia, segundo o documento elaborado por SBF (1990). Mas seus investimentos ainda são muito tímidos, mas mesmo assim já foram feitos avanços importantes na estruturação de quatro redes nacionais em Nanotecnologia, além de várias sub-redes temáticas e três Institutos do Milênio, mobilizando mais de 300 pesquisadores e 600 pós-graduandos em todo o país, conforme NANOTECNOLOGIA... (2019).

Na próxima seção, trataremos de fazer um recorte na História da Nanotecnologia, a qual é o tema do Produto Educacional desenvolvido, desde a antiguidade, com o uso de nanopartículas de ouro na fabricação de artefatos, até a descoberta do grafeno, em 2004. Este recorte se faz necessário, pois o tema Nanotecnologia, sua História, apresentam muitos fatos e conceitos, e neste trabalho, planejamos apresentar somente os fatos e conceitos principais que levaram ao desenvolvimento desta área da ciência.

### 2.3 A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

Embora seja um termo popular, a nanotecnologia já era utilizada pelo ser humano, que explorava algumas de suas propriedades físico-químicas na metalurgia, produzindo ligas metálicas mais fortes, nas cerâmicas, em tintas utilizadas em vitrais, ou fazendo artefatos

de nanopartículas de ouro, como o famoso Cálice de Licurgo, que, dependendo de como está iluminado, muda entre verde e vermelho, como mostrado na figura 4.



FIGURA 4 – Cálice de Licurgo sendo iluminado pelo lado de fora (tom esverdeado) e pelo lado de dentro (tom avermelhado).

As nanopartículas de ouro foram utilizadas pelos vidraceiros medievais que os agregavam às tintas que seriam aplicadas aos vidros e dependendo do tamanho destas partículas produziam cores diferentes. Estes vitrais, além das cores diferentes pela aplicação dessas tintas a base de nanopartículas de ouro, produziam outra propriedade, a de purificação do ar. Quando a luz do sol incide sobre esse vidro, recoberto por este material, ele se torna um fotocatalisador desse fenômeno físico-químico. Michael Faraday, um físico experimental do final do século XIX, sintetizou nanopartículas de ouro, mas não compreendia as suas propriedades, pois ainda não existiam a explicação dada pela Mecânica Quântica, segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015).

O interesse pela constituição da matéria foi iniciada pelo filósofo grego Demócrito, em 400 a.C., com sua teoria atomista, o qual foi confirmada por Ernest Rutherford e Niels Bohr, em 1913, com a experiência de Rutherford revelando a existência dos átomos e tendo sua estrutura explicada teoricamente por Bohr (*Ibid.*). Outro passo para o desenvolvimento da teoria por trás da nanotecnologia foi dada por Thomson (1906) e Lewis (1916) que desenvolveram a teoria das ligações químicas (iônica e covalente) os quais são formas de ligações moleculares. No entanto, a ideia da produção e uso dos nanomateriais só foi proposta em 1959, em palestra proferida pelo americano Richard Feynman, motivo pelo qual é considerado o ponto de partida para o uso da nanociência e da nanotecnologia.

Com a descoberta dos elétrons e conseqüentemente dos raios-X, no começo do século XX, levaram a muitos experimentos envolvendo os elétrons, os átomos e toda gama de ondas eletromagnéticas, somados às descobertas já mencionadas na seção anterior, no intuito de revelar os segredos da estrutura atômica, destacando os raios-X, utilizados na cristalografia para o estudo da estrutura de materiais, levando ao desenvolvimento da Física Moderna.

Em dezembro de 1959, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (CalTech), no encontro anual da Sociedade Americana de Física (*American Physical Society - APS*), surge a ideia da possibilidade da manipulação atômica para fins tecnológicos. Com a palestra intitulada “Há muito espaço lá embaixo” (*Plenty Room at the Bottom*, Richard Feynman inspirou seus colegas da CalTech, quando propôs que no futuro poderíamos arranjar os átomos à nossa maneira. Afirmando ainda que não via impedimento pelas leis da Física para tais feitos, o que se comprovou algumas décadas depois. Feynman (1959).



FIGURA 5 – Richard P. Feynman, o “Pai da Nanotecnologia. Ver link: <https://cdn-images-1.medium.com>

A inspiração de Feynman o fez imaginar que, com essa nova tecnologia, a informação inteira da Enciclopédia Britânica (24 volumes) poderia ser colocada toda na cabeça de um alfinete. Ele explicou que se a área da cabeça de um alfinete fosse ampliada 25 mil vezes, teria uma área proporcional capaz de conter todas as páginas da Enciclopédia Britânica da época. Hoje possuímos dispositivos que possuem alta densidade de armazenamento, talvez milhares de Enciclopédias Britânicas na palma das nossas mãos, como os drives *Solid State Drive* (SSD) e suas variantes, fabricados com o processo de litografia, conforme Zlatanov (2004), gerando componentes nanométricos, que fornecem uma alta densidade de dados e menor consumo de energia.

Portanto, para Feynman, a manipulação da matéria ao nível atômico só seria questão de conhecimento técnico e da tecnologia necessária para tal. Com tais palavras, tomadas como desafio por vários colegas, um motor de 0,38 mm de diâmetro foi apresentado

a ele como resposta, conforme relata Vieira (2006).

A ficção científica embarcou nas ideias de Feynman e em meados da década de 1960, foi lançado o filme *Viagem fantástica* (1966), adaptado em um livro por Isaac Asimov (1920-1992), em que uma nave e sua tripulação são miniaturizadas e injetadas no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sanguíneo e salvar a vida do paciente. Essa obra tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração”, conforme relatado em Vieira (2006).

O professor Norio Taniguchi, da Universidade de Ciência de Tóquio, cunhou o termo Nanotecnologia, em 1974, designando-a como o conjunto de estudos e aplicações referentes aos objetos e processos em nanoescala, segundo Cadioli e Salla (2015).

Já o termo Nanociência surgiu após o desenvolvimento do Microscópio de Varredura por Tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope - STM*), no ano de 1981, em um laboratório da IBM, em Zurique. Criado por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer este microscópio conseguia “enxergar” átomos individuais em materiais condutores e semicondutores.

Ele funciona quando uma ponta muito pequena e de material condutor é aproximada (a alguns nanômetros) do substrato a ser analisado, ao ponto que o campo elétrico de sua ponta provoca um salto de um elétron do material (Efeito de Tunelamento – efeito quântico que faz com que uma pequena corrente elétrica “tunele” por uma fina camada de material isolante) gerando uma corrente elétrica de alguns nanoamperes ( $nA$ ), mostrando haver um átomo próximo à ponta de varredura no material, essa corrente elétrica aumentava exponencialmente com a aproximação da ponta, gerando uma imagem a partir de informações topográficas da superfície com uma resolução de escala atômica, como mostrado na figura 6.

Em 1985, Robert Curl Jr. e Richard Smalley da Rice University, Houston, Texas, Estados Unidos, e com Sir Harold Kroto da University of Sussex Brighton, do Reino Unido descobriram uma forma alotrópica do carbono composta por 60 átomos de carbono organizados formando uma estrutura que parecia a forma de uma bola de futebol. Essa descoberta eles batizaram com o nome de *buckminsterfullerene*, ou simplesmente de *buckball*, em homenagem ao arquiteto alemão Buckminster Fuller, inventor do domo geodésico. Curl, Smalley e Kroto foram laureados com o Nobel de Química em 1996 pela descoberta.

O fulereno é uma família de nanomateriais feitos de carbono, que englobam os nanotubos de carbono e o grafeno. Os fulerenos geralmente se apresentam na forma esférica, como “gaiolas” feitas de carbono, onde o mais conhecido é o fulereno  $C_{60}$ , mas podem se apresentar com estruturas com maiores ou menores números de átomos, como 20, 40, 60, 70, 240 ou mais, e podem inclusive formar camadas como cebolas, sendo então

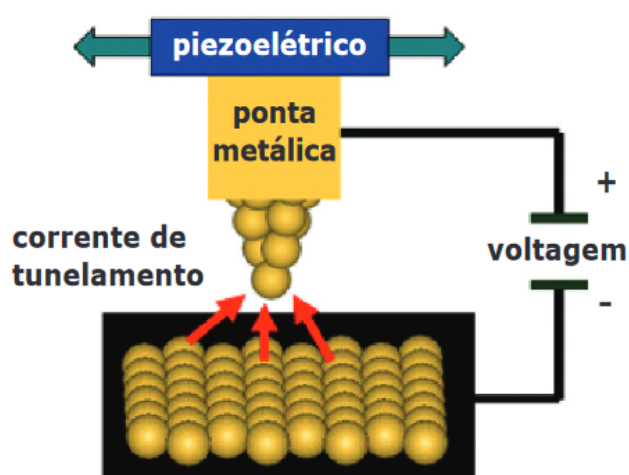


FIGURA 6 – Diagrama esquemático de um STM. À medida que a ponta se aproxima da superfície, mesmo sem energia suficiente para transpor a barreira espaço vazio, uma corrente começa a passar entre a ponta e a superfície por efeito túnel. Esse resultado, impossível na física clássica, foi previsto pela mecânica quântica. A corrente aumenta exponencialmente com a aproximação, e a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008)

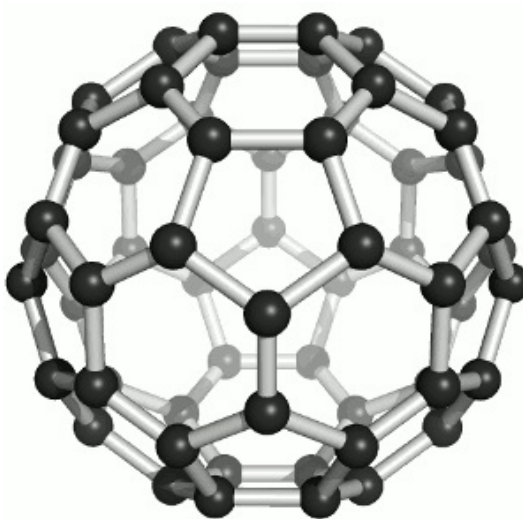


FIGURA 7 – Estrutura do fulereno  $C_{60}$  ou buckball.

chamadas de nanocebolos. De acordo com Lázaro e Oliveira (2007): *“os compostos de fulerenos apresentam grande área de superfície específica e são altamente reativos, podendo formar radicais livres, o que os tornam prejudiciais aos ser humano e outros seres vivos.”*

Kroto e seus companheiros, em um artigo para a Revista Nature, Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985) descreve a técnica utilizada para produzir e detectar essa molécula, que envolve a vaporização do de espécies de carbono da superfície de um disco sólido de grafite em um fluxo de gás hélio de alta densidade, utilizando um laser pulsado focado. O laser de vaporização foi o segundo harmônico de Q-switched Nd:YAG produzindo energias de pulso de 30 mJ. Os aglomerados de carbono resultantes foram expandidos em

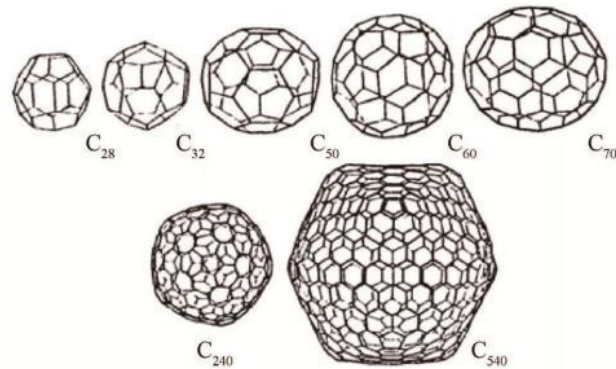


FIGURA 8 – Fulerenos com 28, 32, 50, 60, 70, 240 e 540 átomos de carbono.

um feixe molecular supersônico, foto ionizados usando um laser excimer e detectados por espectrometria de massa de tempo de voo (*Time-of-Flight Mass Spectrometry - TOFMS*). A câmara de vaporização é mostrada na figura 9. No experimento, a válvula pulsada foi aberta primeiro e então o laser de vaporização foi disparado após um atraso precisamente controlado.

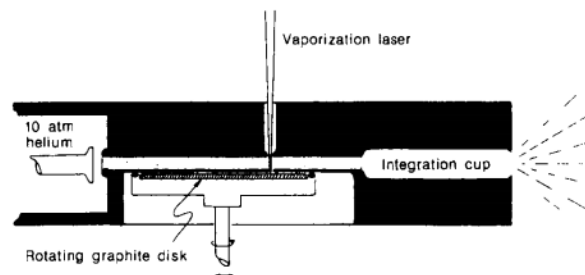


FIGURA 9 – Diagrama esquemático do bocal supersônico pulsado usado para gerar feixes de cluster de carbono. Ver em Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985)

O copo de integração pode ser removido na linha indicada na figura 9. O feixe de laser de vaporização (30-40 mJ a 532 nm em um pulso de 5 ns) é focalizado através do bocal, atingindo um disco de grafite girando lentamente para produzir uma superfície de vaporização lisa. O bocal pulsado passa hélio de alta densidade sobre esta zona de vaporização. Este gás transportador de hélio fornece as colisões de termalização necessárias para resfriar, reagir e agrupar as espécies no plasma de grafite vaporizado, e o vento necessário para transportar os produtos do agrupamento pelo restante do bocal. A expansão livre deste gás carregado de aglomerados na extremidade do bocal forma um feixe supersônico que é sondado após 1,3 m com a ajuda de um espectrômetro de massa de tempo de voo, conforme Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985).

A técnica criada por Kroto e equipe foi melhorada em 1990, pela equipe de Krätschmer, Lamb, Fostiropoulos e Huffman (1990), que desenvolveu um método de produção de  $C_{60}$  em quantidades "macroscópicas", que tornava mais alta a capacidade

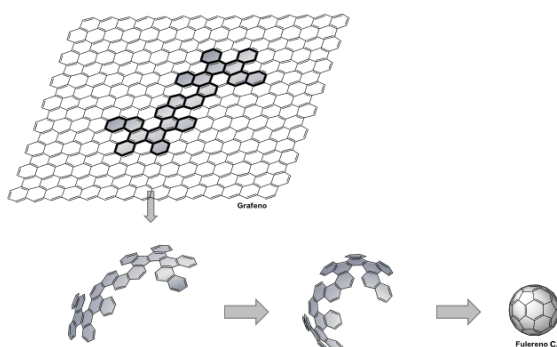


FIGURA 10 – Formação do fulereno  $C_{60}$  a partir da vaporização do grafeno. Ver em Ruela (2013)

de realização de estudos sobre as propriedades desses materiais. O equipamento era um recipiente de vidro em forma de sino, conectado a uma bomba de vácuo e um duto de entrada de gases inertes que proporcionava uma atmosfera de hélio e se podia ter controle sobre a pressão no recipiente. Então era aplicado um arco voltaico entre tubos de grafite de alta pureza.

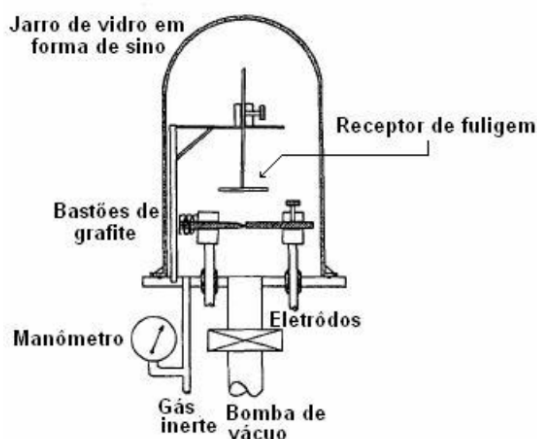


FIGURA 11 – Primeiro equipamento concebido para a produção em escala “macroscópica” de fulerenos. Ver em Ruela (2013)

Com a produção em escala “macroscópica” desenvolvida pela equipe de Krätschmer, o estudo desse material foi facilitado, e as suas aplicações se tornaram mais diversificadas, como compostos derivados que possuem ação antibiótica, antioxidante, antirretrovirais e conseguem carregar fragmentos de ADN - Ácido Desoxirribonucleico que podem levar a criação de uma terapia genética. Podem atuar como limitadores ópticos e serem aplicados em células fotovoltaicas.

Essas descobertas geraram uma grande expectativa em relação ao futuro da nanotecnologia, em seu livro *Engines of Creation*, lançado em 1986, Erick Drexler, o primeiro doutor em nanotecnologia, populariza o termo e dando um ar de ficção científica a nova ciência, imagina a construção de um Assemblador Molecular, uma nanomáquina que conseguiria manipular os átomos e fazer cópias de si mesma objetivando produzir

nanorrobôs em larga escala capazes de manipular a matéria ao nível atômico, conforme Cadioli e Salla (2015).

Essa abordagem, que de um lado pode ter sido imaginada como uma vantagem por Drexler, mas por outro pode ter causado certo desconforto entre os leitores desta obra, e vista com desconfiança por vários cientistas.

Em 1986, no mesmo ano em que Gerd Binnig e Heinrich Rohrer ganharam o Nobel de Física pela invenção do STM. Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber, desenvolveram o microscópio de força atômica (MFA) ou em inglês (*Atomic Force Microscope - AFM*), um dispositivo que é um upgrade do MVT e com a capacidade de enxergar qualquer coisa (condutores, semicondutores e isolantes), pois o STM não conseguia analisar materiais isolantes.

O AFM consiste em uma haste semicondutora (*cantiléver*) onde se acopla uma ponta de diamante de tamanho nanométrico, que passa pelos átomos exercendo uma força, entre os átomos da ponta e da superfície, suficiente para ser sentida no detector, mas não grande o suficiente para destruir a estrutura analisada na amostra, ao passar pela amostra o *cantiléver* sofre deflexões, medidas por conjunto de laser-detector, como mostra a figura 12.

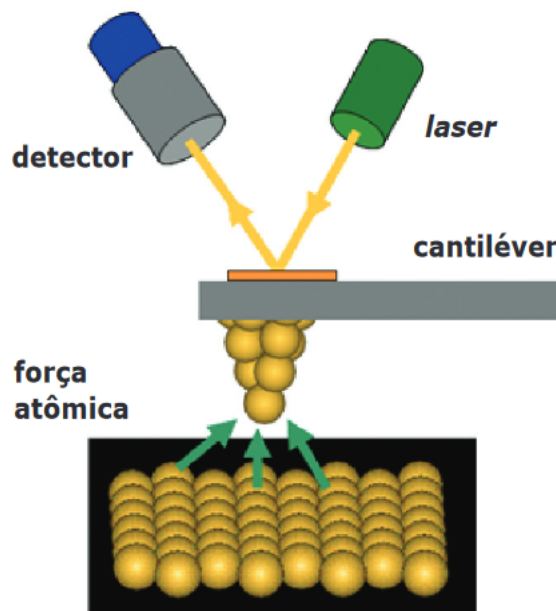


FIGURA 12 – Diagrama esquemático de um AFM. O AFM tem uma ponta fina presa a um braço de material semicondutor. Esse braço, chamado cantiléver, sofre deflexões quando a ponta interage com a superfície. A força, que pode ser controlada eletronicamente e sentida pelo cantiléver, é monitorada por feixes de laser e, a partir da deflexão no detector, a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008)

As principais vantagens do AFM são: maior resolução, imagens em 3 dimensões, não havendo a necessidade de recobrir a amostra com material condutor, não requer métodos



específicos de preparação da amostra, permite a quantificação direta da rugosidade da amostra, permite a medida da espessura de filmes ultrafinos sobre substratos e análise por fractal. É possível fazer imagens da superfície imersa em líquidos e por algumas variantes da família Microscópios de Varredura por Sondagem (MVS) é possível também diferenciar fases com diferentes viscoelasticidades, encontrar domínios magnéticos, etc, segundo Pinto, Ramos e Filho (2013).

Cadioli e Salla (2015) explica que o MFA é um equipamento versátil que além de ver os átomos pode até movê-los um a um. Isso pode ser feito quando aplicada uma tensão elétrica extremamente forte é aplicada entre a ponta do microscópio e a amostra, fazendo com que um átomo salte e fique preso na ponta. Porém, se a polaridade da tensão for invertida, o átomo volta para baixo com força, ficando encaixado neste ponto.

Todas essas vantagens são bastante úteis na área das Ciências dos Materiais e Engenharia dos Materiais para a caracterização e produção de novos materiais.



FIGURA 13 – Ponteira de um microscópio de força atômica. Ver Cadioli e Salla (2015)

Estas técnicas de microscopia, STM e AFM, se juntaram a outra técnica, a microscopia por transmissão de elétrons ou *Transmission Electron Microscope (TEM)*, criadas por Ernest Ruska em 1931, ganhador do Nobel por essa invenção em 1986, e tendo sua resolução melhorada pelo *High Resolution Transmission Electron Microscope (HRTEM)*.

O TEM é um equipamento que se baseia no postulado de de Broglie, da Dualidade Onda-Partícula, onde o comprimento de onda do elétron está inversamente relacionado à diferença de potencial aplicado ao mesmo para acelerá-lo, dada pela relação  $\lambda = h/2mv$  ou  $\lambda = \sqrt{150/V}$  onde,  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $V$  a tensão de aceleração dos elétrons,  $m$  é a massa do elétron e  $v$  é sua velocidade. Assim, se aplicada uma voltagem de dezenas milhares de volts, teremos um comprimento de onda na faixa dos Ångstrom(Å), da ordem de tamanho dos átomos. Junta-se a teoria de de Broglie, a teoria de campos elétricos e magnéticos de simetria axial de Busch, que funciona como lente para as partículas carregadas, a lente magnética, possibilitando para que Ruska e Knoll criassem o TEM.

Para Silva (2008), essas três tecnologias de microscopia foram fundamentais para o desenvolvimento da nanotecnologia e nanociência, pois com elas foi possível “ver” as estruturas nanométricas e manipulá-las.

Com a ajuda do AFM, o físico Donald M. Eigler, trabalhando no laboratório da IBM na Califórnia, em 1989, consegue manipular, 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel, os manipulando para formar o logotipo da IBM, provocando em outros cientistas uma busca a fim de se conseguir o melhor domínio da técnica de manipular átomos. A técnica serviu inclusive para IBM produzir um pequeno filme intitulado de *A boy And His Atom: The World's Smallest Movie*, que pode ser assistido no Youtube, ver em <https://www.youtube.com/watch?v=oSCX78-8-q0>.

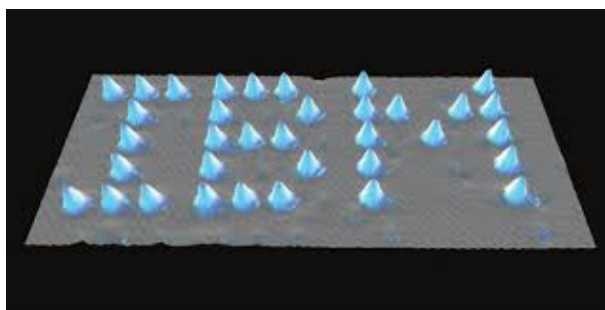


FIGURA 14 – Logotipo da IBM escrito com 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. Ver em <https://abre.ai/ibm35atoms>

Conforme relata em seu artigo, Zarbin e Oliveira (2013), há relatos que um grupo de russos já haviam sintetizado os Nanotubos, em 1958, e no ano de 1976, outro grupo de cientistas japoneses também reportaram a existência dos nanotubos de carbono. Mas o interesse foi maior após a descoberta dos nanotubos, por Sumio Iijima, em 1991, quando descreveu a nanoestrutura de uma fibra de vários microns de comprimento, mas com poucos nanômetros de largura, uma estrutura de múltiplas camadas, de 2, 5 e 7 camadas de um material composto somente por carbono. Com essa descrição, a descoberta desse novo nanomaterial é atribuída a Iijima.

Anos mais tarde o grupo de Iijima e outro grupo de pesquisa liderada por Bethune, reportaram a síntese de nanotubos de parede simples, após experiências com arco elétrico onde os ânodos eram compostos de carbono e pequenas quantidades de metais de transição, segundo Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013).

Em seu artigo intitulado *Helical microtubules of graphitic carbon* ou Microtúbulos helicoidais de carbono grafítico, em tradução livre, Iijima (1991), descreve como conseguiu sintetizar os Nanotubos de carbono. Ele utilizou da mesma técnica usada para a síntese do fulereno, a Evaporação por Descarga de Arco, um dispositivo semelhante ao usada por Krätschmer (ver figura 11), mas ele observou a formação de estruturas semelhantes a agulhas que cresciam na extremidade negativa do eletrodo usado para a descarga de arco.

Iijima observou que os nanotubos pareciam crescer abundantemente em apenas algumas regiões do eletrodo. O eletrodo no qual o carbono foi depositado também continha partículas poliédricas com estruturas de casca esférica, que tinham 5-20 nm de diâmetro. As estruturas das agulhas foram examinadas por microscopia eletrônica de transmissão (energias eletrônicas de 200 keV).

Os nanotubos produzidos e observados por Iijima, variavam de 3 a 40 nm de diâmetro e até  $1\mu\text{m}$  de comprimento, cultivadas na extremidade negativa do eletrodo de carbono usado no processo de evaporação por descarga de arco de carbono em um recipiente cheio de argônio (100 torr). A pressão do gás foi muito menor do que a relatada para a produção de filamentos de grafite mais espessos. Iijima observou a formação de fibras moleculares de carbono, cilíndricas e fechadas por seis anéis pentagonais.

Usando a HRTEM para a caracterização desse novo material, foi observado que cada agulha era formada por tubos coaxiais de folhas de grafite, variando em números de 2 a 50 tubos. Em cada tubo, a estrutura hexagonal dos átomos de carbono estão dispostos de forma helicoidal em torno do eixo da agulha. Iijima completa:

“O passo helicoidal varia de agulha para agulha e de tubo para tubo dentro de uma única agulha. Parece que esta estrutura helicoidal pode ajudar no processo de crescimento. A formação dessas agulhas, variando de algumas dezenas de nanômetros de diâmetro, sugere que a engenharia de estruturas de carbono deve ser possível em escalas consideravelmente maiores do que aquelas relevantes para os fulerenos.”

Através de experimentos, observou-se que a estrutura do nanotubo é formada por átomos de carbono em arranjos hexagonais fazendo lembrar a geometria de um favo de mel. Ele pode ser pensado o enrolamento de uma folha de grafite (grafeno) sobre si mesma, formando um cilindro sem emendas. No caso de uma estrutura de uma só camada ela é chamada de Nanotubo de Carbono de Parede Simples (NTPS) ou conforme a literatura científica como *Single Walled Carbon Nanotube* (SWNT), se for de duas camadas é chamado de Nanotubo de Carbono de Parede Dupla (NTPD) ou *Double Walled Carbon Nanotube* (DWNT) e se forem de mais camadas são referidas como Nanotubo de Carbono de Múltiplas Paredes (NTMP) ou *Multi-Wall Carbon Nanotubes* (MWNT), todas essas estruturas são tubos coaxiais.

A melhor maneira de especificar a forma geral do nanotubo é em termos do seu diâmetro  $d$  (em  $nm$ ) e do ângulo quiral  $\theta$ , como definido em Troche (2007).

De forma que o comprimento do vetor quiral  $\vec{C}$  está diretamente ligado ao diâmetro  $\vec{d}$  do tubo através da relação

$$|\vec{d}| = \frac{|\vec{C}|}{\pi},$$

$$\vec{C} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$$

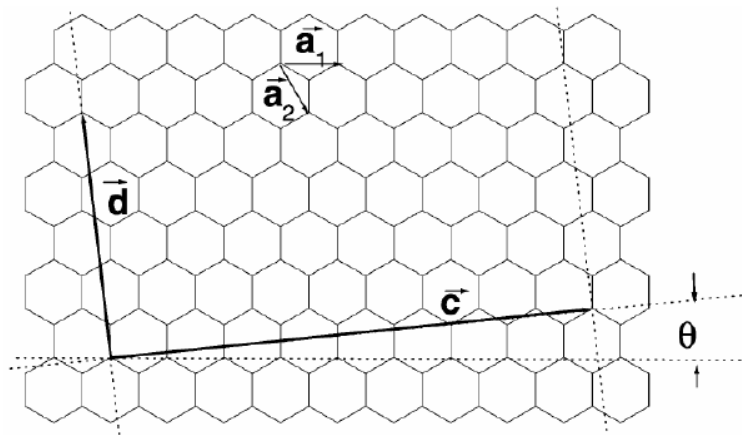


FIGURA 15 – Rede hexagonal da folha de grafeno onde  $\vec{d}$ : diâmetro do nanotubo,  $\vec{C}$ : vetor quiral, vetores da base  $\vec{a}_1$  e  $\vec{a}_2$  da rede. Ver em Troche (2007)

Já o ângulo quiral  $\theta$  é definido como:

$$\text{sen}\theta = \frac{\sqrt{3}m}{2\sqrt{n^2 + m^2 + nm}}$$

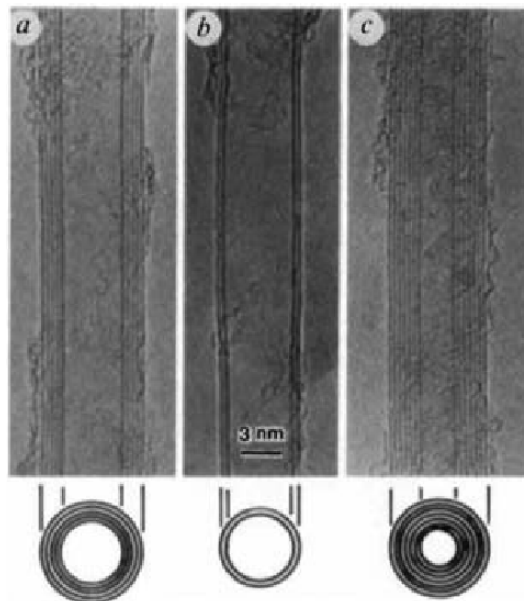


FIGURA 16 – Micrografias dos primeiros nanotubos de carbono de paredes múltiplas observadas por Iijima em 1991. Com tubos (a) 5, (b) 2 e (c) 7 paredes. Ver Iijima (1991)

A partir dos dados na estrutura do nanotubo, os SWNT podem ser divididos em 3 diferentes categorias estruturais: *zig-zag*, o *armchair* e o *quiral*, cada um relacionado os parâmetros  $m$  e  $n$  do vetor de base  $\vec{C}$ .

Troche (2007), descreve cada categoria:

“A primeira categoria é a **zig-zag** ( $m = 0$ ), assim denominada pelo padrão que os hexágonos seguem ao se ‘moverem’ circunferencialmente ao redor do corpo do tubo. Na segunda categoria chamada de **armchair** ( $n = m$ ), os hexágonos seguem uma linha reta ao redor do corpo do tubo. A terceira

forma estrutural conhecida como **quiral**, indica que o tubo pode ter uma torção (helicidade) em qualquer direção onde  $n$  e  $m$  são os outros casos que não incluem os dois anteriores e com direção  $\vec{C}_h$  nos valores do intervalo de:  $0 < |\theta| < 30^\circ$ ."

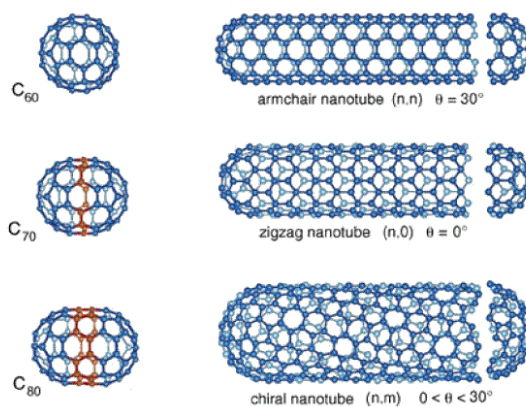


FIGURA 17 – Nanotubos de Carbono de diferentes categorias estruturais. Ver em <https://bit.ly/NanoTubos>

Os nanotubos apresentam comportamento metálico em 1/3 das amostras e semicondutor nos 2/3 restantes, em amostras aleatórias, onde o valor do *gap* de energia depende do diâmetro externo do nanotubo, emissão de campo, condutância quantizada como fios quânticos e supercondutividade, as propriedades vibracionais e ópticas são muito importantes (dependendo da energia do fóton ele se polariza e pode ser absorvido), o seu desempenho mecânico possui alta flexibilidade e elasticidade, superando em até 20 vezes a resistência dos aços de alto desempenho, segundo Troche (2007).

Segundo Souza Filho e Fagan (2007) os nanotubos de carbono, covalentes e não-covalentes, possuem uma gama muito vasta de propriedades físico-químicas, sendo muito utilizadas em numerosos mecanismos nanoestruturados com arquiteturas complexas e com funções altamente especializadas.

Zarbin e Oliveira (2013), elenca as várias possibilidades de potenciais aplicações dos nanotubos de carbono, abaixo algumas das mais importantes:

- compósitos: a mistura de nanotubos (de 0,01% até 20% em massa) com polímeros eleva nesses últimos as resistências mecânicas e químicas, aumenta a condutividade e outras propriedades térmicas.
- energia: são usados para armazenamento, conversão e transmissão de energia elétrica. Os Nanotubos de Carbono de Múltiplas Paredes (NTMP) são usados em baterias para aumentar a condutividade e resistência mecânica dos materiais do cátodo e ânodo, usados em supercapacitores, células solares orgânicas e flexíveis, como catalisadores em células de combustível.

- sensores e biossensores: sensores para gases, toxinas, fragmentos de DNA, fármacos e diversos tipos de biomoléculas.
- eletrônica: são usados como Transistores de Efeito de Campo, com desempenhos superiores aos transistores de silício, usados hoje. Podem ser usadas para substituir o cobre em circuitos de microeletrônica, aumentando a capacidade de corrente e aumentando a dissipação de calor nos circuitos eletrônicos.
- meio ambiente: podem ser usados para purificação e descontaminação de águas (como filtros e membranas) e como catalisador para oxidação de contaminantes.

Muitas das aplicações dos Nanotubos de Carbono são compartilhadas por outro nanomaterial, descoberto em 2004, por uma equipe da Universidade de Manchester, liderada pelo professor Andre K. Geim e K. Novoselov. Eles conseguiram isolar planos de grafite através da técnica de esfoliação com fita adesiva, descrita em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004).

Cada plano do grafite é constituído por uma rede bidimensional de carbono com estrutura hexagonal, devido à hibridização orbital  $sp^2$  do carbono. Essa estrutura foi chamada de Grafeno e já havia sido prevista teoricamente em 1947, pelo físico canadense Philip Russel Wallace, desde o estudo do grafite por cristalografia de raio-X, conforme Lima (2011).

Em termos estruturais os fulerenos, os nanotubos e a grafite têm algo em comum, pois são formados, ou derivados, da estrutura do grafeno. O grafeno é o nome dado a monocamada de carbono, de um átomo de espessura. É uma rede bidimensional constituída por uma estrutura hexagonal de átomos de carbono com hibridização  $sp^2$ , as quais as distâncias entre átomos é de aproximadamente  $1,42 \text{ \AA}$ .

A equipe de Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004) estava a procura de materiais que otimizassem o controle da corrente em escala do 1 nm, para a produção de dispositivos que trabalhassem com menores correntes elétricas e a altas frequências. Infelizmente, os dispositivos condutores ou semicondutores possuem um limitante quando são trabalhados nessa ordem de comprimento, causando tunelamento de corrente e tornando um transistor, por exemplo, inútil para uso em processamento de informações.

Para resolver esse problema de efeito de campo, foi pensado um material bidimensional condutor ou semicondutor que tivesse uma camada atômica de espessura, que podem oferecer um melhor controle dos portadores de cargas em suas superfícies em comparação com outros materiais tridimensionais.

Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004), conseguiu observar esse controle quando observava um material bidimensional que ocorre naturalmente, o Grafeno de Poucas Camadas (GPC) .

Os filmes de grafeno foram preparados por esfoliação mecânica (peeling repetido) de pequenos cubos de grafite pirolítico altamente orientado. Essa abordagem foi considerada altamente confiável e permitiu preparar filmes GPC de até  $10\ \mu\text{m}$  de tamanho. Filmes mais espessos ( $d \geq 3\ \text{nm}$ ) tinham até  $100\ \mu\text{m}$  de diâmetro e eram visíveis a olho nu. A figura 18 mostra exemplos dos filmes preparados, incluindo grafeno de camada única. Para estudar suas propriedades eletrônicas, os filmes foram processados em dispositivos multiterminais de barra Hall colocados em cima de um substrato de Si oxidado para que uma tensão de porta  $V_g$  pudesse ser aplicada. Foram estudados mais de 60 dispositivos com  $d < 10\ \text{nm}$ .

Nas palavras de Geim:

“Nós nos concentramos nas propriedades eletrônicas de nossos dispositivos mais finos (GPC), que continham apenas uma, duas ou três camadas atômicas. Todos os dispositivos GPC exibiram propriedades eletrônicas essencialmente idênticas características para um semimetal 2D, que diferiu de um comportamento mais complexo (2D mais 3D) observado para grafeno multicamada mais espesso, bem como das propriedades do grafite 3D.”

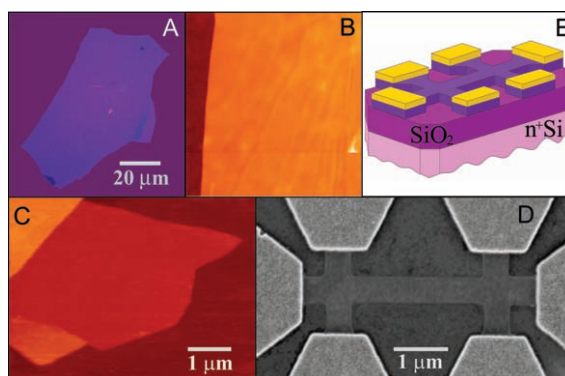


FIGURA 18 – Filmes de grafeno. (A) Fotografia (em luz branca normal) de um floco de grafeno multicamada relativamente grande com espessura  $\sim 3\ \text{nm}$  em cima de um wafer de Si oxidado. (B) Imagem do microscópio de força atômica (AFM) da área de  $4\ \mu\text{m}^2$  deste floco próximo à sua borda. Cores: marrom escuro, superfície  $\text{SiO}_2$ ; laranja, 3 nm de altura acima da superfície  $\text{SiO}_2$ . (C) imagem AFM de grafeno de camada única. Cores: marrom escuro, superfície  $\text{SiO}_2$ ; marrom-avermelhado (área central), 0,8 nm de altura; amarelo-marrom (canto inferior esquerdo), 1,2 nm; laranja (canto superior esquerdo), 2,5 nm. Observe a parte dobrada do filme perto do fundo, que apresenta uma altura diferencial de  $\approx 0,4\ \text{nm}$ . Para detalhes da imagem AFM de grafeno de camada única, consulte (15). (D) Imagem de microscópio eletrônico de varredura de um de nossos dispositivos experimentais preparados a partir de FLG. (E) Vista esquemática do dispositivo em (D). Ver em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004)

Zarbin e Oliveira (2013), faz as seguintes observações:

“O grafeno foi o primeiro cristal bidimensional estável isolado, e seu longo sistema  $\pi$  conjugado, onde os elétrons estão confinados em duas dimensões, lhe confere propriedades excepcionais: os elétrons no grafeno se comportam como partículas relativísticas de massa zero, acarretando um efeito de Hall Quântico bastante anômalo, alta mobilidade eletrônica, e condutividade térmica e resistência mecânica similares as dos nanotubos de carbono.”

Estas propriedades do grafeno possuem grande aplicabilidade na eletrônica, como buscavam a equipe que isolou tais camadas desse nanomaterial.

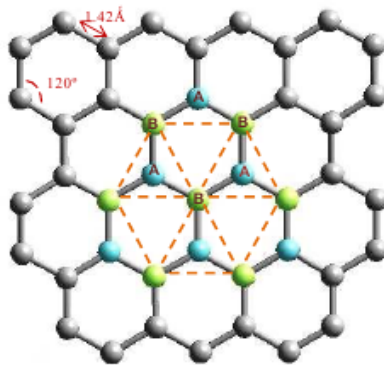


FIGURA 19 – Representação da estrutura hexagonal planar do grafeno análise das ligações  $sp^2$ . Ver em Lima (2011)

As teorias de Peierls e Landau *apud* Kirch (2014), afirmam que cristais bidimensionais como o grafeno não deveriam existir, por serem muito instáveis. O que justifica então, a existência desse material, são as fortes ligações de seus átomos de carbono que permitem essa estabilidade da estrutura cristalina.

Kirch (2014), descreve a estrutura do grafeno: "uma rede hexagonal com dois átomos na base (A e B), ver figura 20. Átomos vizinhos no grafeno estão separados por uma distância de ligação de 1,42 Å". E os vetores da rede são:

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}\hat{x} + \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{y}$$

$$\vec{a}_2 = -\frac{a}{2}\hat{x} + \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{y}$$

Onde  $a$  é o parâmetro de rede. Os vetores primitivos da rede recíproca do grafeno são:

$$\vec{b}_1 = \frac{2\pi\sqrt{3}}{3a}\hat{x} + \frac{2\pi}{a}\hat{y}$$

$$\vec{b}_2 = -\frac{2\pi\sqrt{3}}{3a}\hat{x} + \frac{2\pi}{a}\hat{y}$$

De modo que,  $\vec{a}_i \cdot \vec{b}_j = 2\pi\delta_{ij}$ .



Kirch (2014), descreve o comportamento eletrônico do grafeno através dos tipos de ligações resultantes da hibridização dos orbitais 2s e 2p, formando orbitais híbridos  $\sigma$  e  $\pi$ , onde o primeiro é responsável pela estrutura hexagonal, através de suas ligações dos átomos de carbono no grafeno, e o segundo tipo de orbital é responsável pela relação linear entre as energias e os momentos em torno do nível de Fermi.

“o espectro de energia dessa região é formado pelos estados  $\pi^*$  (banda de condução) e estados  $\pi$  (banda de valência). Esses dois estados tocam-se em seis pontos equivalentes na zona de Brillouin, sendo esses denominados pontos de Dirac. Como o contato entre as bandas de condução e de valência ocorre apenas nos pontos de Dirac, o grafeno é classificado como um semicondutor de *gap* zero, quando suas bandas de valência estão totalmente preenchidas. Próximo ao nível de Fermi, as bandas de energia podem ser descritas por uma função linear  $E(k) = \pm \hbar v_F k$ , onde  $v_F$  é a velocidade de Fermi. Essa relação de dispersão é semelhante à equação da energia relativística de Dirac, no entanto, a massa de repouso é nula e a velocidade é  $v_F$ . Os portadores de carga no grafeno são descritos por funções de onda de duas componentes, cada uma relacionada à respectiva subrede (A e B). Descrição semelhante é feita em sistemas de *spin* como, por exemplo, o gás de Férmions. Uma vez que possuem as propriedades de Férmions sendo descritos pela equação relativística de Dirac, os portadores de carga no grafeno acabam sendo denominados Férmions de Dirac.”

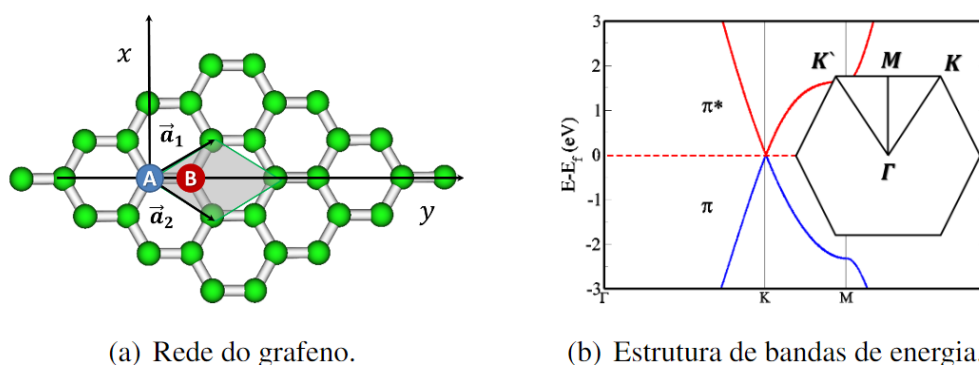


FIGURA 20 – (a) A rede do grafeno é uma hexagonal com dois átomos na base (A e B); (b) bandas de energia do grafeno no entorno do nível de Fermi ( $E_F$ ), resultante da interação entre os orbitais  $\pi$  de átomos de carbono vizinhos. Na parte direita do gráfico é apresentada a primeira zona de Brillouin do grafeno, destacando os pontos de alta simetria. Ver em Kirch (2014).

Para Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013), a elevada condutividade elétrica e térmica, combinada com sua resistência e flexibilidade e transparência, tornam o grafeno o material ideal para dispositivos eletrônicos flexíveis. Segundo o autor, já foram demonstrados que telas táteis e flexíveis já podem ser fabricados.

O grafeno, portanto, se mostra um excelente condutor, possibilitando criar equipamentos cada vez mais compactos, rápidos e eficientes, como visto anteriormente, em

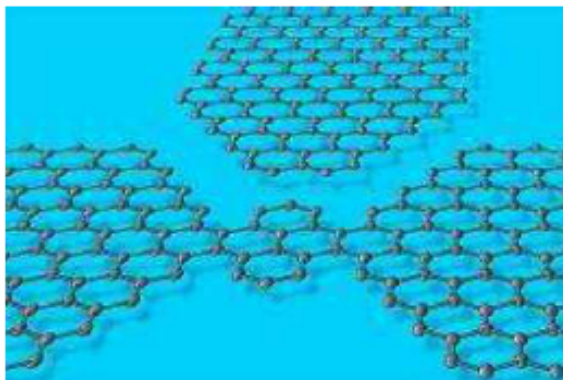


FIGURA 21 – Representação do transistor mais fino do mundo construído a partir de uma folha de grafeno. Ver em Lima (2011)

relação à aplicação dos nanotubos de carbono, o grafeno possibilitou a criação em laboratório de supercapacitores, que podem ser empregados em baterias, com capacidade de carregar mil vezes mais rápido que as baterias atuais, conforme o artigo Tecnológica (2014).

No grafeno, a velocidade dos elétrons é independente da energia. Ou seja, os elétrons se movem como se fossem ondas de luz; eles se comportam como se fossem partículas sem massa (*Ibid.*).

Para Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013), o grafeno pode ser usado como um suporte para nanopartículas metálicas (Au, Pt) ou semicondutoras ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ ) ou mesmo em reações catalíticas, onde segundo o autor:

“Estes catalisadores apresentaram uma elevada atividade fotocatalítica para degradação e mineralização de poluentes orgânicos quando utilizada radiação UV-Vis e radiação visível, reflexo da capacidade do grafeno para melhorar a separação de carga nos semicondutores, e também facilitar o transporte de elétrons”.

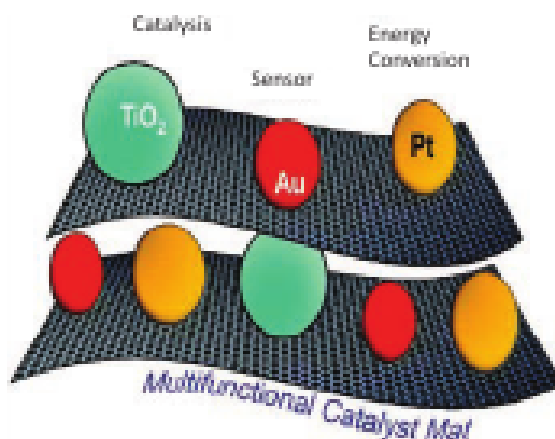


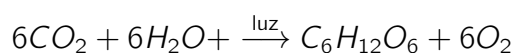
FIGURA 22 – Ilustração esquemática do compósito de grafeno com metais e óxidos de metais. Ver em Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013)

O grafeno funciona com um suporte para aumentar a área eletrocatalítica em

células de combustível assim como em outros sistemas de conversão de energia. Verificou-se também que a dispersão de nanopartículas semicondutoras em grafeno melhora o desempenho de células fotovoltaicas, afirma Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013).

## 2.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia é um campo de estudo novo e com possibilidades imensas, mas ela não é nova. A Terra, vem cozinhando, criando e reciclando nanomateriais a aproximadamente 3,8 bilhões de anos. Criando materiais e moléculas que possuem a mais variada utilidade para ela e para a vida, como as moléculas que realizam a fotossíntese, que aproveita a energia solar para a quebra do gás carbônico, transformando parte em glicose (energia armazenada) que servirá para as plantas, algas e outros organismos realizarem seus processos físico-químico-biológicos, e parte em oxigênio, num processo de respiração, onde se fixa o carbono na planta, por exemplo, e libera o oxigênio conforme a fórmula química:



Esse processo é realizado pela molécula de clorofila, e é bastante conhecido pelos cientistas, o que não se consegue é reproduzi-lo com a mesma eficiência com que esses organismos o fazem, pelo menos 3,5 bilhões de anos, para que nós a usemos para a coleta de energia solar ou usá-la para a coleta do carbono excedente na atmosfera, provocada pela queima de combustíveis fósseis, que provoca um aumento no Efeito Estufa no nosso planeta, causando alterações em todo o seu clima.

Outro exemplo, observado na natureza, são os flagelos de alguns tipos de bactérias, motores bio-moleculares que giram a mais 10.000 rpm.

Segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015):

“O motor de flagelos é impulsionado por um fluxo de próton causado pelas diferenças de potências eletroquímicas através da membrana. O diâmetro dos rolamentos é de aproximadamente 20 a 30 nm, com uma folga de cerca de 1 nm.”

Com a criação da nanociência e da nanotecnologia, o ser humano está tentando copiar tais processos e nanodispositivos, o que é chamado de **biomimética**, termo definido por Otto Schmitt em 1957, que consiste em desenvolver projetos inspirados na biologia. Apesar de ser um termo relativamente novo, nós tentamos copiar/aproveitar algumas características de outros seres vivos ou de processos existentes na natureza desde sempre, como a ponta afiada de uma lança, uma armadura, a fabricação de tecidos ou qualquer coisa reproduzível que provoquem o interesse comercial.

Como o mecanismo de fixação das patas de uma lagartixa, formada por estruturas nanométricas, que podem ser aproveitadas para a criação de fitas adesivas que não deixam resíduos, ou a superfície de algumas plantas que possuem nanomateriais com propriedades que repelem a água (hidrofobia) sendo autolimpantes.

Outro exemplo encontrado na natureza e de grande potencial de uso, são as conchas, as quais são nanocompósitos naturais com estrutura laminada que apresentam propriedades mecânicas superiores (*Ibid.*). O osso, que é uma estrutura porosa feita de cálcio (carbonato e fosfato) apresenta propriedades elásticas e plásticas que lhe permitem desempenhar funções de proteção e sustentação. Essas características, tanto das conchas quanto dos ossos, são de grande interesse da indústria da construção civil, ao poder nos permitir criar estruturas mais leves e de maior resistência mecânica. Essas estruturas são criadas naturalmente na natureza, resta conseguirmos reproduzi-las, com a mesma eficiência e em larga escala, para o uso em nosso benefício.

Placas solares feitas de nanomateriais que absorvem e transformam a energia solar com maior eficiência, sensores, que imitam nossos sentidos, como a visão, olfato, paladar e tátil, já são construídos com nanomateriais e nanodispositivos.

Quando replicarmos e melhorarmos o mecanismo de autocura dos sistemas biológicos, poderemos acelerar a recuperação de tecidos de dentro para fora, como já ocorre naturalmente. Um exemplo, que já está em prática é a pele sintética, criada a partir de materiais autoestruturantes.

Para que esta tecnologia tenha uma melhor divulgação e desenvolvimento aqui no Brasil, há a necessidade de mais investimentos em pesquisas nessa área, bem como na educação, para haver a possibilidade de que novos cientistas sejam formados e possam continuar com esse desenvolvimento.

O trabalho de transformar esses novos conhecimentos e apresentá-los à sociedade é atribuída aos professores, que terá o trabalho de compreender os novos conhecimentos e transformá-los em material instrucional (Transposição Didática), fazendo o uso de novas tecnologias e métodos educacionais, capazes de despertar a criatividade e a autonomia, tão necessária para o desenvolvimento cognitivo, afetivo, moral e ético, ou seja, habilidades e competências, que os futuros cientistas deverão possuir para a criação e exploração de novas tecnologias.

### 3 INSTRUMENTOS DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: METODOLOGIAS ATIVAS

A metodologia escolhida para aplicação e análise da sequência didática a ser elaborada para o tema sugerido nesta dissertação é o Método *Peer Instruction* (PI) ou Instrução por Pares (IP) ou Instrução por Colegas (IC).

O método ativo de ensino criado pelo físico Eric Mazur, professor da Universidade de Harvard, visa a melhor compreensão dos conceitos a serem tratados sem deixar de lado a resolução de problemas. Utiliza-se da interação entre os alunos, em pares ou grupos pequenos, de forma que aqueles que compreenderam os conceitos apresentados pelo professor possam, com base na interação e mediação, tentar fazer com que seus colegas também compreendam tais conceitos.

Este capítulo servirá como revisão rápida das bases teóricas, identificadas no PI, como a Teoria Sócio-Interacionista de Vygotsky, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Faremos um comparativo entre algumas Metodologias Ativas de Ensino com o *Peer Instruction* para identificar os pontos em comum e os que chamaram-nos a atenção para a escolha desta metodologia de ensino, de forma que a aplicação da sequência didática, e a avaliação da mesma, sejam relevantes e válidas.

#### 3.1 TEORIA SOCIO-INTERACIONISTA DE VYGOTSKY

As metodologias ativas são aquelas que provocam o aluno a assumir o protagonismo de sua própria aprendizagem. Esses métodos tiram do professor a responsabilidade da transmissão do saber e o transformam em um facilitador do aprendizado dos seus alunos. Com isso, ele deve procurar elaborar suas aulas para os alunos interagirem entre si, com o professor e com o material elaborado para a aula. Essa interação entre alunos e com o professor é necessária, por ser através da interação social que ocorre o aprendizado, conforme a teoria de aprendizagem de Vygotsky.

A teoria de Vygotsky foi desenvolvida na década de 1930 e se baseia na ideia de que é a interação social que influencia no desenvolvimento e no aprendizado humano. Ou seja, as interações sociais e culturais que guiam o ser humano através das normas sociais e na resolução de problemas de modo que tais processos sejam transformados em aprendizado, onde a reflexão sobre as atividades também fazem parte deste processo.

Vygotsky acreditava, baseado na Teoria de Karl Marx, que o desenvolvimento humano, não poderia ser entendido sem referência ao contexto socio-cultural onde ocorre. Para ele, os processos mentais superiores se desenvolviam com os processos sociais, segundo

Moreira (1999).

Na teoria vygotskyana, os signos (sentidos) são os elementos centrais para a construção dos conceitos, assimilar seu comportamento e suas funções psíquicas superiores. Tais signos, para Vygotsky, se assemelham a instrumentos de interação homem-objeto e homem-homem, para ele os signos seriam como “órgãos sociais”, conforme Vigotski (2001).

Para Moreira (1999) os signos podem ser classificados em três:

1. **indicadores:** que indicam causa e efeito (se há fumaça deve haver fogo);
2. **icônicos:** imagens ou desenhos do que significam;
3. **simbólicos:** são os que tem relação abstrata com o que significam, como as palavras (signos linguísticos) e os números (signos matemáticos).

Vygotsky não analisava somente o indivíduo, nem o objeto com o qual este interagia, nem o contexto e nem a resposta. Ele analisava o conjunto, ou seja, como os seres humanos se relacionavam entre si, com os objetos e signos, visando descobrir como tais interações poderiam dar origem a novos signos e conceitos. Ele entendeu que o processo de interação é fundamental, mas possui um grau elevado para ser quantificado e qualificado com precisão, conforme Moreira (1999).

Da interação, Vygotsky destacou a importância da **Zona de Desenvolvimento Proximal** (ZDP), o qual é a distância entre o nível de desenvolvimento real de uma criança e seu nível de desenvolvimento potencial, alcançável com a ajuda de adultos ou outros indivíduos mais capacitados. Segundo ele, o ensino deve estar dentro dessa zona de desenvolvimento, para as crianças poderem aprender com sucesso.

Para facilitar o desenvolvimento cognitivo o ser humano se utiliza da **Mediação**, que se refere à utilização de ferramentas, técnicas e símbolos. Essas ferramentas e símbolos podem ser tanto físicos, como uma régua ou um livro, como mental, como conceitos matemáticos ou a linguagem.

A mediação é considerada essencial para o desenvolvimento cognitivo, por permitir que os indivíduos realizem tarefas que estão além de seu nível atual de desenvolvimento. A ZDP é uma região de não maturação cognitiva, portanto, um potencial de aprendizagem. A mediação ajuda nessa maturação, mas não devemos esquecer que a ZDP é dinâmica, está sempre mudando, segundo Moreira (1999).

A Teoria Sócio-Interacionista de Vygotsky é composta por dois fundamentos, a Zona de Desenvolvimento Proximal e a Mediação. O primeiro é responsável por medir o potencial de aprendizado, logo, tem um limite inferior, representado pelo nível atual

de desenvolvimento, e um limite superior, influenciado pelos processos instrucionais que ocorrem em qualquer atividade, seja ela lúdica, intelectual ou laboral (Idem), que só é alcançado através da mediação.

A teoria de Vygotsky orienta que a atividade a ser desenvolvida não possua uma ZDP grande ao ponto de não poder ser desenvolvida com sucesso e, por consequência, não gere o desenvolvimento pretendido, e nem curta demais, de modo que a atividade seja simples e que não gere desenvolvimento de novas habilidades. Desse modo, a atividade deve possuir um nível de desafio adequado, que provoque e mantenha o interesse daquele a quem propomos executar, e forneça as ferramentas necessárias para que ela possa ser desenvolvida com sucesso a fim de alcançar o desenvolvimento do indivíduo.

Assim, o professor, como mediador, deve preparar seu material instrucional de tal forma que suas atividades desempenhem uma real mudança no nível de desenvolvimento do aluno. Para isso, o mediador, deverá saber de antemão qual o real nível de desenvolvimento dos seus alunos (em média), e aproveitar os alunos que possuem um nível maior de desenvolvimento para lhe auxiliar no desenvolvimento dos demais colegas.

### 3.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel se baseia na ideia de que todo novo conhecimento deve ser ancorado ao conhecimento prévio do aluno, ou seja, a estrutura cognitiva do indivíduo. O novo conhecimento deve se relacionar com o antigo de uma forma que este fique mais amplo, um conceito se torne mais rico em significados.

Para Ausubel, os conceitos devem ser apresentados de forma hierárquica, partindo do mais geral e, ao poucos, enriquecido pelos mais específicos. O professor deve se preocupar com a organização e a integração dos novos conhecimentos dentro desta estrutura que é por ele chamada de *Subsunçores* ou *ideia-âncora*, tornando tal integração permanente e fazendo com que os novos conhecimentos possam ser usados em situações novas, fortalecendo-os.

Subsunçor é o nome que se dá ao conhecimento prévio, que já esteja enraizado na estrutura cognitiva do aluno e que auxilia na aquisição de novos significados a um conhecimento que lhe é apresentado ou descoberto. O subsunçor pode estar mais ou menos elaborado em termos de significados, mas como o processo é contínuo, o conhecimento se ajusta adquirindo novos significados, corroborando significados já existentes. Para Moreira (2012):

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Para Moreira (2012), o professor, ao iniciar uma aula, deve identificar os subsunçores que irão se relacionar com o conteúdo a ser apresentado. Se o aluno não tiver tais subsunçores, o professor poderá usar os **Organizadores prévios**, recursos instrucionais apresentados de forma mais geral, abstrato e inclusivo em relação ao material de aprendizado. Podendo ser um filme, uma leitura, uma demonstração, um enunciado, um questão-problema, uma aula que precede as outras aulas, entre outros.

Os Organizadores prévios podem ser classificados como *Expositivo*, quando esse pode fazer a ponte entre o que o aluno sabe e o que ele deveria saber para que o material de aprendizado seja potencialmente significativo, e *Comparativo*, que visa integrar os novos conhecimentos à estrutura cognitiva do aluno, enquanto busca diferenciá-los dos já existentes para que o aluno não ache que sejam os mesmos (*Ibid.*).

Ausubel (2003), assume que para haver o Aprendizado Significativo, a partir de um material de aprendizagem, este material deve ser **Potencialmente Significativo**, ou seja, o material deve fazer referência ao conhecimento prévio do aluno, relacionado de forma não-arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e de forma não-literal (que possua significado lógico na estrutura cognitiva e relevante do aluno).

O material de aprendizagem é uma ponte para que o indivíduo assimile o conteúdo a ser apresentado. Sendo assim, todo material de aprendizado é somente um Material Potencialmente Significativo (*Ibid.*). Dessa forma, os conceitos apresentados nesse material deverão ter alguma relação com os conceitos subsunçores dos indivíduos, apresentando novos adjetivos ou conceitos que irão se ancorar aos que já existem, mesmo que o professor utilize de aprendizagem não significativa no início, mas trazendo para o aluno situações onde o mesmo possa ser utilizado e assimilado significativamente.

Ausubel (*Ibid.*), define o que seriam os conceitos:

“Podem definir-se os conceitos como objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e designados pelo mesmo signo ou símbolo. (...) Os próprios conceitos consistem nos atributos específicos abstratos comuns a uma determinada categoria de objetos, acontecimentos ou fenômenos, apesar da diversidade das dimensões que não as que caracterizam os atributos específicos compartilhados por todos os membros da categoria.”

Dessa forma, Ausubel(*Ibid.*) classifica os tipos de aprendizagem:

1. **Representacional:** Aproximas-se da aprendizagem por memorização. Ocorre quando o significado dos símbolos se equipara aos referentes (objetos, acontecimentos, conceitos) e acaba ganhando um significado, seja qual for, para o aprendiz
2. **Proposicional:** consiste numa ideia composta que se expressa verbalmente numa frase



que contém significados de palavras, de funções sintáticas conotativas ou denotativas e nas relações entre as palavras. Este tipo de aprendizagem se divide em duas:

- a) *Aprendizagem de Subsunção*: É quando o novo conhecimento é incorporado ao conhecimento existente, reestruturando o antigo para que o novo seja incluído. Pode ser chamada de *derivativa*, se o novo material é apenas corroborante ou diretamente derivável de algum conceito ou proposição já existente, com estabilidade e inclusividade, na estrutura cognitiva. Ou *superordenada*, quando o sujeito aprende um novo conceito ou proposição mais abrangente que possa subordinar, ou “subsumir”, conceitos ou proposições já existentes na sua estrutura de conhecimento.
- b) *Aprendizagem Combinatória ou Aditiva*: É quando o novo conhecimento é adicionado ao conhecimento existente sem alterar ou re-estruturar o conhecimento anterior. Isso ocorre quando o indivíduo simplesmente armazena a nova informação sem relacioná-la com o que já sabe.

Estes tipos de aprendizado, podem modificar a estrutura cognitiva através de dois processos principais: a **Diferenciação Progressiva** e a **Reconciliação Integradora**, onde:

- **Diferenciação Progressiva**: A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos.
- **Reconciliação Integradora**: é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações.

Moreira (2012) afirma que na aprendizagem significativa, devemos realizar os dois processos simultaneamente, pois se realizarmos somente a diferenciação progressiva, agregando novos significados a um conceito, acabaremos por perceber tudo igual, enquanto se realizarmos somente a reconciliação integradora, observando as diferenças nos significados dados a um conceito, acabaremos vendo tudo diferente.

Dessa forma, os conceitos terão acrescidos novos significados, mas cada um deles aplicáveis a diferentes situações devido a esses dois processos de reestruturação cognitiva, onde os subsunçores são inter-relacionados e hierarquizados em uma estrutura dinâmica e em constante mudança (*Ibid.*).

### 3.2.1 Condições para a ocorrência da Aprendizagem Significativa

Para Moreira (2012), são duas as condições para haver a aprendizagem significativa: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

Da primeira condição, Moreira (*Ibid.*) observa que o material só pode ser *potencialmente significativo*, pois o significado são os indivíduos que dão aos conceitos, objetos ou proposições. Isso significa que o Material Potencialmente Significativo (livros, aulas, softwares, manuais, entre outros) deve estar relacionado de forma não-arbitrária e não-literal à estrutura cognitiva do aluno. Ela deve ser relacionada com os subsunçores relevantes dos alunos.

A outra condição diz que o aluno deve manifestar uma disposição de aprender significativamente, ou seja, que ele queria concretizar a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora do material. Assim, não importa o quão potencialmente significativo seja o material, se o aluno apenas quiser memorizá-lo, arbitrariamente e literalmente, o fará, e o processo volta a aprendizagem mecânica. O inverso pode ocorrer, se o aluno estiver predisposto a aprender significativamente e o material não for potencialmente significativo, levando a uma aprendizagem mecânica, conforme Moreira (1999).

Assim, para Ausubel, o fator predominante, no processo da aprendizagem significativa, é a estrutura cognitiva do aluno no momento da aprendizagem. Ela pode ser influenciada tanto *Substantivamente*, quando o conteúdo potencialmente significativo é apresentado de forma que os conceitos e princípios unificadores e inclusivos possuem maior poder explanatório e maiores propriedades integradoras, quanto *Programaticamente*, quando o professor utiliza de métodos adequados de apresentação do material instrucional, fazendo o uso de princípios programáticos apropriados na organização da matéria a ser ensinada (*Ibid.*).

Em resumo, Ausubel conclui que "... o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo" (Ausubel, 1968) *apud* Moreira (*Ibid.*).

### 3.3 COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS ATIVAS DE APRENDIZAGEM

O método tradicional de ensino perdeu seu significado na *Era da Informação*, pois com a informação disseminada com tanta facilidade pela internet, ela encontra-se, literalmente, na palma da mão do estudante com o uso dos *smartphones*, de acordo com Morán (2015). Dessa forma, o grande problema é o que fazer com toda essa informação? Como conciliá-la com os outros conceitos já aprendidos e incorporar essa nova informação na estrutura cognitiva do aluno?

Esses problemas servem de motivação para o professor estudar as Teorias de Ensino e Aprendizagem, de modo a procurar os melhores métodos para substituir o ensino tradicional e promover um ensino-aprendizagem mais efetivo.

O modelo de ensino tradicional se mostrou sem sentido para o aluno, que quase sempre questiona o professor sobre as relações do que se é estudado em sala de aula com a sua vida e os fenômenos do cotidiano. O professor, muitas vezes, não possui as ferramentas metodológicas para a nova informação fazer sentido para os seus alunos, e percebe a necessidade de mudança de metodologia. Uma metodologia que tire o aluno da passividade de receber, decorar e replicar a informação, sem que haja transformação deste conhecimento em um novo conhecimento e acaba não sendo assimilado pela estrutura cognitiva do aluno, pois os mesmos possuem conhecimentos prévios ou subsunções nas suas estruturas de pensamento (Vygotsky e Ausubel), bases de comparação e assimilação de novos conceitos.

No método de aula tradicional é o professor que organiza o conhecimento em tópicos, e usa a transmissão deste conhecimento utilizando instrumentos já conhecidos como o quadro branco e o pincel, ou os novos recursos tecnológicos, como o computador, mas repetindo a mesma receita de uma aula tradicional, o uso da exposição oral.

O professor achando que por sua transmissão ser homogênea, a recepção pelos alunos também o será. De forma que o professor acaba esperando que, em suas avaliações, os alunos tenham o mesmo desempenho. No final, esse processo se mostra ineficiente, pois o professor acaba observando o oposto do que ele esperava, na grande maioria dos casos, principalmente nas aulas de ciências, em especial nas de Física.

Sem refletir sobre o processo, o professor acaba por colocar a culpa pelo fracasso da metodologia nos alunos, como percebemos em muitas reuniões pedagógicas ou em conversas na sala dos professores. Ele não percebe que há em alguns alunos conhecimentos prévios (subsunções), que ajudam estes a fazerem uma melhor conexão dos conceitos apresentados na aula com os pré-existentes na estrutura cognitiva do aluno, facilitando a sua assimilação. Enquanto os outros, que não conseguiram atingir a meta de aprendizado planejadas pelo professor, não os possui, portanto, não conseguem realizar tais comparações e assimilações dos novos conceitos com a mesma facilidade.

Dessa forma, o professor deve perceber a necessidade de buscar por novas metodologias de ensino, que façam com que os conceitos sejam melhores assimilados pelos alunos, e estes se transformem nos principais agentes desse processo, tornando o aprendizado mais atraente e significativo. O professor, que se arriscar na mudança de metodologia poderá encontrar aulas, com tais características metodológicas, quando recorrer aos métodos ativos de ensino-aprendizagem.

As metodologias ativas têm como princípio o protagonismo do aluno. Transforma o aluno no ator principal de sua própria busca pelo conhecimento e transforma o professor em um colaborador nesse processo, fornecendo material de estudo, sugerindo fontes de pesquisa, métodos adequados de ensino para uma melhor orientação dos seus alunos para alcançarem uma melhor compreensão dos objetos de estudo, segundo Coelho (2018).

*“Se queremos que os alunos sejam proativos, precisamos adotar metodologias em que os alunos se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham que tomar decisões e avaliar os resultados, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras novas possibilidades de mostrar sua iniciativa.”* Morán (2015, p. 17)

As metodologias ativas são o ponto de partida para a busca de processos mais avançados de reflexão, de interação cognitiva, da generalização e de reelaboração de novas práticas. Assim, o professor deve promover, nos seus planos de ensino, a mobilização, nos alunos, das diversas competências desejadas, sejam elas as intelectuais, emocionais, pessoais e comunicacionais, segundo Morán (2015).

Os novos métodos e estratégias de ensino, levam o professor a planejar novas atividades, pesquisar, avaliar as diversas situações em sala de aula, e aprender a identificar se houve uma mudança na estrutura cognitiva do seu alunado com o método utilizado, realizando uma *avaliação de aprendizagem*, que engloba a avaliação das pré-concepções (ou *Subsunçores*, para Ausubel), perpassando por avaliações pontuais, que procuram identificar de imediato os conceitos que estão sendo aprendidos e no final do processo uma avaliação para tentar identificar como tais conceitos foram assimilados e integrados a estrutura cognitiva dos alunos. O professor, portanto, deverá aprender a elaborar suas atividades, conforme o método de ensino pretendido, do nível mais simples (não tão simples, que não desperte no aluno o interesse pela atividade) ao complexo (nem tão complexo, que o aluno não possa realizar, fazendo-o perder o interesse pela atividade).

Nesta seção trataremos, em suma, de algumas metodologias ativas que podem recorrer às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), mostrando o conceito e algumas vantagens.

As metodologias a serem tratadas aqui serão o Peer Instruction, Sala de Aula Invertida, Gamificação, Aprendizagem Baseada em Projetos e Aprendizagem Baseada em Problemas.

**Peer Instruction** é uma metodologia ativa voltada ao aprendizado dos conceitos através da interação entre os alunos (pares), pode ser chamada também de Instrução por Colegas. Ele se baseia na utilização de perguntas e respostas para promover o pensamento crítico e a reflexão sobre o conteúdo.

O professor prepara o material instrucional e passa aos alunos para uma leitura antes da aula, o professor, então se utiliza da tecnologia para fazer uma verificação de leitura, buscando saber quais conceitos não foram entendidos pelos alunos, em sala o professor explana sobre o assunto, dando ênfase aos conceitos não aprendidos na leitura, em um tempo determinado e lança uma pergunta, os alunos respondem individualmente à pergunta antes de discutir com seus colegas, o que permite que eles compartilhem seus pensamentos e aprendam entre si. Esse método é considerado eficaz para aumentar a retenção de conhecimento e a compreensão de conceitos complexos.

**Sala de Aula Invertida** ou *Flipped Classroom* é uma metodologia ativa de aprendizagem que usa recursos tecnológicos para disponibilizar conteúdo antes da aula. Com esse método, os alunos assistem a vídeos ou lêem textos sobre o conteúdo antes de chegar à aula, o que permite que eles cheguem prontos para discutir e aplicar o que aprenderam.

Isso permite que o professor use o tempo da aula para responder perguntas, discutir conceitos e aplicar o conhecimento, em vez de apresentar o conteúdo. Transforma a dinâmica da sala de aula, pois o aluno é responsável por assimilar o conhecimento e tornando o professor um mediador, tirando dúvidas e sugerindo novas fontes de pesquisa.

**Gamificação** é uma metodologia ativa de aprendizagem que usa recursos tecnológicos para tornar o aprendizado mais lúdico. Ela se baseia no uso de elementos de jogos, como pontos, recompensas e desafios, para motivar os alunos a aprender. Um jogo possui três componentes básicos: objetivo pré-lusório, regras constitutivas e atividade lusória, esses componentes criam o ambiente do jogo, com suas regras que guiam o jogador, além de estimular a vontade de jogar. Então, a Gamificação captura esses elementos e transforma atividades tediosas e desafiadoras num jogo lúdico.

Vale ressaltar que nem todo conteúdo ou exercício deve virar jogo. Com isso podemos listar as vantagens da Gamificação: 1 — O ensino fica mais interessante; 2 — O erro é visto como aprendizado; 3— Os participantes têm voz ativa; 4 — Estimula a persistência; 5 — Melhora o foco nas atividades.

**Aprendizagem baseada em projetos ou Project Based Learning** é uma metodologia ativa de aprendizagem que propõe a atividade prática como ferramenta. Nessa metodologia, o aluno não recebe todas as informações sobre a atividade, ele próprio desenvolve seu método e assim desenvolve habilidades para a realização da mesma. Esse método visa desenvolver conhecimentos e habilidades por meio da investigação, se utilizando de questões complexas e de tarefas cuidadosamente planejadas.

O caminho dado por essa metodologia é: 1 - os alunos recebem um problema; 2 - os alunos devem investigar quais são as possíveis causas desse problema (elaboração de hipóteses); 3 - conhecendo o problema e sua origem, os alunos definem táticas para a sua

resolução; 4 - com o plano definido, os alunos executam o plano.

Essa metodologia melhora o rendimento do aluno, aumentando seu engajamento e presença nas aulas, melhora a capacidade de análise de problemas, a lógica, o sentimento de colaboração, a criatividade e a confiança.

**Aprendizagem Baseada em problemas ou Problem-Based Learning** é uma metodologia baseada em organização temática em torno de problemas e não da disciplina, integração multidisciplinar, aplicação do conhecimento para a resolução de problemas, ênfase no desenvolvimento cognitivo e é uma abordagem centrada no aluno.

Nessa metodologia o aluno é apresentado a um tema e estuda buscando as informações necessárias, visando compreender os conceitos, anotar suas dúvidas e dificuldades. Tais anotações são levadas à discussão em sala de aula. O professor sugere problemas sobre o tema, fazendo os alunos discutirem em grupos que procuram uma solução para o mesmo.

Podemos elencar as vantagens dessa metodologia: 1 - O estímulo a participação nas atividades; 2 - Formação da autonomia do aluno; 3 - Aumenta o senso de responsabilidade; 4 - Desenvolve a capacidade de trabalho em equipe.

Com base no exposto sobre cada uma das metodologias acima, o método *Peer Instruction* foi o escolhido para a elaboração do produto educacional que será objeto de análise desta dissertação. Essa metodologia se aproxima um pouco do método tradicional, trocando o costumeiro “Vocês entenderam?” por uma pergunta mais específica sobre o tema estudado em sala de aula e provocando a discussão entre os alunos (pares ou colegas).

Apesar de se parecer um pouco com a Sala de Aula Invertida, já que o conteúdo deve ser apresentado antecipadamente, por leitura do material previamente disponibilizado pelo professor, a dinâmica em sala de aula se assemelha ao que o professor já está acostumado (apresentação do material, pergunta e explicação da resposta pelo professor), tornando essa metodologia uma transição menos abrupta do método tradicional para as metodologias ativas. No próximo capítulo, trataremos sobre o Método *Peer Instruction*.

## 4 O MÉTODO PEER INSTRUCTION

### 4.1 INTRODUÇÃO

O *Peer Instruction* é classificado como uma metodologia ativa de aprendizagem, pois se utiliza de uma breve explanação pelo professor, de testes conceituais e interação entre os alunos de modo que cada um tente convencer o outro a mudar sua resposta, ou seja, promove uma discussão entre os mesmos.

Consiste na preparação, pelo professor, de um texto base, que será fornecido previamente para leitura pelos alunos. O texto contém os conceitos-chave que serão apresentados na palestra que será ministrada pelo mesmo. Simultaneamente, o professor deve preparar o ambiente para haver a interação professor-aluno e aluno-aluno. Ou seja, para realizar o teste conceitual, o professor deve preparar um ambiente que pode ser virtual, com as diversas ferramentas disponíveis (Plickers, Google Forms, Ms Formulário, Kahoot, Socrative, etc.), tais ferramentas dão um feedback imediato ao professor, ou mesmo utilizando cartões resposta que o aluno levanta e o professor deve realizar a aferição e registro das respostas.

### 4.2 ASPECTO HISTÓRICO

O professor Eric Mazur concebeu sua técnica, a qual chamou de *Peer Instruction* (PI), após ter seu método didático (método tradicional) confrontado pelo resultado do teste *Force Concept Inventory* (FCI), que apontou que os estudantes de nível introdutório de Física vinham com pré-concepções que o método tradicional não consegue transformar, segundo Müller, Araujo, Veit e Schell (2017).

Empenhado em mudar essa situação, Mazur buscou na pedagogia centrada nos aprendizes (*learner-centered-teaching*) – onde o estudante tem papel ativo e central no seu processo de aprendizagem – os elementos para a criação de seu método, o *Peer Instruction*, no início da década de 1990, cujo foco principal é a discussão dos conceitos de física sem afetar a capacidade de resolução de problemas pelos alunos.

### 4.3 O MÉTODO PEER INSTRUCTION

A estrutura do método PI apresenta as seguintes etapas:

1. Uma curta apresentação oral sobre os elementos centrais de um dado conceito ou teoria é feita por cerca de 20 minutos.

2. Uma pergunta de múltipla escolha, geralmente conceitual, denominada Teste Conceitual, é colocada aos alunos sobre o conceito (teoria) apresentado na exposição oral.
3. Os alunos têm entre um e dois minutos para pensarem silenciosamente sobre a questão apresentada
4. Os estudantes registram suas respostas individualmente e as mostram ao professor usando algum sistema de respostas (por ex., *clickers* ou *flashcards*).
5. De acordo com a distribuição de respostas, o professor pode passar para o passo seis (quando a frequência de acertos está entre 35% e 70%), ou diretamente para o passo nove (quando a frequência de acertos é superior a 70%).
6. Os alunos discutem a questão com seus colegas por um a dois minutos.
7. Os alunos registram sua resposta revisada e as mostram ao professor usando o mesmo sistema de respostas do passo 4.
8. O professor tem um retorno sobre as respostas dos alunos a partir das discussões e pode apresentar os resultados para os alunos.
9. O professor então explica a resposta da questão aos alunos e pode ou apresentar uma nova questão sobre o mesmo conceito ou passar ao próximo tópico da aula, voltando ao primeiro passo.

O PI é muito similar ao *Think-Pair-Share* (TPS), onde o professor apresenta uma questão de múltipla escolha, ou problema, e os alunos têm um tempo para desenvolver suas respostas individuais (*Think*), depois os alunos comparam suas respostas com os colegas (*Pair*) e só então apresentam suas respostas ao professor (*Share*) (*Ibid.*).

No diagrama abaixo é apresentado, em forma de fluxograma, a estrutura de uma aula em PI.



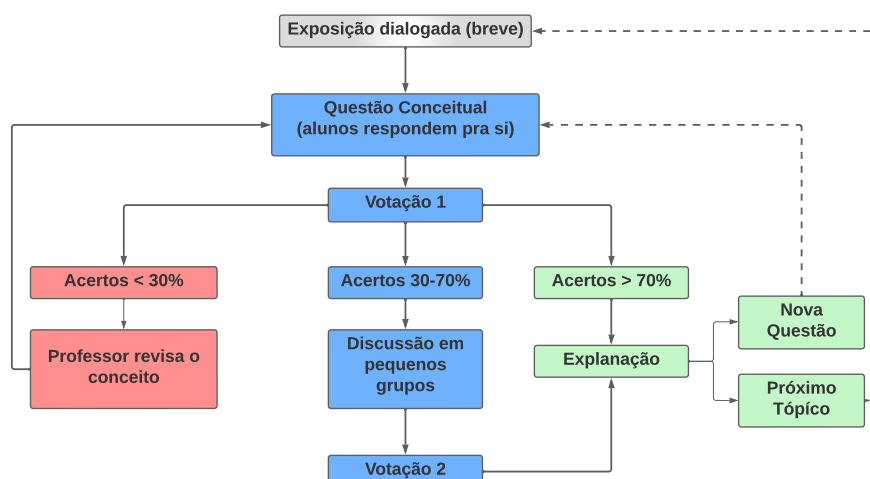


FIGURA 23 – Diagrama de uma aula *Peer Instruction*, adaptado de Mariotto, Chicon, Rosa, Quaresma, Beatriz e Garcês (2022)

Nas etapas 4 e 7, os alunos podem usar a tecnologia a favor no processo de apresentação das respostas ao professor. Utilizando o celular com internet (o professor deve verificar se todos os alunos têm acesso à internet e aos aparelhos necessários antes de iniciar as atividades), o professor pode elaborar suas questões usando as ferramentas disponíveis na internet, como o Google Formulários e o Microsoft Formulários, entre outras ferramentas para criar quizzes, que dão um feedback imediato ao seu trabalho, de tal modo que este consiga avaliar as dificuldades dos alunos e dar sequência ao desenvolvimento de sua aula em PI.

Para a preparação de uma aula em PI, o professor deve elaborar tarefas prévias, que consistem em passar como atividade a leitura prévia de seções ou capítulos de livros sobre os assuntos que serão tratados em sala de aula, fazendo com que os alunos observem os exemplos resolvidos e o desenvolvimento algébrico das equações que seriam desenvolvidas em sala de aula, mas seriam retiradas na aula PI para dar lugar a discussão entre os alunos. Tais tarefas de leitura prévia são potencializadas como o método *Just-in-Time Teaching (JiTT)*, que dá um feedback das dificuldades dos alunos de forma que o professor possa preparar sua aula para sanar estas dificuldades (*Ibid.*).

#### 4.4 MELHORIA NO APRENDIZADO DO ALUNO

Um estudo realizado por Crouch e Mazur (2001), com dados coletados de colegas que aplicavam o PI em suas aulas, durante a década de 1990, eles observaram uma melhoria no aproveitamento dos alunos com a aplicação do método em relação ao método tradicional. Tal melhoria ficou mais acentuada com o refinamento do método e melhor escolhas para os testes de conceito. Eles descrevem os elementos melhorados e os resultados que alcançaram com essas mudanças.

Eles melhoraram a aplicação do PI com as seguintes alterações, elencadas ano por ano: 1993-94 - refinaram o conjunto de Testes de Conceitos e a estratégia de questionamento/discussão em sala de aula. 1996 - introduziram tarefas de leitura, com respostas livres, para incentivar a leitura prévia dos materiais instrucionais. Introduziram a aprendizagem cooperativa, segundo Reis e Amato Neto (2012), onde os alunos trabalham em grupo para discutir, desenvolver projetos, resolver problemas e compartilhar conhecimentos. 1998 - Melhoraram as atividades de leituras atribuídas.

Esses elementos sempre podem ser melhorados para que a incorporação de novas atividades, que façam o aluno pensar sobre o tema e buscar as respostas para os problemas sugeridos, tanto no material instrucional, quanto no colega, o qual é o elemento central desta metodologia.

Com essas mudanças, Crouch e Mazur (2001) relatam o que melhorou no aprendizado dos alunos utilizando os resultados de cinco professores ao longo de sete anos de aplicação.

1. *Domínio Conceitual*: Utilizando o Ganho de Hake, desenvolvido por Hake (1998), para fazer a análise dos resultados de pré e pós-testes e comparar com o método tradicional, eles observaram que o ganho médio quase quadruplica de 1990-1997, com o uso contínuo e com as melhorias adicionais, ver figura ??.
2. *Resolução quantitativa de problemas*: A resolução de problemas não é enfatizada em uma aula PI, elas são feitas em seções de discussão e por resolução de tarefas em casa. Crouch e Mazur (2001), descrevem que, no curso baseado em cálculo, houve um aumento de 66%, em 1990, para 72%, em 1991, utilizando o método tradicional e com a introdução do PI esse aumento chegou a 79% em 1997. Já quando as questões envolviam conhecimento algébrico, eles verificaram que o aumento foi de 62% para 66% quando mudaram das aulas tradicionais para aulas em PI.
3. *Desempenho nos Testes de Conceito*: eles observaram que as respostas corretas nos Testes de Conceito aumenta substancialmente, desde que o percentual de respostas corretas à primeira aplicação do teste esteja entre 35% e 70%, e há uma maior melhoria quando esta faixa parte dos 50%. Isso ocorre, pois os alunos nessa faixa de acerto acabam por influenciar, durante o debate entre os colegas, os que estavam errados, levando estes a corrigirem suas respostas na segunda aplicação do teste.

Devemos destacar, que este estudo realizado por Crouch e Mazur (2001) já tem mais de vinte anos, e o método teria sofrido algumas modificações, como o próprio estudo sugere que devam ser feitos. Tais modificações foram estudadas, mais recentemente por Petter, Espinosa e Araujo (2021), que observaram nos Mestrados Profissionais em Ensino

de Física como os professores (pesquisadores) aplicavam o método e faz um comparativo com estudos norte-americanos.

#### 4.5 IMPLEMENTAÇÃO

Com as novas implementações, já citadas na seção acima, os autores (Crouch e Mazur (2001)) listam outros ganhos com a aplicação do PI em elementos do ensino-aprendizagem.

- A. Incentivos a leitura: com a mudança para uma leitura prévia antes das aulas, os alunos passam a se concentrar nos elementos mais importantes e difíceis dessa leitura, para isso o professor deverá utilizar questionários ou uma atividade online que sirva de incentivo a leitura, fazendo os alunos lerem o material e, com as respostas das atividades o professor baseia sua explanação, buscando sanar as deficiências evidenciadas nas atividades de leitura. Para tais atividades de leitura, os autores consideraram o Método *Just-in-Time*, consistindo em três perguntas de resposta livre e aplicadas preferencialmente de forma online (utilizando as ferramentas apropriadas ou as que se encontram disponíveis), que devem ser respondidas antes da aula. As duas primeiras perguntas explora os conceitos mais difíceis da leitura indicada e o terceiro questiona sobre a leitura, pedindo que se evidencie o que foi mais difícil, ou confuso, ou o mais interessante sobre o texto lido.
- B. Atividades de cooperação em seções de discussão: as atividades de cooperação fazem parte de muitas metodologias de ensino, elas são utilizadas no PI durante as seções de discussão para melhorar o desempenho dos alunos com menores índices de acertos nos Testes de Conceito.
- C. Resolução quantitativa de problemas: O método PI não visa a melhoria na resolução de problemas, mas da melhoria de assimilação dos conceitos. Mas para contribuir com as resoluções de problemas, o professor deverá realizar aulas de resolução de problemas e fornecer aos alunos problemas quantitativos para que estes resolvam em casa, nesse aspecto o PI é parecido com o método tradicional.
- D. Motivação do aluno: O professor que começar a adotar um método ativo como o PI, além de se motivar a permanecer utilizando tais metodologias, o professor deve procurar motivar os seus alunos a continuarem a procurar ativamente o conhecimento. A motivação assume duas formas - avaliar os alunos com base na compreensão conceitual, não apenas na resolução tradicional de problemas, e definir o tom certo na aula desde o início, inclusive explicando as razões para ensinar dessa maneira. Conhecer o que o aluno sabe sobre o assunto, deixa claro que o professor se importa

com a compreensão conceitual, bem como facilitar que o aluno tenha acesso às informações (tabelas, equações, etc.) durante uma avaliação, de modo que o foco não seja a memorização delas e sim a resolução dos problemas propostos, ajuda e muito na motivação dos alunos.

- E. Seleção dos Testes de Conceito: os testes de conceito são fundamentais para o sucesso da aplicação de uma aula em PI, por isso eles devem ser escolhidos conforme os objetivos pretendidos, devendo trabalhar o raciocínio baseados nos conceitos mais importantes de uma aula/tópico. Sendo assim, as questões devem ser de múltipla escolha e as respostas incorretas dessas questões devem ser plausíveis ou baseadas nos erros mais comuns cometidos pelos alunos. As perguntas abertas podem ser elaboradas, mas essas precisariam de uma estratégia mais específica para a coleta, análise e discussão das respostas.
- F. Gerenciamento de tempo: A aplicação de uma aula em PI, leva no mínimo 1/3 do tempo para a aplicação do Teste de Conceito, variando de aula para aula e dependendo da dificuldade e do tópico a ser trabalhado, o restante consiste nas palestras sobre os tópicos abordados. Isso toma tempo, que muitas vezes o professor não possui, e que acaba forçando o professor a escolher os assuntos mais relevantes para lecionar. Dentro e fora da sala de aula, os alunos devem procurar seguir as orientações do professor, principalmente em sala, para o tópico ser finalizado no tempo programado pelo professor. Fora da sala, os alunos devem se organizar para darem conta de todas as atividades passadas pelos seus professores, e para darem atenção devida ao material instrucional preparado pelo professor que usa PI como metodologia e para a resolução de suas atividades de leitura.

#### 4.6 GANHO DE HAKE

Para a análise dos resultados de pré e pós-testes, antes e após a aplicação do Método *Peer Instruction*, Crouch e Mazur utilizaram o Ganho de Hake Normalizado, este método de avaliação de desempenho de aprendizagem vem sendo utilizada por quase quarenta anos. Ele permite verificar o ganho de aprendizagem entre um pré-teste e um pós-teste, logo após a aplicação de um método de ensino para um mesmo tópico, tornando-se assim uma ferramenta para comparação de utilização de metodologias de ensino nos diferentes níveis de ensino, para Galhardi e Azevedo (2013).

O Ganho de Hake normalizado  $g$ , é a razão entre o ganho apurado pelo aluno, e o valor máximo possível com base em nas avaliações, pré-teste (pT) e pós-teste (PT) as

quais são idênticas e na forma de teste de múltipla-escolha. É dado pela fórmula abaixo.

$$g = \frac{PT\% - pT\%}{100\% - pT\%}$$

Essa análise de resultados se mostra como uma boa avaliação quando aplicadas nos conceitos da Física e com o uso de Metodologias Ativas de Ensino, conforme Galhardi (*Ibid.*).

O método Peer Instruction é uma metodologia que pode tornar menos dificultosa a passagem do método tradicional para o método ativo, pois ele usa os elementos dos dois, sem tirar o professor totalmente do controle. E para a análise dos resultados da aplicação de uma aula em PI, usaremos o Ganho de Hake, que mostra numericamente o ganho no aprendizado dos alunos e ajuda a identificar os possíveis gargalos no método ou no material a ser aplicado em sala de aula.

Para o nosso produto educacional, que será descrito e analisado no próximo capítulo, estes dois métodos serão de grande ajuda para aplicação e análise dos resultados obtidos pelos alunos ao serem submetidos a aulas em PI.



## 5 APLICAÇÃO E ANÁLISE DO PRODUTO EDUCACIONAL

O tema sugerido, A História da Nanotecnologia, surge da necessidade da inclusão de temas de Física Moderna e Contemporânea no currículo escolar do ensino básico. Devemos considerar que tais temas devem ser adaptados, dando ênfase aos conceitos, para serem inseridos nesse nível de ensino, de modo a contornar a complexidade do ferramental matemático de muitos temas. Mas tais assuntos podem ser tratados com a Teoria da Transposição de Chevallard, a qual é um conjunto de regras de análise dos conteúdos ministrados elaborados por Yves Chevallard, e servem de norte para a Transposição de um determinado conteúdo para dentro da sala de aula.

Seguindo as regras da transposição didática foi criado um material instrucional (transposição didática do Saber Sábido para o Saber a Ensinar) Chevallard e Johsua (1991) e utilizando o Método *Peer Instruction* (PI) Mazur (2013), de Eric Mazur, foi criado uma sequência de ensino (transposição didática do Saber a Ensinar para o Saber Ensinado) para trabalhar os conceitos abordados no material instrucional.

O produto educacional aqui apresentado, é uma sequência didática, composta de três aulas elaboradas sob as orientações metodológicas do *Peer Instruction*, sendo aplicada de forma online, utilizando as ferramentas Google Meet, WhatsApp, Quizizz e o aplicativo Pollie (produz quizzes, respondidos através do link correspondente a resposta que ele julgar correta).

O WhatsApp conta com a ferramenta para fazer Quizes, mas esta mostra a resposta dos alunos em tempo real, podendo influenciar as respostas dos outros colegas que ainda não responderam à questão. Esta influência deve ocorrer durante a etapa de discussão entre os alunos.

O grupo escolhido de início era composto por alunos da Escola Estadual Prof<sup>a</sup> Eunice Serrano Telles de Souza, mas devido a complicações de saúde do professor, o produto só poderia ser aplicado ao final do 4º bimestre letivo de 2022, em aulas híbridas, e estes alunos acabaram não participando devido à chegada das férias de final de ano.

Coube então ao professor, buscar em outras instituições os alunos para realizar a aplicação, conseguindo alunos do IFAM dos Campus de Manaus e de Itacoatiara, e complementados com dois alunos de outras escolas e séries (um aluno do 3º ano e o outro 2º ano do Ensino Médio), totalizando sete alunos, três do IFAM - Campus Manaus Centro, dois do IFAM - Campus Itacoatiara e dois alunos de duas escolas da rede estadual de ensino, que devido aos diversos problemas ocorridos antes e durante a aplicação do Produto Educacional, o professor não se atentou em saber de quais escolas eram esses alunos.

A análise da aplicação deste produto educacional considerou somente as respostas destes sete alunos, todos voluntários, onde cinco alunos (do IFAM) estavam cursando o 3º ano do ensino médio, e os outros dois, da rede estadual de ensino, estavam cursando o 3º ano e o 2º ano, no ano de 2022, a maioria mostrou uma boa evolução, conforme veremos abaixo, exceto por um aluno.

Para a avaliação dessa sequência didática, será utilizada o método de Ganho de Hake, que gera um comparativo entre avaliações de aprendizagem de dois ou mais tempos de aprendizado, que pode ser entre os resultados de um pré-teste e um pós-teste, até a comparação entre a aplicação de uma mesma metodologia com o mesmo conteúdo, mas com elementos diferentes, de modo a gerar uma diferença não só temporal como também no método, e que corrobore se tais diferenças provocam alguma alteração no resultado da aprendizagem.

Então, o grupo de alunos que participou da aplicação do produto educacional, gerado por essa dissertação, foi bastante heterogêneo. É composta por alunos de escolas diferentes, que por questão de privacidade serão identificados de A1 até A7. Este Produto Educacional pode ser aplicado em qualquer série do Ensino Médio, preferencialmente para os alunos do terceiro ano, pois alguns conceitos, como estruturas orgânicas, são vistas nessa série.

Neste capítulo será analisado a aplicação do produto educacional, durante as três aulas ministradas para a aplicação da sequência didática elaborada com base no PI. Será aproveitada a estrutura das aulas da Sequência didática, no Produto Educacional, disponível no Apêndice A.

## 5.1 AULA 1: EXPLICAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *PEER INSTRUCTION*

**Objetivo da aula:** Esclarecer sobre a utilização do método PI, mostrando os prós e contras da utilização dessa metodologia e definindo as regras, prazos e as atividades que serão realizadas. Mostrar a importância do estudo do tema Nanotecnologia e fazer um paralelo com o cotidiano.

### **Aplicação da Aula**

Nesta aula o professor deve conhecer bem a importância do uso do método, descrevendo os passos que serão utilizados, explicar que o tempo é um fator importante para o tópico ser adequadamente explorado em sala aula. O professor deve chamar a atenção para os prazos estipulados, tanto para a entrega da atividade de leitura, quando durante a aplicação do método em sala de aula: tempo de exposição do conteúdo, para a resolução do primeiro teste de conceito, discussão em grupos, resolução do segundo teste



de conceito e da explicação final.

O professor deve avisar que poderá reservar um tempo a mais para a reaplicação do método caso a primeira tentativa de resolução do Teste de Conceito não atinja a média mínima esperada para serem feitos os debates entre os alunos (30%), tendo que refazer todos os passos do PI, se utilizando de outros exemplos e elaborando outras proposições. Se tudo correr nos prazos, esse tempo reserva pode ser utilizado para aplicação de outro Teste de Conceito, com questões diferentes, desde que haja tempo para essa aplicação. O tempo estipulado para que o professor esclareça sobre o método deve ser de no máximo 15 min.

No restante da aula, sugere a criação de um grupo no *WhatsApp*, ou *Telegram*, ou outra rede social que ele achar necessário, podendo utilizar inclusive do *Google Classroom*, para criar o meio de interação e coleta de respostas dos alunos, o professor, também deverá aplicar o Pré-teste sobre Nanomateriais: Histórico e a Física dos Nanomateriais, disponível no Apêndice C, desta dissertação e ao final fornecer o material para a atividade de leitura: O texto **A história da Nanotecnologia**, disponível no Apêndice B desta dissertação e no corpo do Produto Educacional.

**Atividade de leitura** Para a atividade de leitura o professor pode sugerir que os alunos façam uma Linha do tempo, indicando as datas, os atores e suas descobertas, enviando através do WhatsApp ou qualquer outro meio sugerido pelo professor.

#### 5.1.1 Relato e Análise da aplicação da Aula 1

A aula 1, conforme a estrutura proposta na sequência didática, foi realizada presencialmente com os alunos da Escola Eunice Serrano, mas por seus motivos eles acabaram por desistir da aplicação da sequência didática preparada pelo professor. Então, quando a turma final ficou completa, primeiro com oito alunos, uma aluna da escola Eunice Serrano e os outros 7 alunos voluntários. Devido à desistência da última aluna da escola Eunice Serrano, esta aula foi transferida para o dia da segunda aula que foi realizada de forma online, com os sete alunos voluntários. Nesse caso, somente a explicação de como funcionaria a metodologia foi deixada de lado nessa primeira aula, pois não havia tempo para a devida apresentação da metodologia e os comentários sobre o tema que seria abordado.

Mas o material de leitura (A história da Nanotecnologia, conferir no Apêndice B), um texto elaborado no formato de artigo científico em duas colunas, para facilitar a leitura em dispositivos móveis, ainda foi passado aos alunos com a atividade de leitura (Fazer uma Linha do tempo, indicando as datas, os atores e suas descobertas).

Essa atividade de leitura foi entregue pela aluna A2. Como mostra a figura 24

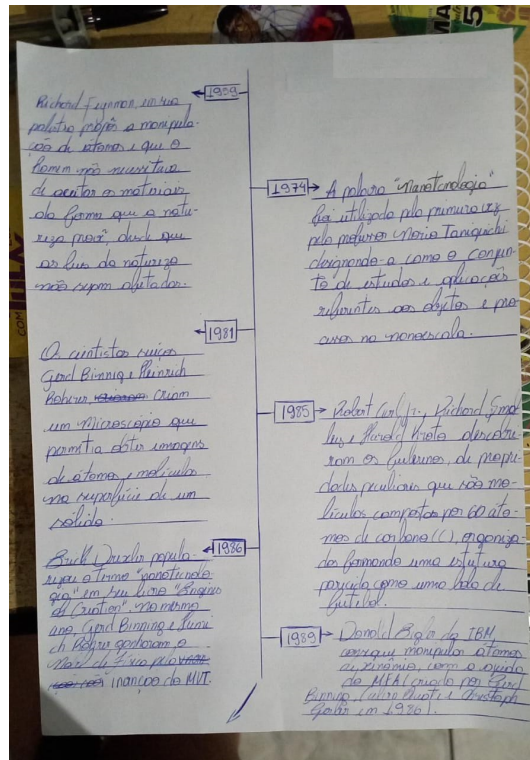


FIGURA 24 – Atividade de Leitura entregue pela aluna A2

Está atividade é simples, portanto, não exige muito do aluno, mas provoca o interesse na leitura para que ele possa cumprir tal tarefa.

Infelizmente, como as aulas foram bem no final do ano, muitos alunos tinham suas programações e estes só reservaram o tempo para assistir às aulas e realizar a interação junto aos colegas. Isso explica a baixa adesão à atividade.

Contudo, a aplicação do pré-teste (conferir no Apêndice C) mostrou-se mais efetiva. Ela é composta por quatorze questões, três no estilo check box, onde se deve marcar mais de uma opção correta, sendo elas as questões Q4, Q5 e Q8, e o restante são questões de múltipla escolha.

Notamos que o tipo de questão acaba influenciando na resposta, as do tipo check box, causam mais confusão, pois o indivíduo pode ter certeza de somente uma das opções, levando a um erro na contabilidade automática do sistema do quiz, mas que não está de todo errado para o aluno e nem para o professor.

A figura 25 foi disponibilizada pela plataforma Quizizz e alterada para ser mais simples de visualizar e caber em uma página.

Podemos notar que as questões de 7 a 10 e a questão 13, tiveram um baixo índice de acerto, 0 ou 1 acerto. Estas questões são mais ligadas aos nanomateriais de carbono, e não são conhecidas pelos alunos. As demais questões são de contexto histórico e alguns conceitos são tratados em jornais, filmes, videogames, na escola, etc. mostrando que estes

Questão	Acertos %	Correto	Incorreto	Sem resposta	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
1	57%	4	3	0							
2	29%	2	5	0							
3	29%	2	5	0							
4	43%	3	4	0							
5	86%	6	1	0							
6	29%	2	5	0							
7	0%	0	7	0							
8	14%	1	6	0							
9	14%	1	6	0							
10	14%	1	6	0							
11	29%	2	5	0							
12	29%	2	5	0							
13	0%	0	7	0							
14	86%	6	1	0							
	33%	32	66	0	35,71	21,43	28,57	28,57	28,57	21,43	64,29



FIGURA 25 – Resultado do pré-teste, mostrando a porcentagem de acertos de cada questão na segunda coluna, e um mapa de acertos (verde) e erros (vermelho), nas colunas de A1 a A7.

conceitos são mais conhecidos pelo público.

## 5.2 AULA 2 - NANOTECNOLOGIA: HISTÓRICO

**Objetivo da aula:** Mostrar que a ciência é uma atividade humana, portanto, evolui num contexto histórico e social.

**Aplicação da Aula** A aula expositiva deverá ter no máximo 20 minutos, para que o professor exponha os fatos e conceitos apresentados na leitura do texto. O professor deve se atentar a relação entre as ideias propostas por Richard Feynman, quando este pensou sobre a possibilidade de manipulação atômica para a construção de dispositivos úteis a Humanidade, e o equipamento que possibilitou tal feito.

Deve procurar esclarecer alguns conceitos como a relação entre a escala nanométrica e os efeitos físicos que aparecem nesta escala, como o Tunelamento Quântico, e tentar elucidar sobre o funcionamento de alguns tipos de microscópios, principalmente os de Varredura por Tunelamento e o de Força Atômica, usados para o estudo da estrutura desses nanomateriais. Ao final faz a aplicação do Teste de Conceito.

### Teste de Conceito - História da Nanotecnologia

O teste de conceito deve ser aplicado assim que o professor terminar a explanação do tema. A primeira aplicação, o professor deve estipular o tempo máximo de 2 minutos

para que todos consigam responder à questão abaixo:

*Richard Feynman falou em sua palestra da possibilidade de manipularmos os átomos uma a uma para construir dispositivos e materiais do jeito que quiséssemos. Qual o dispositivo que tornou a visão de Feynman realidade?*

- a) Microscópio de Varredura por Tunelamento.
- b) O Microscópio de Força Atômica.
- c) Microscópio de Sondagem atômica.
- d) Um Espectrômetro de Massa.
- e) Um Microscópio eletrônico.

Para a coleta das respostas o professor pode utilizar qualquer ferramenta de formulário disponível na internet, Google Formulário, MS Formulários, Karoot, Quizizz (ver uma análise dessa plataforma no Apêndice C), ou outro, que lhe dê um *feedback* imediato destas respostas. Observando que, para seguir para a próxima etapa da instrução, o número de acertos (Microscópio de Força Atômica) deve estar entre 30% e 70%. Caso, seja menor, o professor deve refazer sua explicação e procurando evidenciar melhor os conceitos e as relações, e reaplicar o Teste de Conceito, até atingir essa faixa ou ultrapassá-la. Se o número de acertos estiver na faixa estipulada, os alunos podem passar para a próxima etapa.

**A discussão em grupos** Essa etapa pode ser desenvolvida em no máximo 5 minutos, onde o professor distribui os alunos em pequenos grupos, de 3 a 5 alunos, podendo ser de forma aleatória, se o índice de acertos for maior que 50% e menor que 70%, ou tomando o cuidado de manter, ao menos, um aluno que respondeu corretamente em cada grupo, em ambos os casos eles não devem saber que acertaram ou quem acertou a questão.

Assim, a interação entre os mesmos será na tentativa de resolver o problema, os alunos que acertaram geralmente não mudam de opinião, pois devem ter lido e absorvido as informações do material de estudo e da explanação do professor, e este é o agente que poderá fazer com que haja a mudança nas respostas dos demais, já que os alunos que erraram a questão, pois não deveriam estar prestando atenção na aula do professor e muito menos conseguiram tirar algum proveito da leitura, esses podem sofrer a influência do colega que tenha mais convicção do seu acerto e acabam mudando suas respostas.

Uma observação importante: um dos colegas que errou pode ter uma autoestima e autoconfiança muito fortes, ao ponto de estimular os outros ao erro, mas isso é um risco que o professor deve correr e corrigir assim que perceber que os argumentos estão levando

à resposta errada. Por isso a necessidade de o professor estar passando entre os grupos para ouvir os argumentos.

Desse modo, o papel do professor é estimular o debate entre os colegas, passando de grupo em grupo fazendo com que eles comecem o debate, instigando com uma pergunta relacionada, sem dar indícios da resposta correta, e escutando o debate e as ideias apresentadas pelos alunos.

Ao término do tempo, ou do debate, quem vier primeiro. O professor realiza nova aplicação do Teste de Conceito, dando aos alunos cerca de 1 min a 1,5 min para registrarem suas respostas.

**Finalizar ou continuar?** Se os acertos permanecerem na mesma faixa dos 30-70% o professor deve repetir a explanação do tópico e refazer todo o processo e se tiver abaixo dessa faixa, deverá fazê-lo também, e tentar identificar o porquê do recuo do número de acertos. Mas se o número de acertos ultrapassar essa faixa, o professor deverá explicar a resposta da questão e, então, poderá decidir se quer continuar a explorar o conteúdo, sugerindo um novo Teste Conceitual e repetindo todos os passos anteriores, observando se há tempo suficiente para isso, já que a exposição do conteúdo não é mais necessária, ou se passa para outro tópico dentro do mesmo conteúdo, trabalhando novos conceitos.

Um tópico relevante para isso seria a Relação entre a escala nanométrica e os efeitos físicos que surgem nessa escala (Tunelamento Quântico e outros). Dessa forma podemos sugerir outro Teste de Conceito:

*Gordon Earl Moore, em 1965, sugeriu uma Lei que leva seu nome, Lei de Moore, que previa que o poder de processamento dos computadores dobraria a cada 18 meses. Pela constante redução de tamanho dos componentes básicos de uma CPU, chegou-se a um impasse nessa redução quando os transistores chegaram na casa dos 20 nm, a redução a valores maiores poderia afetar a confiança nos cálculos realizados por esses computadores, que seriam afetados pelo ....., que provocaria um erro de computação devido à fuga de corrente elétrica nesses nanocomponentes.*

- a) Efeito Fotoelétrico
- b) Efeito Compton
- c) Efeito Termoluminescente
- d) Efeito Tunelamento Quântico
- e) Efeito Joule

Dessa forma, o processo pode recomeçar já com o teste de conceito ou, se o professor preferir, ele pode repassar a explicação, rapidamente, somente sobre essa relação e refazer todo o processo. Mas isso fica a critério do professor.

### 5.2.1 Relatos e Análise da aplicação da aula 2

A aula foi realizada utilizando a ferramenta de videoconferência Google Meet, a aula teve um atraso de meia hora, foi marcada para as 18 h, só começou quando todos estavam online.

A princípio foi explicado como iria funcionar a aula, o método a ser utilizado naquela aula, o PI, as atividades que os alunos deveriam realizar e o objetivo da aula, conforme deveria ter ocorrido na primeira aula, mas isso não chegou a ser um problema.

A aula foi apresentada por *slides* do *Powerpoint*, como mostrado na figura 26, sendo utilizado o bate-papo do Meet para as interações entre professor e alunos.

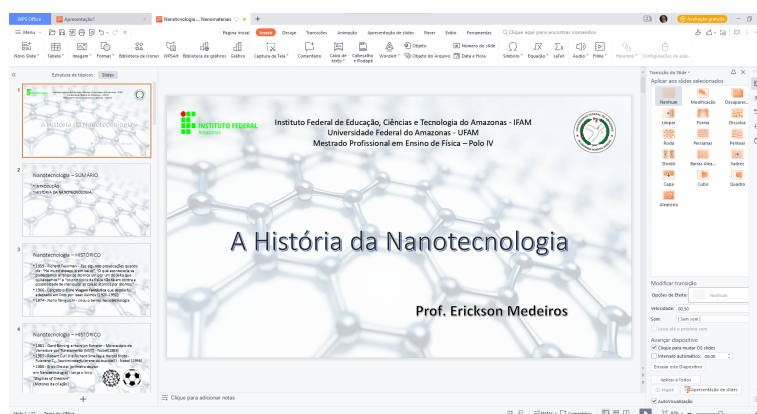


FIGURA 26 – Apresentação do material em slides

Até o final da apresentação correu tudo bem. Mas ao tentar aplicar o Teste de Conceito pela plataforma do Google Meet, as alternativas apareciam incompletas, impossibilitando as respostas dos alunos. Com isso foi decidido que voltaríamos a interagir no grupo de WhatsApp, chamado Nanotec - grupo 1. O problema é a plataforma utilizada para gerar o Teste de Conceito, o professor escolheu o Aplicativo Pollicie, que gera links de resposta em cada item da questão, que eram cortadas na plataforma do Meet, mas ao migrar para o WhatsApp, esse problema foi resolvido, como mostra a figura 27

Desde a constatação do problema até a migração de plataforma, decorreu em torno de 10 min, o que já fugiu do cronograma da aula e tornou a aula um pouco mais enfadonha para os alunos, que já estavam cansados, mas ainda dispostos a terminar a aula.

A aplicação do Teste de Conceito pela primeira vez, com todos os problemas, contou com a participação ainda de alguns alunos da Escola Eunice Serrano, totalizando nove respostas. Mas pelo que podemos observar na figura 29, o índice de acertos não

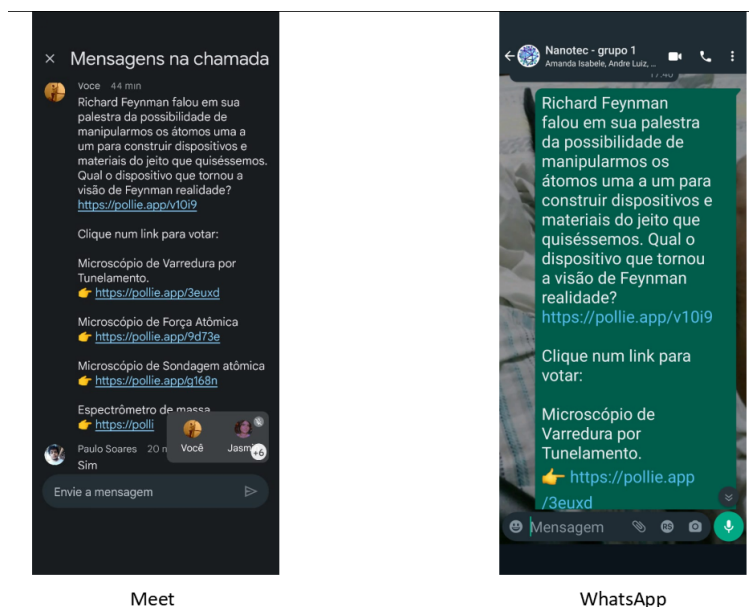


FIGURA 27 – Teste de Conceito nas Plataformas *Meet* e *WhatsApp*, utilizando o aplicativo de quizzes *Pollie*

chegou a 30%, forçando o professor a reiniciar a explicação do tema, dando mais ênfase a essa questão, comentando sobre os microscópios de foram pioneiros na visualização de estruturas nanométricas e dos átomos em particular, possibilitando sua manipulação, e fazendo uma recapitulação na palestra de Feynman, na tentativa de que os alunos fizessem a relação.

Nesse momento, dois alunos saíram da videoconferência e dos grupos do WhatsApp, restando somente os sete que foram até o final. E para incentivá-los a permanecer na atividade e não perder a interação entre os alunos, foi realizada a Discussão em grupo. Aqui é que a metodologia encontrou um gargalo, pois os alunos não se conheciam, não haviam interagido anteriormente, tornando essa tarefa um pouco mais complicada, mas o aluno A1, se prontificou a iniciar a discussão, apontando seu voto inicial e defendendo sua resposta, então os alunos A3 e A5, provocados pelo professor, resolveram dar suas respostas também, como mostrado na figura 28

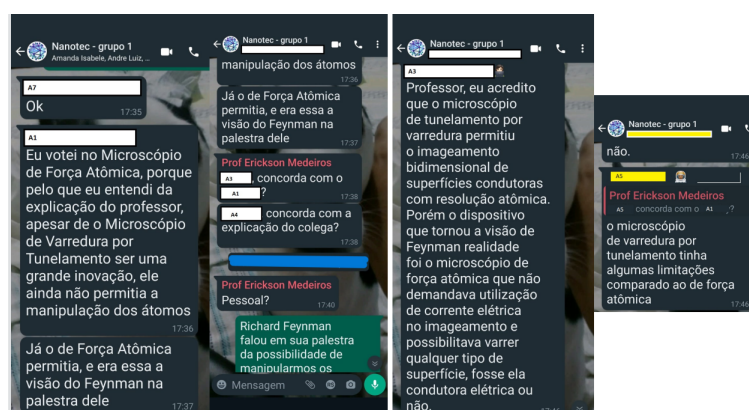


FIGURA 28 – Interações da aula usando a metodologia *Peer Instruction*

Ao final da nova rodada de explicação e discussões do tema, o Teste de Conceito foi aplicado novamente, e nesse caso com resultado satisfatório. O índice de acerto pulou de 22% para 86%, tendo somente a aluna A7 mantido a resposta do teste anterior. Como podemos observar na figura 29.

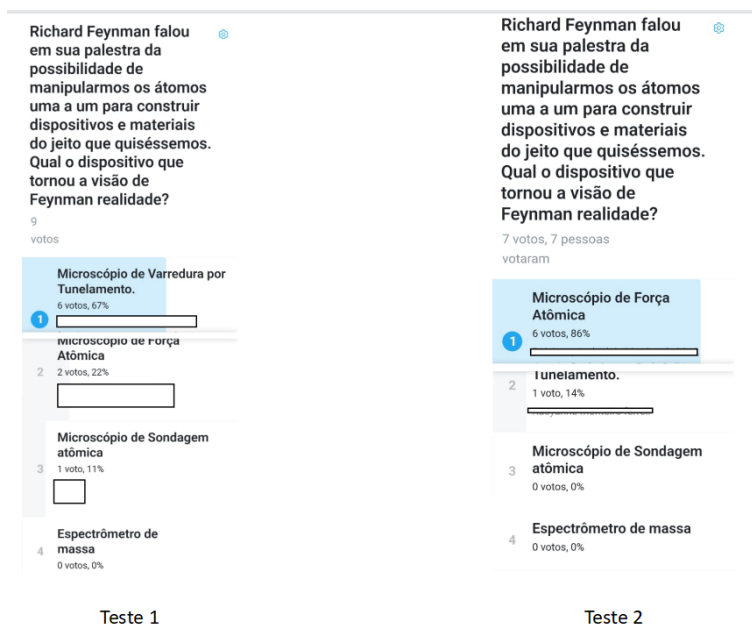


FIGURA 29 – Testes de Conceito, antes (à esquerda) e depois (à direita) da segunda explicação do professor e da discussão entre os alunos.

Quando o professor ia para as considerações finais e a explicação da questão, houve uma queda de energia que danificou o seu modem, o deixando sem internet fixa por dois dias. Com isso, os alunos foram se dispersando, e a aplicação do Pós-Teste quase não acontecia devido ao preparativo para as festas de final de ano. Muitos alunos encontravam-se muito ocupados, mas com a insistência do professor eles encontraram um tempo para responder às questões.

### 5.3 AULA 3 - APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE

Essa aula serve apenas para a aplicação do pós-teste (ver apêndice B), que servirá como instrumento de verificação da aprendizagem dos alunos. Esse pós-teste é idêntico ao pré-teste, ele pode ser aplicado, no máximo, dois dias depois da aplicação da sequência didática, sendo sugerido que seja aplicado logo após ou um dia depois da aplicação da sequência.

#### 5.3.1 Análise da aplicação do Pós-Teste

Apesar da dispersão dos alunos os resultados do Pós-teste surpreenderam, pois o percentual de acertos, em média subiu de 33% para 68%, mostrando um ganho de médio



Questão	Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		Pré		Pós		g por questão
	Acertos %	Correto	Incorreto	Sem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7														
1	57%	100%	4	7	3	0	0	0																1,00	
2	29%	100%	2	7	5	0	0	0																1,00	
3	29%	85%	2	6	5	1	0	0																0,80	
4	43%	71%	3	5	4	2	0	0																0,50	
5	86%	28%	6	2	1	5	0	0																-4,00	
6	29%	71%	2	5	5	2	0	0																0,60	
7	0%	100%	0	7	7	0	0	0																1,00	
8	14%	28%	1	2	6	5	0	0																0,17	
9	14%	57%	1	4	6	3	0	0																0,50	
10	14%	71%	1	5	6	1	0	1																0,67	
11	29%	71%	2	5	5	2	0	0																0,60	
12	29%	28%	2	2	5	5	0	0																0,00	
13	0%	71%	0	5	7	2	0	0																0,71	
14	86%	71%	6	5	1	2	0	0																-1,00	
<b>Ganho Hake Geral</b>	<b>33%</b>	<b>68%</b>	<b>32</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>35,71</b>	<b>92,86</b>	<b>21,43</b>	<b>78,57</b>	<b>28,57</b>	<b>92,86</b>	<b>28,57</b>	<b>64,29</b>	<b>28,57</b>	<b>71,43</b>	<b>21,43</b>	<b>50</b>	<b>64,29</b>	<b>28,57</b>			
<b>g por aluno</b>									<b>0,88888889</b>	<b>0,72727273</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,36363636</b>	<b>-1</b>										

FIGURA 30 – Resultado geral agrupado dos pré e pós-testes. A última coluna mostra o Ganho de Hake normalizado para cada questão e a última linha mostra o Ganho de Hake Médio e o ganho de Hake de cada aluno

$\langle g \rangle = (67 - 32)/(98 - 32) = 0,5$ . A figura 30, mostra os dados agrupados dos pré e pós-testes, e com ele podemos analisar os ganhos de Hake para cada questão e para cada aluno. O destaque vai para os alunos A3, A1 e A2, com os maiores ganhos no aprendizado, respectivamente. Os alunos A4 e A5, também tiveram um ganho substancial, atingindo ou ultrapassando o ganho médio, indicando um bom aproveitamento de aprendizado.

O pior ganho foi o do aluno A7, com ganho negativo igual a  $g = -1$ , este apresentou um decréscimo de rendimento em relação ao pré-teste, o que mostra que no pré-teste ele possa ter “chutado” e acertado várias questões (9/14) e no pós-teste, por demorar mais tempo para responder às questões (três dias após a aula 2), as informações sofreram degradação, mostrando que o aprendizado não foi significativo, mas por memorização Ausubel (2003), o que poderia explicar o resultado adverso e bem distante em ganho dos demais alunos. Estes resultados podem ser vistos no gráfico da figura 31.

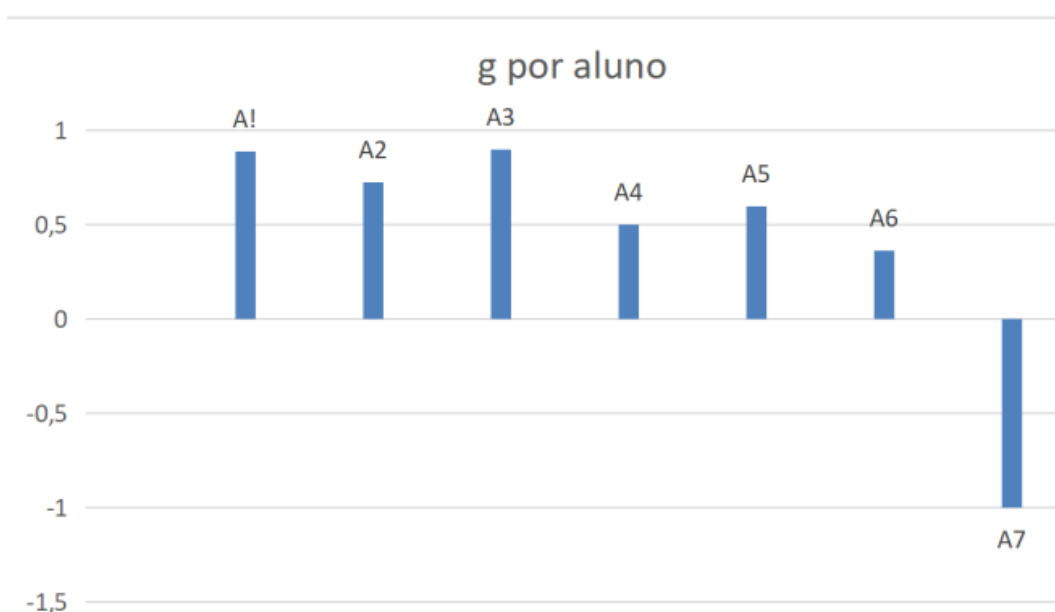


FIGURA 31 – O gráfico mostra o Ganho de Hake por aluno, com destaque aos alunos, A3, A1 e A2, com os maiores ganhos médios e para o resultado negativo do aluno A7

Podemos fazer a mesma análise de ganho para as questões, de onde podemos tirar outras informações sobre o tipo de questão proposta e a relação das respostas com a aula ministrada. O gráfico da figura 32, ilustra o ganho de Hake de cada questão.



FIGURA 32 – O ganho de Hake por questão, com destaque para as questões com maiores ganhos  $g = 1$  (Q1, Q2 e Q7) e para as com ganho negativo (Q5 e Q14)

Os ganhos positivos, mostram que o ganho de aprendizado relacionado a metodologia utilizada foi um ganho bastante motivador com respeito a continuidade de seu uso em sala de aula. Com um ganho médio de  $g = 0,5$ , mas se analisarmos os resultados pela porcentagem de acertos, notamos que em média os acertos no pós-teste mais que dobraram em relação aos do pré-teste, dando uma visão mais clara do resultado satisfatório da aplicação da metodologia adotada pelo professor para esta aula.

Os resultados negativos em ganho de Hake, por questão, também podem ser analisados observando os números de acertos destas e observando o tipo de questão ou a sua relação com a aula e o material instrucional.

A questão com o maior ganho de Hake negativo ( $g = -4$ ), a Q5, é uma questão do tipo *checkbox*, ou seja, que possui mais de uma resposta a ser marcada, na plataforma Quizizz ela foi configurada assim, que não fica evidente no teste impresso da mesma plataforma (ver o quiz no Apêndice C), apesar de no enunciado informar para **selecionar algumas das desvantagens**, isso pode levar o aluno a marcar duas, três ou quatro opções, levando ao erro segundo a programação do jogo, mas que para o professor e nem para o aluno não estaria errado, só meio certo.

Analisando o material de leitura, essas desvantagens da Nanotecnologia não aparecem em destaque, tornando a sua percepção menos efetiva em comparação às vantagens, as quais são mais divulgadas do que as desvantagens pelos meios de comunicação e entretenimento.

Já a questão 14, seu ganho Hake negativo  $g = -1$ , faz parecer que a questão tem algo de errado ou que a aplicação do produto não foi efetivo com relação ao conceito envolvido nela. Mas se observarmos os números de acertos, esse ganho negativo representa um erro a mais em relação ao pré-teste. E buscando no material de leitura a informação está lá, mas não deve ter sido enfatizada pelo professor no momento de sua palestra. Por outro lado, o aluno que errou essa questão é o mesmo que teve o pior desempenho de todos, evidenciando que, ou não estava muito interessado nas aulas e na leitura ou seu aprendizado foi realmente mecânico e, devido à demora para responder o pós-teste, a sua memória degradou e ela acabou esquecendo dos conceitos estudados.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia é um tema interessante para ser trabalhado em sala de aula nos cursos de Física e Química e Biologia, pois além de ser um tema interdisciplinar é, também, multidisciplinar, por envolver muitas delas para o seu desenvolvimento e aplicações, abrindo um leque de possibilidades no que diz respeito ao ensino.

Esse tema abordado aqui, A História da Nanotecnologia, abre caminho para o professor de física criar materiais instrucionais para falar dos processos de síntese de nanomateriais, elaborar uma breve introdução da Física dos Nanomateriais (Física da Matéria Condensada), descrever a síntese e as propriedades de diversos nanomateriais como os apresentados aqui, os Fullerenos, Nanotubos de Carbono e Grafeno, bem como suas propriedades físicas e aplicabilidades, as opções são enormes.

E para isso, a Teoria da Transposição Didática de Chevallard, é um excelente norteador de como elaborar um material potencialmente significativo e um orientador no que diz respeito a aplicação em sala de aula, mostrando que mesmo com um bom material, com muitas informações, o tempo que o professor dispõe é um dos fatores determinante na elaboração de sua aula, fazendo com que alguns conceitos sejam tenham mais destaques que outros.

Para aplicação de um material potencialmente significativo, as aulas devem também ser potencialmente significativas, assim como o tema. Para a aula ter um bom aproveitamento ela deve se utilizar de metodologias ativas, no presente trabalho e no produto gerado por ele, escolhemos o Método *Peer Instruction* (PI), que busca a melhoria na compreensão dos conceitos sem deixar a resolução de problemas de lado, mas esta não é o principal elemento desta metodologia.

No começo o professor pode até ter receio e ponderar desistir de adotar um método de ensino ativo, pois estes exigem mais tempo de pesquisa e planejamento das aulas, de execução e análise dos resultados pretendidos e alcançados. Mas ao perceber que este esforço traz uma recompensa, que será a melhor formação e aprendizado mais duradouro, o professor acaba se vendo motivado a continuar por esse caminho.

Este trabalho mostrou que o PI é um método que pode ser usado como entrada para os métodos ativos, por manter o professor com um certo controle da sala, não alterando abruptamente o modo de lecionar para seus alunos, inserindo a interação entre os alunos de modo a resolver um problema, em substituição ao tradicional questionamento: "Vocês entenderam?".

No método tradicional, o professor é o detentor do conhecimento e transmite este

conhecimento por meio de aulas expositivas, tornando o aluno um receptor passivo, sem muita participação no processo de aprendizagem.

Nos métodos ativos ele é um facilitador, ou mediador do conhecimento, buscando criar um ambiente onde os alunos possam construir seu próprio conhecimento. No método PI o professor permanece no pedestal de detentor do conhecimento, mantendo sua aula expositiva, mas com a responsabilidade de tirar dúvidas e expor os conceitos que não foram entendidos, pelos alunos, durante as leituras dos materiais.

Ao aplicar os testes conceituais, o professor observa como os alunos interagem e como essa interação é benéfica para eles. Pois segundo a Teoria de Glasser, segundo Educação (2022) e sua pirâmide de aprendizagem, 95% do aprendizado acontece quando ensinamos. Assim, a utilização desta metodologia, que provoca a interação e o Ensino entre o Pares (colegas) é uma ótima forma de melhorar a retenção de conceitos e da aprendizagem.

Os resultados apresentados e analisados dos pré e pós-testes, através do método de Ganho de Hake, mostraram que existem vários fatores que podem influenciar o aprendizado e sua “aferição”. Conceitos podem ser subestimados em detrimento de outros, dependendo do plano de ensino do professor, que poderá se dar conta deste desvio mais tarde, quando observar os resultados de seus alunos. Este método é um ótimo caminho para o professor avaliar sua metodologia, pois a avaliação não deve ser de mão única no ensino. Saber onde pode ter falhado ao elaborar um material instrucional, ou durante uma exposição, ou até mesmo durante a aplicação de uma avaliação, é o caminho para que o professor se torne um profissional de excelência e seja referência para outros profissionais da educação.

Espera-se que o apanhado geral deste trabalho sirva como um facilitador na busca do conhecimento acerca das metodologias ativas, em especial do Método *Peer Instruction*, como as metodologias ativas acabam se complementando, o horizonte é amplo e desafiador. Este trabalho serviu para podermos ter uma visão, mesmo que ainda estreita, destas possibilidades com os métodos ativos de ensino.

Fica aqui a recomendação para que o professor que se propor a usar o Produto Educacional desta dissertação, não tenha receio em mudar sua metodologia, em buscar novas técnicas e métodos que o ajudem no seu trabalho e facilite a compreensão dos conceitos de Física por seus alunos, procurando melhorar seu método e o aprendizado deles.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel; SENTO, Tradução --Magda; FONSECA, Sé. **A DIDÁTICA DAS CIÊNCIAS**. [S.l.], 2006. P. 7–132. ISBN: 85-3080116-4. Disponível em: <<https://libgen.is/book/index.php?md5=ACF0890E960A5EDB1AB305B20864FF5E>>. Acesso em: 9 mai. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 34, 37.

AUSUBEL, David. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Lígia Teopisto. [S.l.]: PLÁTANO EDIÇÕES TÉCNICAS, 2003. 243 p. ISBN 972 - 707 - 364 - 6. Citado 2 vezes nas páginas 70, 95.

BATISTA, Renata F. M.; SILVA, Cibelle Celestino. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. pt. **Estudos Avançados**, v. 32, p. 97–110, dez. 2018. ISSN 0103-4014, 1806-9592. DOI: 10.1590/s0103-40142018.3294.0008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/ea/a/7ZbhwnLJDXrwrN7n98DBcLB/>>. Acesso em: 2 mai. 2023. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38.

CADIOLI, Luiz Paulo; SALLA, Luzia Dizulina. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. pt. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 98–105, jul. 2015. 00013. ISSN 2178-6895. DOI: 10.17921/1890-1793.2006v1n1p98-105. Disponível em: <<http://revista.pgsskroton.com.br/index.php/rcext/article/view/2403>>. Acesso em: 30 mai. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 50, 54, 55.

CHEVALLARD, Yves; JOHSUA, Marie-Alberte. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné avec Un exemple d'analyse de la transposition didactique**. [S.l.: s.n.], 1991. ISBN 2-85919-078-3. Citado 2 vezes nas páginas 34, 85.

COELHO, Marcelo. UMA COMPARAÇÃO ENTRE TEAM-BASED LEARNING E PEER-INSTRUCTION EM TURMAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 4, 10 2018. DOI: 10.21920/recei720184104050. Citado 1 vez na página 74.

COETI, COORDENAÇÃO DE EXTENSÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO. **Relatório de Gestão 2015-2020**. Manaus, 2022. P. 18. ISBN 978-65-5633-024-2. Disponível em: <[https://inpacoeti.me/media/attachments/2022/03/18/relatoriocoeti2015-2020\\_low.pdf](https://inpacoeti.me/media/attachments/2022/03/18/relatoriocoeti2015-2020_low.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2023. Citado 1 vez na página 47.

CRANDALL, B. C.; LEWIS, James (Ed.). **Nanotechnology: research and perspectives: papers from the First Foresight Conference on Nanotechnology**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992. 381 p. Meeting Name: Foresight Conference on Nanotechnology. ISBN 978-0-262-03195-0. Citado 1 vez na página 45.

CROUCH, Catherine H.; MAZUR, Eric. Peer Instruction: Ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 9, p. 970–977, set. 2001. ISSN 0002-9505, 1943-2909. DOI: 10.1119/1.1374249. Disponível em: <<http://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1374249>>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 5 vezes nas páginas 79–81.

DA SILVA, Nulliany; DINOLA, Isabel; NETO, Minos A. Scenario in nanotechnology research. **MOJ Ecology & Environmental Sciences**, v. 3, n. 6, 2018. DOI: 10.15406/mojes.2018.03.00110. Citado 2 vezes nas páginas 42, 47.

DISNER, Geonildo Rodrigo; CESTARI, Marta Margarete. NANOCIÊNCIA & NANOTECNOLOGIA. **Evidência**, v. 16, n. 1, 2016. Citado 1 vez na página 46.

EDUCAÇÃO, Saraiva. **Pirâmide da aprendizagem: conheça a teoria de William Glasser**. Blog Saraiva Educação. 3 out. 2022. Disponível em: <<https://blog.saraivaeducacao.com.br/piramide-da-aprendizagem/>>. Acesso em: 18 jan. 2023. Citado 1 vez na página 100.

FEYNMAN, Richard P. Plenty of Room at the Bottom, 1959. Citado 1 vez na página 49.

GALHARDI, Antonio César; AZEVEDO, Marília Macorin de. O Ganho de Hake: uma técnica de avaliação de absorção de conhecimento e replanejamento de disciplina, 2013. ISSN 2175-1897. Acesso em: 12 jan. 2023. Citado 1 vez na página 82.

GEIM, A. K.; NOVOSELOV, K. S.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science**, v. 306, n. 5696, p. 666–669, 22 out. 2004. ISSN 0036-8075, 1095-9203. DOI: 10.1126/science.1102896. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1102896>>. Acesso em: 19 dez. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 60, 61.

HAKE, Richard R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64–74, jan. 1998. Publisher: American Association of Physics Teachers (AAPT). ISSN 0002-9505. DOI: 10.1119/1.18809. Citado 1 vez na página 80.

IJIMA, Sumio. Helical microtubes of graphitic carbon. **NATURE**, v. 354, p. 56–58, nov. 1991. Citado 1 vez nas páginas 56, 58.

KIRCH, Aleksandro. **Propriedades eletrônicas em nanossistemas baseados em nanotubos de carbono e grafeno**. Mar. 2014. text – Universidade de São Paulo. DOI: 10.11606/D.43.2014.tde-30102014-092406. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-30102014-092406/>>. Acesso em: 28 fev. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 62, 63.



KRÄTSCHMER, W.; LAMB, Lowell D.; FOSTIROPOULOS, K.; HUFFMAN, Donald R. Solid C60: a new form of carbon. **Nature** **1990** **347:6291**, Nature Publishing Group, v. 347, p. 354–358, 6291 set. 1990. ISSN 1476-4687. DOI: 10.1038/347354a0. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/347354a0>>. Citado 1 vez na página 52.

KROTO, H. W; HEARTH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene. **NATURE**, v. 318, p. 162–163, nov. 1985. Citado 2 vezes nas páginas 51, 52.

LÁZARO, L.M.S.M.; OLIVEIRA, A.M. de. Nanotecnologia: A pequena grande inovação do futuro. v. 05, n. 4, 2007. Citado 1 vez na página 51.

LEITE, Mirian Soares. 3. Yves Chevallard e o conceito de transposição didática. **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2004. Disponível em: <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0212105\\_04\\_Indice.html](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0212105_04_Indice.html)>. Citado 1 vez na página 33.

LIMA, Denille Brito de. **Variações do grafeno: uma abordagem ab-initio de novas estruturas bidimensionais**. 2011. PhD Thesis – Universidade de São Paulo. 00000. Citado 1 vez nas páginas 60, 62, 64.

MACIEL, Indhira Oliveira. Fabricação de dispositivos nanoeletrônicos baseados em nanotubos de carbono. Português, mar. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BU0S-A46H56>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 41.

MARIOTTO, Patricia; CHICON, Mozzaquatro; ROSA, Cindia; QUARESMA, Toniazzo; BEATRIZ, Solange; GARCÊS, Billig. Aplicação do Método de ensino Peer Instruction para o Ensino de Lógica de Programação com acadêmicos do Curso de Ciência da Computação. Acesso em: 17 mar. 2022. Citado 0 vez na página 79.

MAZUR, Eric 1954-. **Peer instruction: a user's manual**. [S.l.]: Pearson, 2013. ISBN 978-1-292-03970-1. Citado 1 vez na página 85.

MORÁN, José. Mudando a educação com metodologias ativas. **edisciplinas.usp.br**, 2015. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4941832/mod\\_resource/content/1/Artigo-Moran.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4941832/mod_resource/content/1/Artigo-Moran.pdf)>. Citado 3 vezes nas páginas 72, 74.

MOREIRA, Marco Antonio. ¿Al final, qué es aprendizaje significativo?, 2012. Publisher: Universidad de La Laguna. Servicio de Publicaciones. ISSN e-2530-8386. Disponível em: <<https://riull.u11.es/xmlui/handle/915/10652>>. Acesso em: 15 jan. 2023. Citado 4 vezes nas páginas 69–72.

\_\_\_\_\_. **Teorias de aprendizagem**. Edição: Moreira; Marco Antonio. São Paulo: Editora Pedagogia e Universitária LTDA. - E.P.U., 1999. ISBN 85-12-32140-7. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/5581vs>>. Acesso em: 29 mar. 2021. Citado 5 vezes nas páginas 68, 72.

MÜLLER, Maykon Gonçalves; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela; SCHELL, Julie. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991 a 2015). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, 13 mar. 2017. ISSN 1806-1117. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2017-0012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172017000300503&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000300503&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 1 vez na página 77.

NANOTECNOLOGIA e polímeros: revisão dos temas visando a abordagem em aulas de Química | de Castro | Revista Thema. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1164>>. Acesso em: 27 set. 2019. Citado 1 vez na página 47.

PANZENHAGEN, Geovane. **Evolução Da Válvula Ao Transistor**. Evolução Da Válvula Ao Transistor – Enciclopédia Maxwell. 29 abr. 2014. Disponível em: <<https://enciclopediamaxwell.wordpress.com/2014/04/29/evolucao-da-valvula-ao-transistor/>>. Acesso em: 1 fev. 2023. Citado 1 vez na página 43.

PASTRANA-MARTÍNEZ, Luisa; MORALES-TORRES, Sergio; GOMES, Helder; SILVA, Adrián. Nanotubos e grafeno: os primos mais jovens na família do carbono! por. **QUÍMICA**, v. 128, p. 21–27, 2013. 00015. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/8300>>. Acesso em: 30 mai. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 56, 63–65.

PEREIRA, Gabriel Chagas. Estudo sobre a substituição do silício pelo grafeno em placas solares fotovoltaicas. Português, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.unitau.br:8080/jspui/handle/20.500.11874/4457>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 41.

PERES, Ritiane Salete. A nanotecnologia como perspectiva de inovação e competitividade para a indústria da moda. pt\_BR, jun. 2021. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/8719>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 42.

PETTER, Ana Amélia; ESPINOSA, Tobias; ARAUJO, Ives Solano. Inovação didática no Ensino de Física: um estudo sobre a adoção do método Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) no contexto de Mestrados Profissionais em Ensino no Brasil. pt. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210070, jul. 2021. ISSN 1806-1117, 1806-9126. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0070. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbef/a/sjQ9NYrD3yQyX5WKmR3cNNb/>>. Acesso em: 3 mai. 2023. Citado 1 vez na página 80.

PIETROCOLA, Mauricio; FILHO, José; PINHEIRO, Terezinha. A Eletrostática como exemplo de transposição didática. In: ENSINO de Física: conteúdo, metodologia e episte-

mologia numa concepção integradora. 1. ed. [S.l.]: Editora UFSC, jan. 2001. P. 77–100. Citado 4 vezes nas páginas 34, 35, 37–39.

PINHEIRO, Terezinha de Fatima. **APROXIMAÇÃO ENTRE A CIÊNCIA DO ALUNO NA SALA DE AULA DA 1ª SÉRIE DO 2º GRAU E A CIÊNCIA DOS CIENTISTAS : UMA DISCUSSÃO**. [S.l.], 1996. P. 176. Citado 1 vez na página 33.

PINTO, Erveton Pinheiro; RAMOS, Glenda Quaresma; FILHO, Fonseca. O Microscópio de Força Atômica (AFM): importante ferramenta no estudo da morfologia de superfícies na escala nanométrica. pt. v. 3, n. 2, p. 10, 2013. 00000. Citado 1 vez na página 55.

PROBST, Tobias. **Top Down vs Bottom Up: An In-Depth Overview News | World Coin Stats**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://worldcoinstats.com/news/top-down-vs-bottom-up-an-in-depth-overview/>>. Acesso em: 27 dez. 2022. Citado 1 vez na página 45.

REIS, Ana Paula dos; AMATO NETO, João. Aprendizagem por cooperação em rede: práticas de conhecimento em arranjos produtivos locais de software. **Production**, v. 22, n. 3, p. 345–366, 10 mai. 2012. ISSN 1980-5411, 0103-6513. DOI: 10.1590/S0103-65132012005000023. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132012000300001&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012000300001&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 1 vez na página 80.

RÓZ, Alessandra L.; LEITE, Fábio de L.; FERREIRA, Marystela; JÚNIOR, Osvaldo N. de O. **Nanociências e nanotecnologias: princípios e aplicações**. Edição: 1ª Edição. [S.l.: s.n.], 2015. v. 1, p. 294. Publisher: Elsevier Editora Ltda ISBN: 978-85-352-8092-0. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado 6 vezes nas páginas 42, 44–46, 48, 65.

RUELA, Fernando Armini. Síntese de fulerenos funcionalizados com potencial atividade antioxidante, 1 mar. 2013. Accepted: 2019-08-12T18:14:48Z Publisher: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SFSA-AA2PQM>>. Acesso em: 20 dez. 2022. Citado 1 vez nas páginas 41, 53.

SBF, Sociedade Brasileira de Física. **A Física no Brasil na Proxima Década - Física da Matéria Condensada**. [S.l.: s.n.], 1990. 243 p. Disponível em: <<https://bit.ly/3vjKy6X>>. Acesso em: 27 dez. 2022. Citado 1 vez na página 47.

SCHULZ, Peter A. Nanomateriais e a interface entre nanotecnologia e ambiente. Português. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 4, p. 53–58, 2013. ISSN , 2317-269X. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=570561858009>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 41.

SILVA, Edison Z. da. Nanociência: a próxima grande idéia? **Revista USP**, n. 76, p. 78–87, 2008. Citado 1 vez nas páginas 51, 54, 56.

SOUZA, Thiago. **História do computador e a evolução dos computadores**. Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/historia-e-evolucao-dos-computadores/>>. Acesso em: 1 fev. 2023. Citado 1 vez na página 43.

SOUZA FILHO, Antônio Gomes de; FAGAN, Solange Binotto. Funcionalização de nanotubos de carbono. **Química nova**, v. 30, n. 7, p. 1695, 2007. 00095. Citado 1 vez na página 59.

TECNOLÓGICA, Site Inovação. **Grafeno faz elétrons voarem como fótons: Novo componente eletrônico?** Site Inovação Tecnológica. Section: Nanotecnologia. 7 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=transporte-balistico-grafeno&id=010165140207>>. Acesso em: 25 fev. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 42, 64.

TROCHE, Karla Souza. Estudo estrutural e eletrônico de fulerenos e diamondóides encapsulados em nanotubos de carbono. Português, 2007. 00001. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/277610>>. Acesso em: 29 mai. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 57–59.

VIEIRA, Cássio Leite. Projeto: Desafios da Física - Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo. pt. **Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo**, p. 2, 2006. Disponível em: <[http://www.cbpf.br/~desafios/index\\_1.php?p=pdf\\_folders](http://www.cbpf.br/~desafios/index_1.php?p=pdf_folders)>. Acesso em: 17 jun. 2019. Citado 2 vez na página 50.

VIGOTSKI, Lev Semenovich. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução: Paulo (Tradutor) Bezerra. SÃO PAULO: Livraria Martins Fontes Editora Ltda, 2001. 521 p. ISBN 85-336-1361-X. Citado 1 vez na página 68.

WHITESIDES, George M. Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. **Small**, v. 1, n. 2, 2005. ISSN 16136810. DOI: 10.1002/sm11.200400130. Citado 1 vez na página 46.

ZARBIN, Aldo JG; OLIVEIRA, Marcela M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis? **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1533–1539, 2013. Publisher: SciELO Brasil. Citado 3 vezes nas páginas 56, 59, 61.

ZLATANOV, Nikola. Semiconductor Device Fabrication Technology. In. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/297760936\\_Semiconductor\\_Device\\_Fabrication\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/297760936_Semiconductor_Device_Fabrication_Technology)>. Citado 1 vez na página 49.

## APÊNDICE



**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL: ENSINO DE FÍSICA  
CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O  
MÉTODO PEER INSTRUCTION**



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA – SBF  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO IV  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS – IFAM  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM



ERICKSON MORAIS DE MEDEIROS

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

---

ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA  
UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

---

MANAUS

2022





ERICKSON MORAIS DE MEDEIROS

ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA  
UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

Este trabalho é o **Produto Educacional** que será anexado a Dissertação, de mesmo título, e que foi apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo IV, Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM).  
Orientador: Prof.Dr. Minos Martins Adão Neto

MANAUS

2022

*"Quando o homem compreende a sua realidade,  
pode levantar hipóteses sobre o desafio dessa  
realidade e procurar soluções. Assim, pode  
transformá-la e o seu trabalho pode criar  
um mundo próprio, seu Eu e as  
suas circunstâncias."  
(Paulo Freire)*

## RESUMO

A Nanotecnologia é um ramo da ciência inter e multidisciplinar, sendo assim ela possibilita vários temas para serem abordados em sala de aula sem muito rigor matemático. Este trabalho se propõe a explorar a História da Nanotecnologia, fazendo o uso de metodologias ativas, em destaque o *Peer Instruction*, e seus aportes teóricos como as Teorias de Aprendizagem de Vygotsky e Ausubel, elaboramos uma Sequência Didática baseada nessa metodologia criada por Eric Mazur, que tem como base a melhoria na compreensão dos conceitos apresentados em aula. Essas aulas elaboradas nesse trabalho podem ser avaliadas com a metodologia de Ganho de Hake, o qual é uma medida normalizada que serve de base de comparação entre dois estados ou tempos de aprendizado.

**Palavras-chaves:** peer instruction. ensino de física. sequência didática. nanotecnologia.



## **ABSTRACT**

Nanotechnology is a branch of inter and multidisciplinary science, so it allows several topics to be addressed in the classroom without much mathematical rigor. This work aims to explore the History of Nanotechnology, making the use of active methodologies, especially Peer Instruction, and its theoretical contributions such as vygotsky and Ausubel's Learning Theories, we elaborated a Didactic Sequence based on this methodology created by Eric Mazur, which is based on the improvement in the understanding of the concepts presented in class. These classes elaborated in this work can be evaluated with the Hake Gain methodology, which is a normalized measure that serves as a basis for comparison between two states or learning times.

**Key-words:** peer instruction. didactic sequence. physics teaching. nanotecnology.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Comparação entre os tamanhos dos diâmetros da Terra, bola de futebol e fulereno $C_{60}$ . . . . .	25
FIGURA 2 – ENIAC, o primeiro computador eletrônico. . . . .	26
FIGURA 3 – (a) Válvula eletrônica utilizadas no ENIAC; (b) Transistor, substituto das válvulas nos computadores eletrônicos; (c) Transistor de silício. . . . .	26
FIGURA 4 – Cálice de Licurgo sendo iluminado pelo lado de fora (tom esverdeado) e pelo lado de dentro (tom avermelhado). . . . .	30
FIGURA 5 – Richard P. Feynman, o “Pai da Nanotecnologia. Ver link: <a href="https://cdn-images-1.medium.com">https://cdn-images-1.medium.com</a> . . . . .	31
FIGURA 6 – Diagrama esquemático de um STM. À medida que a ponta se aproxima da superfície, mesmo sem energia suficiente para transpor a barreira espaço vazio, uma corrente começa a passar entre a ponta e a superfície por efeito túnel. Esse resultado, impossível na física clássica, foi previsto pela mecânica quântica. A corrente aumenta exponencialmente com a aproximação, e a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008) . . . . .	33
FIGURA 7 – Estrutura do fulereno $C_{60}$ ou buckball. . . . .	33
FIGURA 8 – Fullerenos com 28, 32, 50, 60, 70, 240 e 540 átomos de carbono. . . . .	34
FIGURA 9 – Diagrama esquemático do bocal supersônico pulsado usado para gerar feixes de cluster de carbono. Ver em Kroto, Heath, O’Brien, Curl e Smalley (1985) . . . . .	34
FIGURA 10 – Formação do fulereno $C_{60}$ a partir da vaporização do grafeno. Ver em Ruela (2013) . . . . .	35
FIGURA 11 – Primeiro equipamento concebido para a produção em escala “macroscópica” de fullerenos. Ver em Ruela (2013) . . . . .	35
FIGURA 12 – Diagrama esquemático de um AFM. O AFM tem uma ponta fina presa a um braço de material semiconductor. Esse braço, chamado cantiléver, sofre deflexões quando a ponta interage com a superfície. A força, que pode ser controlada eletronicamente e sentida pelo cantiléver, é monitorada por feixes de laser e, a partir da deflexão no detector, a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008) . . . . .	36
FIGURA 13 – Ponteira de um microscópio de força atômica. Ver Cadioli e Salla (2015) . . . . .	37



FIGURA 14 – Logotipo da IBM escrito com 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. Ver em <a href="https://abre.ai/ibm35atoms">https://abre.ai/ibm35atoms</a> . . . . .	38
FIGURA 15 – Rede hexagonal da folha de grafeno onde $\vec{d}$ : diâmetro do nanotubo, $\vec{C}$ : vetor quiral, vetores da base $\vec{a}_1$ e $\vec{a}_2$ da rede. Ver em Troche (2007)	40
FIGURA 16 – Micrografias dos primeiros nanotubos de carbono de paredes múltiplas observadas por Iijima em 1991. Com tubos (a) 5, (b) 2 e (c) 7 paredes. Ver Iijima (1991) . . . . .	40
FIGURA 17 – Nanotubos de Carbono de diferentes categorias estruturais. Ver em <a href="https://bit.ly/NanoTubos">https://bit.ly/NanoTubos</a> . . . . .	41
FIGURA 18 – Filmes de grafeno. (A) Fotografia (em luz branca normal) de um floco de grafeno multicamada relativamente grande com espessura $\sim 3$ nm em cima de um wafer de Si oxidado. (B) Imagem do microscópio de força atômica (AFM) da área de $4\mu m^2$ deste floco próximo à sua borda. Cores: marrom escuro, superfície $SiO_2$ ; laranja, 3 nm de altura acima da superfície $SiO_2$ . (C) imagem AFM de grafeno de camada única. Cores: marrom escuro, superfície $SiO_2$ ; marrom-avermelhado (área central), 0,8 nm de altura; amarelo-marrom (canto inferior esquerdo), 1,2 nm; laranja (canto superior esquerdo), 2,5 nm. Observe a parte dobrada do filme perto do fundo, que apresenta uma altura diferencial de $\approx 0,4$ nm. Para detalhes da imagem AFM de grafeno de camada única, consulte (15). (D) Imagem de microscópio eletrônico de varredura de um de nossos dispositivos experimentais preparados a partir de FLG. (E) Vista esquemática do dispositivo em (D). Ver em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004) . . . . .	43
FIGURA 19 – Representação da estrutura hexagonal planar do grafeno análise das ligações $sp^2$ . Ver em Lima (2011) . . . . .	44
FIGURA 20 – (a) A rede do grafeno é uma hexagonal com dois átomos na base (A e B); (b) bandas de energia do grafeno no entorno do nível de Fermi ( $E_f$ ), resultante da interação entre os orbitais $\pi$ de átomos de carbono vizinhos. Na parte direita do gráfico é apresentada a primeira zona de Brillouin do grafeno, destacando os pontos de alta simetria. Ver em Kirch (2014). . . . .	45
FIGURA 21 – Representação do transistor mais fino do mundo construído a partir de uma folha de grafeno. Ver em Lima (2011) . . . . .	46
FIGURA 22 – Ilustração esquemática do compósito de grafeno com metais e óxidos de metais. Ver em Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013) . . . . .	46

FIGURA 23 – Diagrama de uma aula <i>Peer Instruction</i> , adaptado de Mariotto, Chicon, Rosa, Quaresma, Beatriz e Garcês (2022) . . . . .	51
FIGURA 24 – Diagrama de uma aula <i>Peer Instruction</i> , adaptado de (MARIOTTO; CHICON; ROSA; QUARESMA; BEATRIZ; GARCÊS, 2022) . . . . .	59



## LISTA DE TABELAS



## LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

**ADN** *Ácido Desoxirribonucleico*

**AFM** *Atomic Force Microscope*

**APS** *American Physical Society*

**CalTech** *California Institute of Technology*

**DWNT** *Double Walled Carbon Nanotube*

**ENIAC** *Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*

**FCI** *Force Concept Inventory*

**GPC** *Grafeno de Poucas Camadas*

**HRTEM** *High Resolution Transmission Electron Microscope*

**INPA** *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia*

**ISO-TC** *International Organization for Standardization – Technical Committee*

**JiTT** *Just-in-Time Teaching*

**MFA** *Microscópio de Força Atômica*

**MWNT** *Multi-Wall Carbon Nanotubes*

**NNI** *The National Nanotechnology Initiative*

**NTMP** *Nanotubo de Carbono de Múltiplas Paredes*

**NTPD** *Nanotubo de Carbono de Parede Dupla*

**NTPS** *Nanotubo de Carbono de Parede Simples*

**PI** *Peer Instruction*

**PT** *Pós-teste*

**SSD** *Solid State Drive*

**STM** *Scanning Tunneling Microscope*

**SWNT** *Single Walled Carbon Nanotube*

**TEM** Transmission Electron Microscope

**TPS** *Think-Pair-Share*

**TPS** *Think-Pair-Share*

**UFAM** Universidade Federal do Amazonas

**pT** Pré-teste

**rpm** rotações por minuto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Ângulo quiral nos Nanotubos de Carbono
$\vec{d}$	Diametro do Nanotubo de Carbono de Parede Simples
$\vec{C}$	Vetor Quiral
$\vec{a}_i$	Vetores de Base da rede hexagonal do grafeno
$\vec{b}_j$	Vetores de base recíprova da rede hexagonal do grafeno
$\delta_{ij}$	Delta de Kronecker
$\hbar$	Contante de Planck
$\sigma$	Orbital hibridizado do carbono
$\pi$	Orbital hibridizado do carbono (Química); o próprio $\pi$ (Matemática)
$v_F$	Velocidade de Fermi
$E_F$	Nível de energia de Fermi





## SUMÁRIO

<b>Introdução</b>	<b>19</b>
<b>1 HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA</b>	<b>23</b>
1.1 INTRODUÇÃO	23
1.2 DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS	24
1.3 A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA	29
1.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA	47
<b>2 O MÉTODO PEER INSTRUCTION</b>	<b>49</b>
2.1 INTRODUÇÃO	49
2.2 ASPECTO HISTÓRICO	49
2.3 O MÉTODO <i>PEER INSTRUCTION</i>	49
2.4 MELHORIA NO APRENDIZADO DO ALUNO	51
2.5 IMPLEMENTAÇÃO	53
2.6 GANHO DE HAKE	54
<b>3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION</b>	<b>57</b>
3.1 O MÉTODO <i>PEER INSTRUCTION</i>	58
3.2 PLANO DE ENSINO	60
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE A A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE B PRÉ E PÓS-TESTES</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO A O USO DO APP/SITE QUIZZZ</b>	<b>91</b>



## APRESENTAÇÃO

Este Produto Educacional foi pensado como um divulgador de alguns conceitos da Física Moderna e Contemporânea, uma parte da Física tão esquecida na sala de aula do Ensino Básico, mas tão necessária para o desenvolvimento tecnológico que alcançamos. Neste trabalho será apresentado o Histórico da Nanotecnologia, buscando esclarecer alguns termos, teorias, materiais e dispositivos utilizados para a fabricação e estudo dos nanomateriais.

Para que o professor possa ter uma base de consulta destes conceitos sobre a Nanotecnologia, foi elaborado um capítulo intitulado História da Nanotecnologia, que aborda a necessidade do estudo desse tema nas escolas do Ensino Básico e por consequência no Ensino Superior, ou vice-versa. Será mostrado nesse capítulo também algumas definições e as propriedades dos nanomateriais, seguindo para o tema a ser explorado por esse Produto Educacional, A História da Nanotecnologia e finalizando o capítulo com algumas considerações sobre a pesquisa em nanotecnologia.

Para a aplicação das aulas sobre o tema deste produto educacional, elaboramos uma Sequência Didática a ser aplicada em três aulas para a exploração dos conceitos envolvidos. Foi a sequência didática foi elaborada com base em Metodologias Ativas, mais precisamente, o *Peer Instruction* (PI).

O capítulo 2, descreve como funciona o método e os resultados alcançados pelo seu criador, o professor de Física da Universidade de Harvard, o Dr. Eric Mazur. Mazur criou esse método no intuito de melhorar a compreensão dos conceitos a serem trabalhados pelo professor nas suas aulas.

O *Peer Instruction* se baseia da interação entre os pares (*Peer*), ou colegas, para que eles resolvam uma questão sugerida pelo professor, logo após sua explanação sobre o tópico. Os pares ou colegas trocam ideias (*Instruction*) e tentam chegar à resposta correta da questão.

Em resumo, uma aula em PI, é preparada pelo professor, visando a assimilação dos conceitos de um determinado tópico. Que leva a elaboração de um bom material instrucional (leitura, vídeos, mapas, quadrinhos, etc.), fazendo que os alunos os consulte previamente antes das aulas.

A aula em PI inicia com a exposição do tópico pelo professor (etapa 1), que aplica uma questão (Teste de Conceito), para verificar a compreensão do conceito (etapas 2, 3 e 4), caso o nível de respostas corretas ao Teste de Conceito fique entre 35% e 70% (etapa 5), o professor segue para as próximas etapas (6 a 9) do método PI, onde a etapa 6 é a

etapa do *Instruction*, base do método.

Caso seja menor do que 35%, o professor deverá voltar a etapa 1 e refazer todas elas novamente. E se o resultado do Teste de Conceito seja maior do que 70%, ele pode explicar a questão e seguir com sua aula, aplicando nova questão ou partindo para outro tópico (etapas 7, 8 e 9). Todas as etapas do método PI, serão devidamente explicadas nesse capítulo, que mostra um diagrama do funcionamento de uma aula em PI.

Algumas etapas ocorrem simultaneamente, como as etapas 4 e 5 (respostas dos alunos e coleta e análise pelo professor), as mesmas das etapas 7 e 8.

O método descrito aqui, é acompanhado de um método de avaliação de aprendizado, o Método de Hake, que o professor poderá utilizar para fazer comparações entre o pré-teste e o pós-teste, bem como comparar os resultados futuros de uma aplicação desse material, sempre procurando melhorá-lo a cada aplicação.

A Sequência didática está descrita no capítulo 3, deste Produto Educacional. Objetivando ser o mais didático na apresentação das etapas a serem seguidas pelo professor, guiando-o tendo em vista a descrição das etapas do método, descritas na seção 3.1.

Cada aula, foi pensada planejando o tempo de execução das tarefas que são de responsabilidade do professor e do aluno, e na descrição detalhada de cada uma dessas tarefas. Assim, as tarefas distribuídas em colunas (professor, aluno) e as etapas/tempo em linhas, para uma melhor organização dos procedimentos que deverão ser seguidos, para o sucesso na aplicação da metodologia. O professor, deve a preparação do material que será utilizado nas aulas, de forma que se tenha tudo a disposição quando for preciso.

A sequência didática sugerida foi planejada para 3 aulas. A primeira é uma conversa sobre o método a ser utilizado, chamando a atenção para a importância dos prazos, antes e durante a aula, a organização de grupos de interação utilizando as redes sociais (WhatsApp ou Telegram), para auxiliar nas instruções, discussões e tarefas a serem sugeridas pelo professor aos alunos.

Na segunda aula é descrito o uso do método, os passo-a-passos de uma aula em Peer Instruction, orientando sobre os conceitos a serem evidenciados, a aplicação em todos os detalhes e as observações que o professor deve fazer e prestar atenção no desenrolar da aula.

A terceira aula serve para a verificação do aprendizado por meio de um pós-teste a ser aplicado nesta aula. Nessa aula o professor poderá inquirir seus alunos acerca da aplicação da metodologia, como um *feedback* sobre o *Peer Instruction* e sobre a aula na totalidade. O professor poderá também realizar um debate mais aprofundado, verificado se ainda há dúvidas sobre o tema e tentando elucidá-los.

Para a aplicação do pré-teste e do pós-teste, foi elaborado um questionário, utilizando o *App Quizizz* (disponível pelo site [www.quizizz.com](http://www.quizizz.com)). Aqui neste documento será oferecido um manual explicando como acessar, criar seu Quiz, ensinando como elaborar suas questões, ou adicionar questões já elaboradas por outras pessoas, fazer a aplicação do mesmo, podendo ser numa aula síncrona ou como tarefa para casa.

O Quizizz é uma ferramenta aberta, onde os quizzes elaborados ficam disponíveis para qualquer um utilizar, ou respondendo quando estiver aberta para respostas, ou servindo de base de questões para outros quizzes.

Além disso, essa ferramenta oferece uma análise detalhada dos resultados do quiz aplicado, incluindo o tempo de respostas do Quiz e o de cada questão respondida, por aluno, mostrando uma taxa de “certeza” em relação à questão. Para acessar essas análises, basta o professor baixar a planilha fornecida e verificar todos os detalhes dela. Todos esses detalhes sobre o Quizizz serão explicados no manual a ser disponibilizado nesse Produto Educacional no Anexo A.



# 1 HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

## 1.1 INTRODUÇÃO

A Física, com o surgimento da Mecânica Quântica, foi uma das responsáveis pelo desenvolvimento da Nanotecnologia, pois o estudo da matéria em escala atômica e molecular promoveu uma melhor compreensão dos mecanismos que regem as interações entre átomos e moléculas nessa escala de tamanho, levando ao desenvolvimento de materiais relevantes para campos diversos, como a medicina, eletrônica, ciência da computação, química, biologia e engenharia de materiais, campos de estudo aplicados a nanotecnologia compõem a Nanociência.

A atuação desses campos é transdisciplinar permitindo o planejamento e a miniaturização de materiais ou dispositivos, ou seja, a construção de estruturas e novos materiais em nanoescala (escala atômica), onde o objetivo principal é alcançar o controle dos átomos e utilizá-los para construir estruturas estáveis e convenientes para aplicações nestas áreas de estudo. Na medicina, por exemplo, nanopartículas que levam remédios direto nas células afetadas, como a utilização de derivados dos fulerenos com ações anti-HIV, antimicrobiana, antioxidantes e compostos capazes de carregar fragmentos de DNA para possíveis terapias genéticas, segundo Ruela (2013).

Se entendermos e controlarmos as propriedades físico-químicas dos nanomateriais, como as propriedades eletrônicas (condutividade), ópticas, térmicas e resistências a deformações, poderemos criar aplicações e melhorar processos de fabricação destes e de outros materiais, como a aplicação de nanotubos de carbono na construção civil substituindo o aço das estruturas ou sendo agregada ao concreto para torná-lo mais forte.

Os materiais semicondutores, muito utilizados na indústria para fabricação de componentes eletrônicos, podem se tornar mais finos e flexíveis com a substituição do silício pelo grafeno, tornando os produtos finais mais eficientes energeticamente, diminuindo a dissipação de energia pelo calor e aumentando o seu poder de processamento de informações ou das demais características de interesse industrial como transporte de energia elétrica e térmica, por exemplo.

Conforme Pereira (2019), Schulz (2013) e Maciel (2015), os nanomateriais como os nanotubos de carbono e o grafeno, que conduzem os elétrons com muita eficiência, são nanomateriais feitos de carbono, com estruturas hexagonais formados pelas ligações covalentes dos seus átomos. O grafeno é uma folha de carbono de um átomo de espessura, já os nanotubos podem ser considerados “canudos” feitos de grafeno. Esses dois nanomateriais podem se tornar semicondutores de alta velocidade, tornando-os ótimos candidatos a



substituir o silício na fabricação de componentes eletrônicos, como os chips de computador, fazendo com que eles sejam mais rápidos e mais eficientes energeticamente.

A grande mobilidade dos elétrons na estrutura do grafeno o torna um ótimo candidato a transistores de alta frequência, podendo superar 500 GHz, uma vantagem sobre o silício que trabalha abaixo dos 5 GHz, conforme artigo publicado no site Inovação Tecnológica, conforme o artigo Tecnológica (2014).

No meio ambiente, a nanotecnologia pode ser aplicada para sensoriamento ambiental, indicando contaminantes ou mudanças no clima locais, compósitos magnéticos podem ser utilizados para a purificação de água e no tratamento de resíduos industriais por meio da adsorção de poluentes presentes nesses líquidos. As nanopartículas magnéticas são adicionadas à água ou ao resíduo industrial, onde se ligam aos poluentes presentes. Em seguida, um campo magnético externo é aplicado, permitindo que as nanopartículas sejam separadas do líquido juntamente com os poluentes adsorvidos. Essa técnica é conhecida como separação magnética e é uma alternativa eficiente e econômica para a remoção de poluentes em soluções aquosas, para Da Silva, Dinola e Neto (2018).

Peres (2021) cita também a aplicação da nanotecnologia na área cosmética, onde os nanomateriais têm uma melhor absorção dos seus componentes pela pele humana, ou na indústria de tintas para automóveis, e em tecidos, que tornam os materiais onde foram aplicados mais resistentes a arranhões (automóveis) ou impermeáveis (paredes, tecidos, calçados, etc.).

Portanto, a capacidade de controlar e manipular materiais e dispositivos nanométricos possibilita explorar novas propriedades físicas, químicas e biológicas destes nanomateriais, tornando o número de aplicações da nanotecnologia impensável, dependendo somente da imaginação do ser humano em encontrar um problema que possa ser resolvido com a nanotecnologia.

Para entendermos melhor o que é a Nanotecnologia, devemos procurar entender o conceito relacionado a palavra grega *Nano*.

## 1.2 DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DOS NANOMATERIAIS

A definição mais simples de nanotecnologia é dada pelo seu prefixo *NANO*, que em grego significa **Anão** e representado pela letra *n*. O termo é utilizado para designar coisas muito pequenas, na casa do bilionésimo, portanto, o prefixo *n* equivale a uma divisão por 1 bilhão, de modo que em relação à escala de comprimento temos que  $1 \text{ nm} = 1 \text{ metro} (1 \text{ m}) / 1.000.000.000 = 1 \text{ m} / 10^9 = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ , ou seja, 1 nm (um nanômetro) é um bilionésimo do metro.

Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015) faz uma comparação interessante considera o

tamanho da Terra (T), o de uma bola de futebol (B) e o tamanho do fulereno  $C_{60}$  (F) (ver figura 1). Onde  $T/B \approx B/F \approx 10^6$ .



FIGURA 1 – Comparação entre os tamanhos dos diâmetros da Terra, bola de futebol e fulereno  $C_{60}$

Outras comparações podem ser efetuadas com estruturas que conhecemos, por exemplo, o fio de cabelo (de aproximadamente 100.000 nm), com os glóbulos vermelhos do nosso sangue (em torno de 7.000 nm), e diversas outras estruturas biológicas, como bactérias e vírus e retrovírus como o HIV, em ordem decrescente de tamanho.

Um nanotubo de carbono tem espessura de aproximadamente 10 nm, se fizermos a mesma comparação de anteriormente, Terra  $\Rightarrow$  Bola  $\Rightarrow$  fulereno, o tamanho de um prédio de 3 andares é aproximadamente 10 mil vezes maior que a espessura de um fio de cabelo, enquanto o fio de cabelo é cerca de 10 mil vezes mais espesso que um nanotubo de carbono. Podemos também comparar as escalas dos dispositivos eletrônicos, como os transistores, os responsáveis pela redução do tamanho dos computadores eletrônicos.

Os computadores evoluíram do ábaco, uma calculadora manual que inventada pelos chineses no século V a.C, até o computador eletrônico, que se tornou possível com o controle da eletricidade pelo ser humano e pela necessidade de um alto nível de processamento de dados durante e após a 2ª Guerra Mundial, onde quem tivesse alto poder computacional poderia ganhar guerras.

O primeiro computador eletrônico (ver figura 2) o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*), construído em 1945, era composto por 17.468 válvulas, ocupando um espaço de um prédio, segundo Souza (2023). Com a descoberta dos transistores, que possuem a mesma função das válvulas, os computadores tiveram uma redução muito considerável de tamanho, cabendo na palma da mão, além da melhoria de eficiência energética e computacional.

O transistor, é um componente que controla a passagem da corrente, constituído por três partes, o emissor (polo positivo), coletor (polo negativo) e a base, que controla os estados de liga e desliga do transistor, nos dando uma unidade de computação binária, o *bit*. Assim, a redução do tamanho dos computadores acompanhou a redução do tamanho desses componentes eletrônicos, que saíram da casa dos centímetros para a casa dos nanômetros ( $10^7$  vezes menor), conforme Panzenhagen (2014). De maneira que, o número de componentes eletrônicos que realizam os cálculos no computador saíram dos 17.000

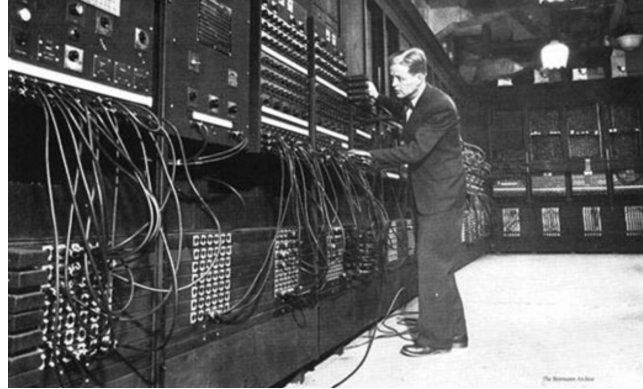


FIGURA 2 – ENIAC, o primeiro computador eletrônico.

(ENIAC) para a casa dos 30 bilhões de transistores em um processador de computador (*Intel Core i9*), devido à redução destes componentes através do uso das técnicas de fabricação desenvolvidas com a Nanotecnologia.

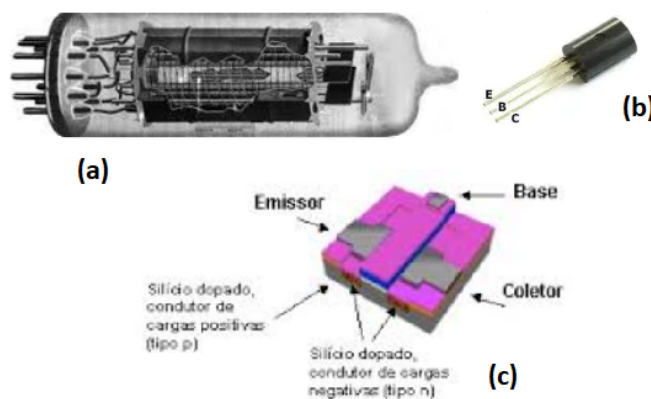


FIGURA 3 – (a) Válvula eletrônica utilizadas no ENIAC; (b) Transistor, substituto das válvulas nos computadores eletrônicos; (c) Transistor de silício.

O termo Nanotecnologia, segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015), possui duas definições, concebidas por duas instituições, o Comitê Técnico da Organização Internacional de Padronizações, em inglês *International Organization for Standardization – Technical Committee* (ISO-TC) e outra pela *The National Nanotechnology Initiative* (NNI):

ISO-TC: "Compreensão e controle da matéria e processos em escala nanométrica, em geral – mas não exclusivamente – abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos ligados ao tamanho geralmente permite novas aplicações."

NNI: "Utilização de propriedades dos materiais em nanoescala, a qual difere da escala dos átomos, das moléculas e da matéria a granel, para a criação de melhores materiais, dispositivos, e sistemas que exploram essas novas propriedades."

Para que um sistema, material ou dispositivo seja considerado nanotecnológico, é necessário que, além do tamanho nanométrico, ele possua propriedades específicas associadas à escala nanométrica. Para a *NNI*, os limites mínimo e máximo para dispositivos e materiais nanotecnológicos vai da escala de 1 nm, o tamanho aproximado de um átomo, até 100 nm, conforme Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015).

Em resumo, a Nanotecnologia se refere à “habilidade de projetar, construir e manipular dispositivos, materiais e sistemas funcionais em escala nanométrica”, sendo considerada uma engenharia de sistemas em escala molecular (*Ibid.*).

Os processos utilizados para a fabricação de nanomateriais são os mais diversos, por dependerem de propriedades físico-químicas dos materiais a serem trabalhados e de quais propriedades se deseja para esse novo material. Para se obter um nanomaterial específico podemos utilizar dois tipos de processos distintos, o primeiro de Cima para baixo (*top-down*) e o segundo de baixo para cima (*botton-up*), para Probst (2020), que serão descritos a seguir.

De cima para baixo e de baixo para cima são dois métodos de fabricação de um produto. Em 1989, o Foresight Institute aplicou pela primeira vez esses termos ao campo da nanotecnologia para distinguir entre manufatura molecular (que produz objetos grandes em massa com precisão atômica) e manufatura convencional (que pode produzir objetos grandes em massa com imprecisão atômica). As abordagens de baixo para cima buscam construir componentes menores (geralmente moleculares) em montagens mais complexas, como os fulerenos e nanotubos de carbono, enquanto as abordagens de cima para baixo buscam usar componentes maiores controlados externamente para orientar sua montagem para criar dispositivos em nanoescala, como os transistores utilizados em chips de computador, como explica Crandall e Lewis (1992).

Abordagens de cima para baixo normalmente usam oficina tradicional ou métodos de microfabricação, onde ferramentas, controladas externamente, são usadas para cortar, segmentar e moldar materiais nas formas e sequências desejadas. Técnicas de micropadronização, como litografia e impressão a jato de tinta, se enquadram nessa categoria.

Em contraste, as abordagens de baixo para cima exploram as propriedades químicas de moléculas simples para permitir que seus componentes se automontem em alguma conformação útil; ou instalados posicionalmente. Esses métodos usam os conceitos de automontagem molecular e/ou reconhecimento molecular. Essa abordagem de baixo para cima geralmente deve conseguir produzir dispositivos em paralelo e ser muito mais barata do que uma abordagem de cima para baixo, mas pode ficar sobrecarregada à medida que o tamanho e a complexidade dos componentes necessários aumentam.

As propriedades desejadas pelos nanomateriais estão associadas às suas características físico-químico-biológicas, com a redução do tamanho dos dispositivos, até a nanoescala, suas propriedades mudam e sofrem a influência das leis da mecânica quântica, fazendo aparecer outros efeitos que não são observáveis em escala macroscópica ou micrométrica. Desta forma podemos destacar as propriedades ópticas, quando os nanomateriais se absorvem a luz transformando em calor ou eletricidade, ou simplesmente mudando de cor, a condutividade elétrica, para a fabricação de materiais que conduzem a eletricidade de forma mais eficiente (supercondutores), semicondutores que possuam melhores propriedades, como transferência de cargas elétricas de maneira mais rápida quando exigido e com melhor eficiência energética, segundo Disner e Cestari (2016).

A redução de tamanho de uma determinada substância ou dispositivo provoca um aumento da área de superfície correspondente destas partículas em comparação ao correspondente macroscópico, podendo ter uma maior reatividade química, servindo de catalisadores mais eficientes ou propriedades terapêuticas ampliadas, em contrapartida, temos um possível efeito tóxico também ampliado (*Ibid.*).

Podemos destacar também a condutividade térmica, necessária para retirada de calor de forma mais rápida de um sistema, como em um chip de computador, por exemplo. Quando se planeja e se cria um nanomaterial, espera-se que este revele uma nova propriedade mais interessante e que tenha uma nova aplicabilidade ou que sirva como uma nova abordagem para a solução de um problema antigo.

Estas propriedades procuradas e exploradas em nano materiais, provocam grande interesse pelo estudo e desenvolvimento da nanotecnologia e da nanociência. Whitesides (2005) *apud* Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015), elenca seis razões para o estudo da nanotecnologia e nanociência:

1. Muitas propriedades, ainda são consideradas como um “mistério”, como, por exemplo, o funcionamento do motor flagelar da bactéria *E. coli* ou como os elétrons se movimentam ao redor de nanofios organometálicos.
2. A dificuldade de se obter os nanomateriais.
3. Muitas das estruturas nanométricas ainda são inacessíveis, e seu estudo pode levar a novos fenômenos.
4. Nanoestruturas apresentam uma variedade de tamanhos em que os fenômenos quânticos (principalmente o emaranhamento quântico e outros reflexos do caráter de onda da matéria) são esperados. Fenômenos quânticos, com certeza, explicam o comportamento e as propriedades dos átomos e das moléculas, mas estes fenômenos não são perceptíveis ao nível macroscópico. Como exemplo, os pontos quânticos

(quantum dots) e os nanofios já foram obtidos e apresentam propriedades eletrônicas particulares.

5. Estruturas nanométricas e funcionais realizam as principais funções de uma célula são a fronteira da Biologia. Como, por exemplo, ribossomos, histonas e cromatina, o aparelho de Golgi, a estrutura do interior das mitocôndrias, o micromotor flagelar, o centro de reações fotossintéticas e as ATPases das células são nanoestruturas que estão sendo caracterizadas e compreendidas.
6. A nanociência será a base para o desenvolvimento da nanoeletrônica e fotônica.

A nanotecnologia é uma área de grande potencial de produção de novos materiais e dispositivos com grande aplicabilidade, nos mais diversos campos da atividade vida humana, isso abre espaço para o Brasil ocupar um lugar de destaque nesse cenário, pois possuímos uma vasta biodiversidade e excelentes centros de pesquisas, para a síntese e caracterização de novos materiais e dispositivos em nanoescala. No Amazonas, temos a UFAM (Universidade Federal do Amazonas) e o INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) que realizam pesquisas com nanomateriais, conforme COETI, Coordenação de Extensão Tecnológica e Inovação (2022), e sua aplicação em diversas áreas, como a despoluição e tratamento da água, por exemplo revelado por Da Silva, Dinola e Neto (2018).

O Brasil participa da pesquisa em nanociências e nanotecnologia, segundo o documento elaborado por SBF (1990). Mas seus investimentos ainda são muito tímidos, mas mesmo assim já foram feitos avanços importantes na estruturação de quatro redes nacionais em Nanotecnologia, além de várias sub-redes temáticas e três Institutos do Milênio, mobilizando mais de 300 pesquisadores e 600 pós-graduandos em todo o país, conforme Toma (2006).

Na próxima seção, trataremos de fazer um recorte na História da Nanotecnologia, a qual é o tema do Produto Educacional desenvolvido, desde a antiguidade, com o uso de nanopartículas de ouro na fabricação de artefatos, até a descoberta do grafeno, em 2004. Este recorte se faz necessário, pois o tema Nanotecnologia, sua História, apresentam muitos fatos e conceitos, e neste trabalho, planejamos apresentar somente os fatos e conceitos principais que levaram ao desenvolvimento desta área da ciência.

### 1.3 A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

Embora seja um termo popular, a nanotecnologia já era utilizada pelo ser humano, que explorava algumas de suas propriedades físico-químicas na metalurgia, produzindo ligas metálicas mais fortes, nas cerâmicas, em tintas utilizadas em vitrais, ou fazendo artefatos

de nanopartículas de ouro, como o famoso Cálice de Licurgo, que, dependendo de como está iluminado, muda entre verde e vermelho, como mostrado na figura 4.



FIGURA 4 – Cálice de Licurgo sendo iluminado pelo lado de fora (tom esverdeado) e pelo lado de dentro (tom avermelhado).

As nanopartículas de ouro foram utilizadas pelos vidraceiros medievais que os agregavam às tintas que seriam aplicadas aos vidros e dependendo do tamanho destas partículas produziam cores diferentes. Estes vitrais, além das cores diferentes pela aplicação dessas tintas a base de nanopartículas de ouro, produziam outra propriedade, a de purificação do ar. Quando a luz do sol incide sobre esse vidro, recoberto por este material, ele se torna um fotocatalisador desse fenômeno físico-químico. Michael Faraday, um físico experimental do final do século XIX, sintetizou nanopartículas de ouro, mas não compreendia as suas propriedades, pois ainda não existiam a explicação dada pela Mecânica Quântica, segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015).

O interesse pela constituição da matéria foi iniciada pelo filósofo grego Demócrito, em 400 a.C., com sua teoria atomista, o qual foi confirmada por Ernest Rutherford e Niels Bohr, em 1913, com a experiência de Rutherford revelando a existência dos átomos e tendo sua estrutura explicada teoricamente por Bohr (*Ibid.*). Outro passo para o desenvolvimento da teoria por trás da nanotecnologia foi dada por Thomson (1906) e Lewis (1916) que desenvolveram a teoria das ligações químicas (iônica e covalente) os quais são formas de ligações moleculares. No entanto, a ideia da produção e uso dos nanomateriais só foi proposta em 1959, em palestra proferida pelo americano Richard Feynman, motivo pelo qual é considerado o ponto de partida para o uso da nanociência e da nanotecnologia.

Com a descoberta dos elétrons e conseqüentemente dos raios-X, no começo do século XX, levaram a muitos experimentos envolvendo os elétrons, os átomos e toda gama de ondas eletromagnéticas, somados às descobertas já mencionadas na seção anterior, no intuito de revelar os segredos da estrutura atômica, destacando os raios-X, utilizados na cristalografia para o estudo da estrutura de materiais, levando ao desenvolvimento da Física Moderna.

Em dezembro de 1959, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (CalTech), no encontro anual da Sociedade Americana de Física (*American Physical Society - APS*), surge a ideia da possibilidade da manipulação atômica para fins tecnológicos. Com a palestra intitulada “Há muito espaço lá embaixo” (*Plenty Room at the Bottom*, Richard Feynman inspirou seus colegas da CalTech, quando propôs que no futuro poderíamos arranjar os átomos à nossa maneira. Afirmando ainda que não via impedimento pelas leis da Física para tais feitos, o que se comprovou algumas décadas depois. Feynman (1959).



FIGURA 5 – Richard P. Feynman, o “Pai da Nanotecnologia. Ver link: <https://cdn-images-1.medium.com>

A inspiração de Feynman o fez imaginar que, com essa nova tecnologia, a informação inteira da Enciclopédia Britânica (24 volumes) poderia ser colocada toda na cabeça de um alfinete. Ele explicou que se a área da cabeça de um alfinete fosse ampliada 25 mil vezes, teria uma área proporcional capaz de conter todas as páginas da Enciclopédia Britânica da época. Hoje possuímos dispositivos que possuem alta densidade de armazenamento, talvez milhares de Enciclopédias Britânicas na palma das nossas mãos, como os drives *Solid State Drive* (SSD) e suas variantes, fabricados com o processo de litografia, conforme Zlatanov (2004), gerando componentes nanométricos, que fornecem uma alta densidade de dados e menor consumo de energia.

Portanto, para Feynman, a manipulação da matéria ao nível atômico só seria questão de conhecimento técnico e da tecnologia necessária para tal. Com tais palavras, tomadas como desafio por vários colegas, um motor de 0,38 mm de diâmetro foi apresentado



a ele como resposta, conforme relata Vieira (2006).

A ficção científica embarcou nas ideias de Feynman e em meados da década de 1960, foi lançado o filme *Viagem fantástica* (1966), adaptado em um livro por Isaac Asimov (1920-1992), em que uma nave e sua tripulação são miniaturizadas e injetadas no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sanguíneo e salvar a vida do paciente. Essa obra tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração”, conforme relatado em Vieira (2006).

O professor Norio Taniguchi, da Universidade de Ciência de Tóquio, cunhou o termo Nanotecnologia, em 1974, designando-a como o conjunto de estudos e aplicações referentes aos objetos e processos em nanoescala, segundo Cadioli e Salla (2015).

Já o termo Nanociência surgiu após o desenvolvimento do Microscópio de Varredura por Tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope - STM*), no ano de 1981, em um laboratório da IBM, em Zurique. Criado por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer este microscópio conseguia “enxergar” átomos individuais em materiais condutores e semicondutores.

Ele funciona quando uma ponta muito pequena e de material condutor é aproximada (a alguns nanômetros) do substrato a ser analisado, ao ponto que o campo elétrico de sua ponta provoca um salto de um elétron do material (Efeito de Tunelamento – efeito quântico que faz com que uma pequena corrente elétrica “tunele” por uma fina camada de material isolante) gerando uma corrente elétrica de alguns nanoampères ( $nA$ ), mostrando haver um átomo próximo à ponta de varredura no material, essa corrente elétrica aumentava exponencialmente com a aproximação da ponta, gerando uma imagem a partir de informações topográficas da superfície com uma resolução de escala atômica, como mostrado na figura 6.

Em 1985, Robert Curl Jr. e Richard Smalley da Rice University, Houston, Texas, Estados Unidos, e com Sir Harold Kroto da University of Sussex Brighton, do Reino Unido descobriram uma forma alotrópica do carbono composta por 60 átomos de carbono organizados formando uma estrutura que parecia a forma de uma bola de futebol. Essa descoberta eles batizaram com o nome de *buckminsterfullerene*, ou simplesmente de *buckball*, em homenagem ao arquiteto alemão Buckminster Fuller, inventor do domo geodésico. Curl, Smalley e Kroto foram laureados com o Nobel de Química em 1996 pela descoberta.

O fulereno é uma família de nanomateriais feitos de carbono, que englobam os nanotubos de carbono e o grafeno. Os fulerenos geralmente se apresentam na forma esférica, como “gaiolas” feitas de carbono, onde o mais conhecido é o fulereno  $C_{60}$ , mas podem se apresentar com estruturas com maiores ou menores números de átomos, como 20, 40, 60, 70, 240 ou mais, e podem inclusive formar camadas como cebolas, sendo então

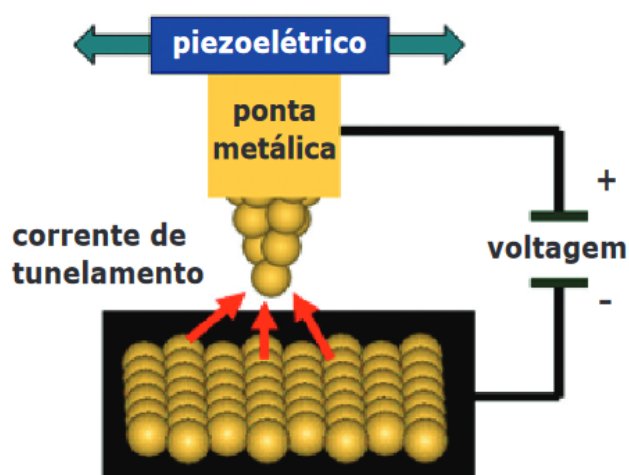


FIGURA 6 – Diagrama esquemático de um STM. À medida que a ponta se aproxima da superfície, mesmo sem energia suficiente para transpor a barreira espaço vazio, uma corrente começa a passar entre a ponta e a superfície por efeito túnel. Esse resultado, impossível na física clássica, foi previsto pela mecânica quântica. A corrente aumenta exponencialmente com a aproximação, e a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008)

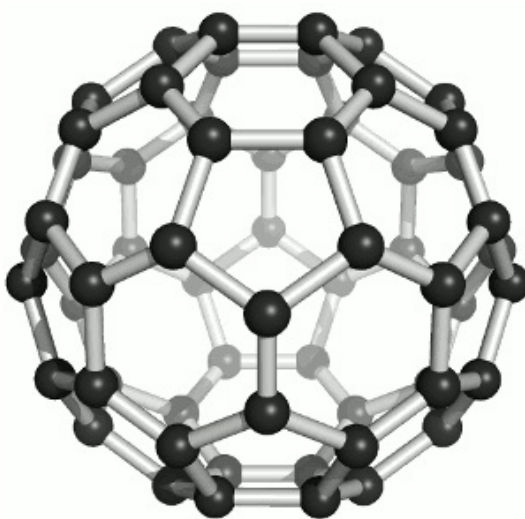


FIGURA 7 – Estrutura do fulereno  $C_{60}$  ou buckball.

chamadas de nanocébolos. De acordo com Lázaro e Oliveira (2007): *“os compostos de fulerenos apresentam grande área de superfície específica e são altamente reativos, podendo formar radicais livres, o que os tornam prejudiciais aos ser humano e outros seres vivos.”*

Kroto e seus companheiros, em um artigo para a Revista Nature, Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985) descreve a técnica utilizada para produzir e detectar essa molécula, que envolve a vaporização do de espécies de carbono da superfície de um disco sólido de grafite em um fluxo de gás hélio de alta densidade, utilizando um laser pulsado focado. O laser de vaporização foi o segundo harmônico de Q-switched Nd:YAG produzindo energias de pulso de 30 mJ. Os aglomerados de carbono resultantes foram expandidos em

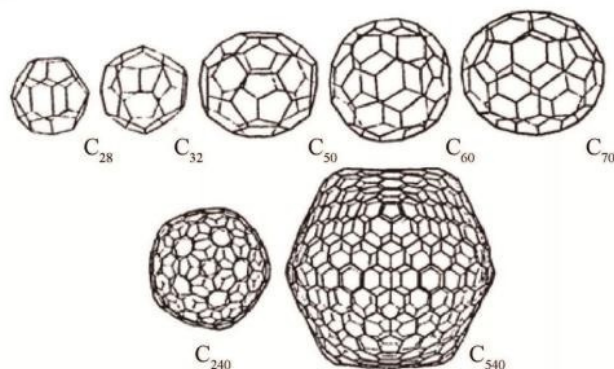


FIGURA 8 – Fulerenos com 28, 32, 50, 60, 70, 240 e 540 átomos de carbono.

um feixe molecular supersônico, foto ionizados usando um laser excimer e detectados por espectrometria de massa de tempo de voo (*Time-of-Flight Mass Spectrometry - TOFMS*). A câmara de vaporização é mostrada na figura 9. No experimento, a válvula pulsada foi aberta primeiro e então o laser de vaporização foi disparado após um atraso precisamente controlado.

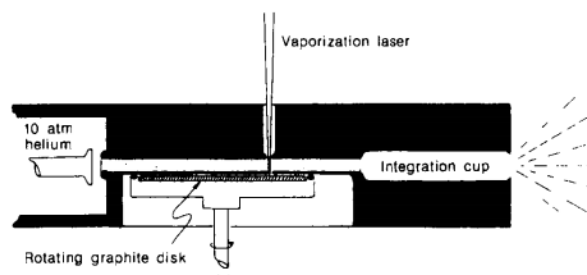


FIGURA 9 – Diagrama esquemático do bocal supersônico pulsado usado para gerar feixes de cluster de carbono. Ver em Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985)

O copo de integração pode ser removido na linha indicada na figura 9. O feixe de laser de vaporização (30-40 mJ a 532 nm em um pulso de 5 ns) é focalizado através do bocal, atingindo um disco de grafite girando lentamente para produzir uma superfície de vaporização lisa. O bocal pulsado passa hélio de alta densidade sobre esta zona de vaporização. Este gás transportador de hélio fornece as colisões de termalização necessárias para resfriar, reagir e agrupar as espécies no plasma de grafite vaporizado, e o vento necessário para transportar os produtos do agrupamento pelo restante do bocal. A expansão livre deste gás carregado de aglomerados na extremidade do bocal forma um feixe supersônico que é sondado após 1,3 m com a ajuda de um espectrômetro de massa de tempo de voo, conforme Kroto, Heath, O'Brien, Curl e Smalley (1985).

A técnica criada por Kroto e equipe foi melhorada em 1990, pela equipe de Krätschmer, Lamb, Fostiropoulos e Huffman (1990), que desenvolveu um método de produção de  $C_{60}$  em quantidades “macroscópicas”, que tornava mais alta a capacidade

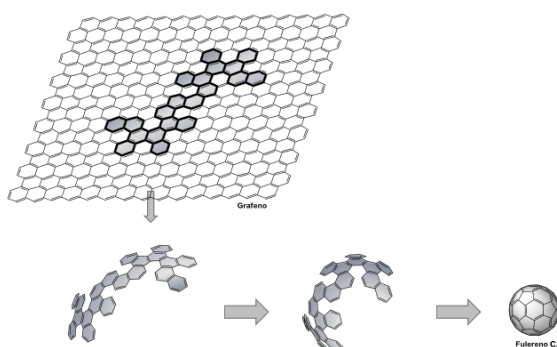


FIGURA 10 – Formação do fulereno  $C_{60}$  a partir da vaporização do grafeno. Ver em Ruela (2013)

de realização de estudos sobre as propriedades desses materiais. O equipamento era um recipiente de vidro em forma de sino, conectado a uma bomba de vácuo e um duto de entrada de gases inertes que proporcionava uma atmosfera de hélio e se podia ter controle sobre a pressão no recipiente. Então era aplicado um arco voltaico entre tubos de grafite de alta pureza.

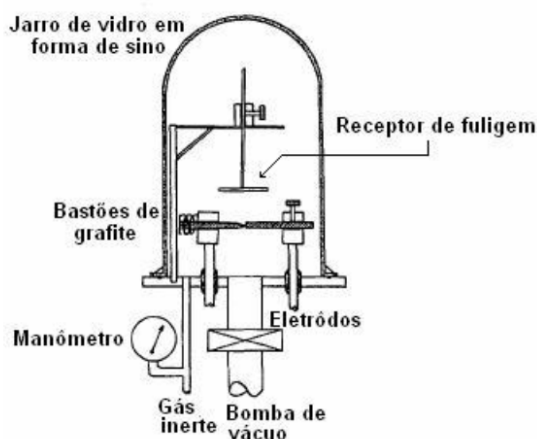


FIGURA 11 – Primeiro equipamento concebido para a produção em escala “macroscópica” de fulerenos. Ver em Ruela (2013)

Com a produção em escala “macroscópica” desenvolvida pela equipe de Krätschmer, o estudo desse material foi facilitado, e as suas aplicações se tornaram mais diversificadas, como compostos derivados que possuem ação antibiótica, antioxidante, antirretrovirais e conseguem carregar fragmentos de ADN - Ácido Desoxirribonucleico que podem levar a criação de uma terapia genética. Podem atuar como limitadores ópticos e serem aplicados em células fotovoltaicas.

Essas descobertas geraram uma grande expectativa em relação ao futuro da nanotecnologia, em seu livro *Engines of Creation*, lançado em 1986, Erick Drexler, o primeiro doutor em nanotecnologia, populariza o termo e dando um ar de ficção científica a nova ciência, imagina a construção de um Assemblador Molecular, uma nanomáquina que conseguiria manipular os átomos e fazer cópias de si mesma objetivando produzir

nanorrobôs em larga escala capazes de manipular a matéria ao nível atômico, conforme Cadioli e Salla (2015).

Essa abordagem, que de um lado pode ter sido imaginada como uma vantagem por Drexler, mas por outro pode ter causado certo desconforto entre os leitores desta obra, e vista com desconfiança por vários cientistas.

Em 1986, no mesmo ano em que Gerd Binnig e Heinrich Rohrer ganharam o Nobel de Física pela invenção do STM. Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber, desenvolveram o microscópio de força atômica (MFA) ou em inglês (*Atomic Force Microscope - AFM*), um dispositivo que é um upgrade do MVT e com a capacidade de enxergar qualquer coisa (condutores, semicondutores e isolantes), pois o STM não conseguia analisar materiais isolantes.

O AFM consiste em uma haste semicondutora (*cantiléver*) onde se acopla uma ponta de diamante de tamanho nanométrico, que passa pelos átomos exercendo uma força, entre os átomos da ponta e da superfície, suficiente para ser sentida no detector, mas não grande o suficiente para destruir a estrutura analisada na amostra, ao passar pela amostra o *cantiléver* sofre deflexões, medidas por conjunto de laser-detector, como mostra a figura 12.

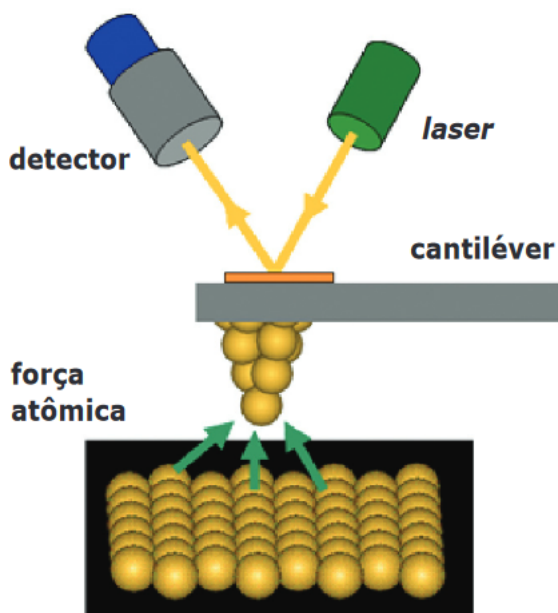


FIGURA 12 – Diagrama esquemático de um AFM. O AFM tem uma ponta fina presa a um braço de material semicondutor. Esse braço, chamado cantiléver, sofre deflexões quando a ponta interage com a superfície. A força, que pode ser controlada eletronicamente e sentida pelo cantiléver, é monitorada por feixes de laser e, a partir da deflexão no detector, a informação é usada para gerar imagens topográficas da superfície. Ver em Silva (2008)

As principais vantagens do AFM são: maior resolução, imagens em 3 dimensões, não havendo a necessidade de recobrir a amostra com material condutor, não requer métodos

específicos de preparação da amostra, permite a quantificação direta da rugosidade da amostra, permite a medida da espessura de filmes ultrafinos sobre substratos e análise por fractal. É possível fazer imagens da superfície imersa em líquidos e por algumas variantes da família Microscópios de Varredura por Sondagem (MVS) é possível também diferenciar fases com diferentes viscoelasticidades, encontrar domínios magnéticos, etc, segundo Pinto, Ramos e Filho (2013).

Cadioli e Salla (2015) explica que o MFA é um equipamento versátil que além de ver os átomos pode até movê-los um a um. Isso pode ser feito quando aplicada uma tensão elétrica extremamente forte é aplicada entre a ponta do microscópio e a amostra, fazendo com que um átomo salte e fique preso na ponta. Porém, se a polaridade da tensão for invertida, o átomo volta para baixo com força, ficando encaixado neste ponto.

Todas essas vantagens são bastante úteis na área das Ciências dos Materiais e Engenharia dos Materiais para a caracterização e produção de novos materiais.



FIGURA 13 – Ponteira de um microscópio de força atômica. Ver Cadioli e Salla (2015)

Estas técnicas de microscopia, STM e AFM, se juntaram a outra técnica, a microscopia por transmissão de elétrons ou *Transmission Electron Microscope (TEM)*, criadas por Ernest Ruska em 1931, ganhador do Nobel por essa invenção em 1986, e tendo sua resolução melhorada pelo *High Resolution Transmission Electron Microscope (HRTEM)*.

O TEM é um equipamento que se baseia no postulado de de Broglie, da Dualidade Onda-Partícula, onde o comprimento de onda do elétron está inversamente relacionado à diferença de potencial aplicado ao mesmo para acelerá-lo, dada pela relação  $\lambda = h/2mv$  ou  $\lambda = \sqrt{150/V}$  onde,  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $V$  a tensão de aceleração dos elétrons,  $m$  é a massa do elétron e  $v$  é sua velocidade. Assim, se aplicada uma voltagem de dezenas milhares de volts, teremos um comprimento de onda na faixa dos (Å), da ordem de tamanho dos átomos. Junta-se a teoria de de Broglie, a teoria de campos elétricos e magnéticos de simetria axial de Busch, que funciona como lente para as partículas carregadas, a lente magnética, possibilitando para que Ruska e Knoll criassem o TEM.

Para Silva (2008), essas três tecnologias de microscopia foram fundamentais para o desenvolvimento da nanotecnologia e nanociência, pois com elas foi possível “ver” as estruturas nanométricas e manipulá-las.

Com a ajuda do AFM, o físico Donald M. Eigler, trabalhando no laboratório da IBM na Califórnia, em 1989, consegue manipular, 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel, os manipulando para formar o logotipo da IBM, provocando em outros cientistas uma busca a fim de se conseguir o melhor domínio da técnica de manipular átomos. A técnica serviu inclusive para IBM produzir um pequeno filme intitulado de *A boy And His Atom: The World's Smallest Movie*, que pode ser assistido no Youtube, ver em <https://www.youtube.com/watch?v=oSCX78-8-q0>.

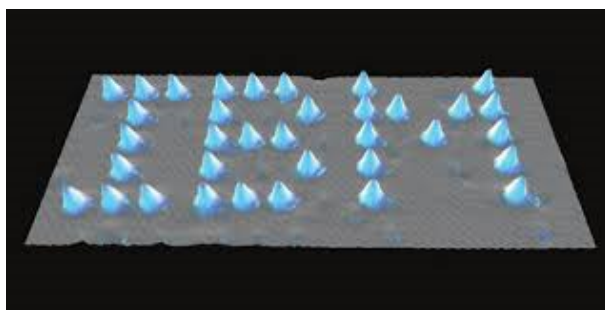


FIGURA 14 – Logotipo da IBM escrito com 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. Ver em <https://abre.ai/ibm35atoms>

Conforme relata em seu artigo, Zarbin e Oliveira (2013), há relatos que um grupo de russos já haviam sintetizado os Nanotubos, em 1958, e no ano de 1976, outro grupo de cientistas japoneses também reportaram a existência dos nanotubos de carbono. Mas o interesse foi maior após a descoberta dos nanotubos, por Sumio Iijima, em 1991, quando descreveu a nanoestrutura de uma fibra de vários microns de comprimento, mas com poucos nanômetros de largura, uma estrutura de múltiplas camadas, de 2, 5 e 7 camadas de um material composto somente por carbono. Com essa descrição, a descoberta desse novo nanomaterial é atribuída a Iijima.

Anos mais tarde o grupo de Iijima e outro grupo de pesquisa liderada por Bethune, reportaram a síntese de nanotubos de parede simples, após experiências com arco elétrico onde os ânodos eram compostos de carbono e pequenas quantidades de metais de transição, segundo Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013).

Em seu artigo intitulado *Helical microtubules of graphitic carbon* ou Microtúbulos helicoidais de carbono grafítico, em tradução livre, Iijima (1991), descreve como conseguiu sintetizar os Nanotubos de carbono. Ele utilizou da mesma técnica usada para a síntese do fulereno, a Evaporação por Descarga de Arco, um dispositivo semelhante ao usada por Krätschmer (ver figura 11), mas ele observou a formação de estruturas semelhantes a agulhas que cresciam na extremidade negativa do eletrodo usado para a descarga de arco.

Iijima observou que os nanotubos pareciam crescer abundantemente em apenas algumas regiões do eletrodo. O eletrodo no qual o carbono foi depositado também continha partículas poliédricas com estruturas de casca esférica, que tinham 5-20 nm de diâmetro. As estruturas das agulhas foram examinadas por microscopia eletrônica de transmissão (energias eletrônicas de 200 keV).

Os nanotubos produzidos e observados por Iijima, variavam de 3 a 40 nm de diâmetro e até  $1\mu\text{m}$  de comprimento, cultivadas na extremidade negativa do eletrodo de carbono usado no processo de evaporação por descarga de arco de carbono em um recipiente cheio de argônio (100 torr). A pressão do gás foi muito menor do que a relatada para a produção de filamentos de grafite mais espessos. Iijima observou a formação de fibras moleculares de carbono, cilíndricas e fechadas por seis anéis pentagonais.

Usando a HRTEM para a caracterização desse novo material, foi observado que cada agulha era formada por tubos coaxiais de folhas de grafite, variando em números de 2 a 50 tubos. Em cada tubo, a estrutura hexagonal dos átomos de carbono estão dispostos de forma helicoidal em torno do eixo da agulha. Iijima completa:

“O passo helicoidal varia de agulha para agulha e de tubo para tubo dentro de uma única agulha. Parece que esta estrutura helicoidal pode ajudar no processo de crescimento. A formação dessas agulhas, variando de algumas dezenas de nanômetros de diâmetro, sugere que a engenharia de estruturas de carbono deve ser possível em escalas consideravelmente maiores do que aquelas relevantes para os fulerenos.”

Através de experimentos, observou-se que a estrutura do nanotubo é formada por átomos de carbono em arranjos hexagonais fazendo lembrar a geometria de um favo de mel. Ele pode ser pensado o enrolamento de uma folha de grafite (grafeno) sobre si mesma, formando um cilindro sem emendas. No caso de uma estrutura de uma só camada ela é chamada de Nanotubo de Carbono de Parede Simples (NTPS) ou conforme a literatura científica como *Single Walled Carbon Nanotube* (SWNT), se for de duas camadas é chamado de Nanotubo de Carbono de Parede Dupla (NTPD) ou *Double Walled Carbon Nanotube* (DWNT) e se forem de mais camadas são referidas como Nanotubo de Carbono de Múltiplas Paredes (NTMP) ou *Multi-Wall Carbon Nanotubes* (MWNT), todas essas estruturas são tubos coaxiais.

A melhor maneira de especificar a forma geral do nanotubo é em termos do seu diâmetro  $d$  (em  $nm$ ) e do ângulo quiral  $\theta$ , como definido em Troche (2007).

De forma que o comprimento do vetor quiral  $\vec{C}$  está diretamente ligado ao diâmetro  $\vec{d}$  do tubo através da relação

$$|\vec{d}| = \frac{|\vec{C}|}{\pi},$$

$$\vec{C} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$$



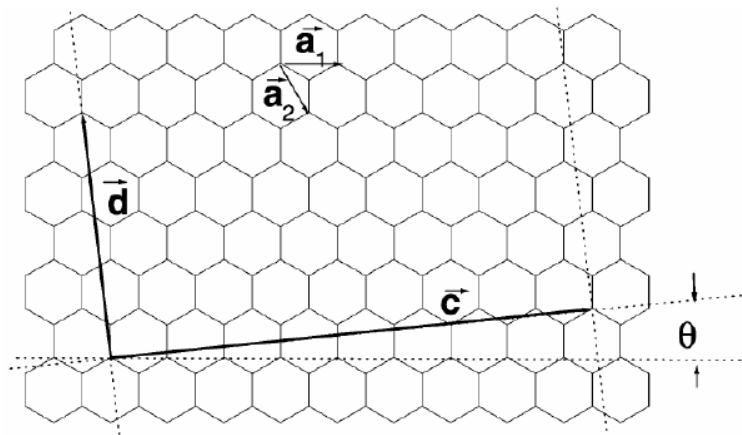


FIGURA 15 – Rede hexagonal da folha de grafeno onde  $\vec{d}$ : diâmetro do nanotubo,  $\vec{C}$ : vetor quiral, vetores da base  $\vec{a}_1$  e  $\vec{a}_2$  da rede. Ver em Troche (2007)

Já o ângulo quiral  $\theta$  é definido como:

$$\text{sen}\theta = \frac{\sqrt{3}m}{2\sqrt{n^2 + m^2 + nm}}$$

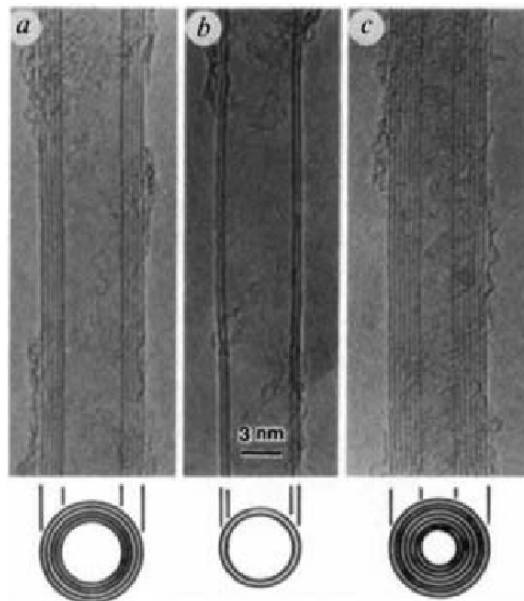


FIGURA 16 – Micrografias dos primeiros nanotubos de carbono de paredes múltiplas observadas por Iijima em 1991. Com tubos (a) 5, (b) 2 e (c) 7 paredes. Ver Iijima (1991)

A partir dos dados na estrutura do nanotubo, os SWNT podem ser divididos em 3 diferentes categorias estruturais: *zig-zag*, o *armchair* e o *quiral*, cada um relacionado os parâmetros  $m$  e  $n$  do vetor de base  $\vec{C}$ .

Troche (2007), descreve cada categoria:

“A primeira categoria é a **zig-zag** ( $m = 0$ ), assim denominada pelo padrão que os hexágonos seguem ao se ‘moverem’ circunferencialmente ao redor do corpo do tubo. Na segunda categoria chamada de **armchair** ( $n = m$ ), os hexágonos seguem uma linha reta ao redor do corpo do tubo. A terceira

forma estrutural conhecida como **quiral**, indica que o tubo pode ter uma torção (helicidade) em qualquer direção onde  $n$  e  $m$  são os outros casos que não incluem os dois anteriores e com direção  $\vec{C}_h$  nos valores do intervalo de:  $0 < |\theta| < 30^\circ$ ."

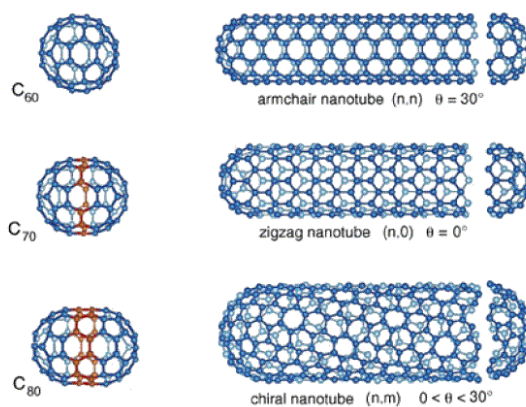


FIGURA 17 – Nanotubos de Carbono de diferentes categorias estruturais. Ver em <https://bit.ly/NanoTubos>

Os nanotubos apresentam comportamento metálico em 1/3 das amostras e semicondutor nos 2/3 restantes, em amostras aleatórias, onde o valor do *gap* de energia depende do diâmetro externo do nanotubo, emissão de campo, condutância quantizada como fios quânticos e supercondutividade, as propriedades vibracionais e ópticas são muito importantes (dependendo da energia do fóton ele se polariza e pode ser absorvido), o seu desempenho mecânico possui alta flexibilidade e elasticidade, superando em até 20 vezes a resistência dos aços de alto desempenho, segundo Troche (2007).

Segundo Souza Filho e Fagan (2007) os nanotubos de carbono, covalentes e não-covalentes, possuem uma gama muito vasta de propriedades físico-químicas, sendo muito utilizadas em numerosos mecanismos nanoestruturados com arquiteturas complexas e com funções altamente especializadas.

Zarbin e Oliveira (2013), elenca as várias possibilidades de potenciais aplicações dos nanotubos de carbono, abaixo algumas das mais importantes:

- compósitos: a mistura de nanotubos (de 0,01% até 20% em massa) com polímeros eleva nesses últimos as resistências mecânicas e químicas, aumenta a condutividade e outras propriedades térmicas.
- energia: são usados para armazenamento, conversão e transmissão de energia elétrica. Os Nanotubos de Carbono de Múltiplas Paredes (NTMP) são usados em baterias para aumentar a condutividade e resistência mecânica dos materiais do cátodo e ânodo, usados em supercapacitores, células solares orgânicas e flexíveis, como catalisadores em células de combustível.

- sensores e biossensores: sensores para gases, toxinas, fragmentos de DNA, fármacos e diversos tipos de biomoléculas.
- eletrônica: são usados como Transistores de Efeito de Campo, com desempenhos superiores aos transistores de silício, usados hoje. Podem ser usadas para substituir o cobre em circuitos de microeletrônica, aumentando a capacidade de corrente e aumentando a dissipação de calor nos circuitos eletrônicos.
- meio ambiente: podem ser usados para purificação e descontaminação de águas (como filtros e membranas) e como catalisador para oxidação de contaminantes.

Muitas das aplicações dos Nanotubos de Carbono são compartilhadas por outro nanomaterial, descoberto em 2004, por uma equipe da Universidade de Manchester, liderada pelo professor Andre K. Geim e K. Novoselov. Eles conseguiram isolar planos de grafite através da técnica de esfoliação com fita adesiva, descrita em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004).

Cada plano do grafite é constituído por uma rede bidimensional de carbono com estrutura hexagonal, devido à hibridização orbital  $sp^2$  do carbono. Essa estrutura foi chamada de Grafeno e já havia sido prevista teoricamente em 1947, pelo físico canadense Philip Russel Wallace, desde o estudo do grafite por cristalografia de raio-X, conforme Lima (2011).

Em termos estruturais os fulerenos, os nanotubos e a grafite têm algo em comum, pois são formados, ou derivados, da estrutura do grafeno. O grafeno é o nome dado a monocamada de carbono, de um átomo de espessura. É uma rede bidimensional constituída por uma estrutura hexagonal de átomos de carbono com hibridização  $sp^2$ , as quais as distâncias entre átomos é de aproximadamente  $1,42 \text{ \AA}$ .

A equipe de Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004) estava a procura de materiais que otimizassem o controle da corrente em escala do 1 nm, para a produção de dispositivos que trabalhassem com menores correntes elétricas e a altas frequências. Infelizmente, os dispositivos condutores ou semicondutores possuem um limitante quando são trabalhados nessa ordem de comprimento, causando tunelamento de corrente e tornando um transistor, por exemplo, inútil para uso em processamento de informações.

Para resolver esse problema de efeito de campo, foi pensado um material bidimensional condutor ou semicondutor que tivesse uma camada atômica de espessura, que podem oferecer um melhor controle dos portadores de cargas em suas superfícies em comparação com outros materiais tridimensionais.

Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004), conseguiu observar esse controle quando observava um material bidimensional que ocorre naturalmente, o Grafeno de Poucas Camadas (GPC) .

Os filmes de grafeno foram preparados por esfoliação mecânica (peeling repetido) de pequenos cubos de grafite pirolítico altamente orientado. Essa abordagem foi considerada altamente confiável e permitiu preparar filmes GPC de até  $10\ \mu\text{m}$  de tamanho. Filmes mais espessos ( $d \geq 3\ \text{nm}$ ) tinham até  $100\ \mu\text{m}$  de diâmetro e eram visíveis a olho nu. A figura 18 mostra exemplos dos filmes preparados, incluindo grafeno de camada única. Para estudar suas propriedades eletrônicas, os filmes foram processados em dispositivos multiterminais de barra Hall colocados em cima de um substrato de Si oxidado para que uma tensão de porta  $V_g$  pudesse ser aplicada. Foram estudados mais de 60 dispositivos com  $d < 10\ \text{nm}$ .

Nas palavras de Geim:

“Nós nos concentramos nas propriedades eletrônicas de nossos dispositivos mais finos (GPC), que continham apenas uma, duas ou três camadas atômicas. Todos os dispositivos GPC exibiram propriedades eletrônicas essencialmente idênticas características para um semimetal 2D, que diferiu de um comportamento mais complexo (2D mais 3D) observado para grafeno multicamada mais espesso, bem como das propriedades do grafite 3D.”

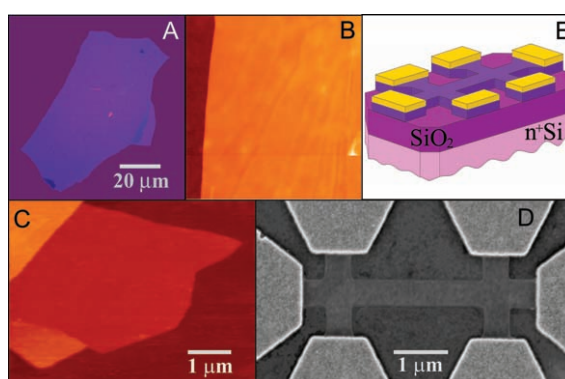


FIGURA 18 – Filmes de grafeno. (A) Fotografia (em luz branca normal) de um floco de grafeno multicamada relativamente grande com espessura  $\sim 3\ \text{nm}$  em cima de um wafer de Si oxidado. (B) Imagem do microscópio de força atômica (AFM) da área de  $4\ \mu\text{m}^2$  deste floco próximo à sua borda. Cores: marrom escuro, superfície  $\text{SiO}_2$ ; laranja, 3 nm de altura acima da superfície  $\text{SiO}_2$ . (C) imagem AFM de grafeno de camada única. Cores: marrom escuro, superfície  $\text{SiO}_2$ ; marrom-avermelhado (área central), 0,8 nm de altura; amarelo-marrom (canto inferior esquerdo), 1,2 nm; laranja (canto superior esquerdo), 2,5 nm. Observe a parte dobrada do filme perto do fundo, que apresenta uma altura diferencial de  $\approx 0,4\ \text{nm}$ . Para detalhes da imagem AFM de grafeno de camada única, consulte (15). (D) Imagem de microscópio eletrônico de varredura de um de nossos dispositivos experimentais preparados a partir de FLG. (E) Vista esquemática do dispositivo em (D). Ver em Geim, Novoselov, Morozov, Jiang, Zhang, Dubonos, Grigorieva e Firsov (2004)

Zarbin e Oliveira (2013), faz as seguintes observações:

“O grafeno foi o primeiro cristal bidimensional estável isolado, e seu longo sistema  $\pi$  conjugado, onde os elétrons estão confinados em duas dimensões, lhe confere propriedades excepcionais: os elétrons no grafeno se comportam como partículas relativísticas de massa zero, acarretando um efeito de Hall Quântico bastante anômalo, alta mobilidade eletrônica, e condutividade térmica e resistência mecânica similares as dos nanotubos de carbono.”

Estas propriedades do grafeno possuem grande aplicabilidade na eletrônica, como buscavam a equipe que isolou tais camadas desse nanomaterial.

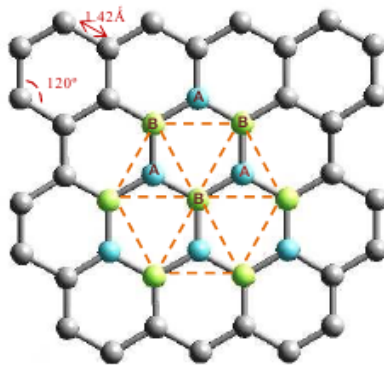


FIGURA 19 – Representação da estrutura hexagonal planar do grafeno análise das ligações  $sp^2$ . Ver em Lima (2011)

As teorias de Peierls e Landau *apud* Kirch (2014), afirmam que cristais bidimensionais como o grafeno não deveriam existir, por serem muito instáveis. O que justifica então, a existência desse material, são as fortes ligações de seus átomos de carbono que permitem essa estabilidade da estrutura cristalina.

Kirch (2014), descreve a estrutura do grafeno: "uma rede hexagonal com dois átomos na base (A e B), ver figura 20. Átomos vizinhos no grafeno estão separados por uma distância de ligação de 1,42 Å". E os vetores da rede são:

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}\hat{x} + \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{y}$$

$$\vec{a}_2 = -\frac{a}{2}\hat{x} + \frac{\sqrt{3}a}{2}\hat{y}$$

Onde  $a$  é o parâmetro de rede. Os vetores primitivos da rede recíproca do grafeno são:

$$\vec{b}_1 = \frac{2\pi\sqrt{3}}{3a}\hat{x} + \frac{2\pi}{a}\hat{y}$$

$$\vec{b}_2 = -\frac{2\pi\sqrt{3}}{3a}\hat{x} + \frac{2\pi}{a}\hat{y}$$

De modo que,  $\vec{a}_i \cdot \vec{b}_j = 2\pi\delta_{ij}$ .

Kirch (2014), descreve o comportamento eletrônico do grafeno através dos tipos de ligações resultantes da hibridização dos orbitais 2s e 2p, formando orbitais híbridos  $\sigma$  e  $\pi$ , onde o primeiro é responsável pela estrutura hexagonal, através de suas ligações dos átomos de carbono no grafeno, e o segundo tipo de orbital é responsável pela relação linear entre as energias e os momentos em torno do nível de Fermi.

“o espectro de energia dessa região é formado pelos estados  $\pi^*$  (banda de condução) e estados  $\pi$  (banda de valência). Esses dois estados tocam-se em seis pontos equivalentes na zona de Brillouin, sendo esses denominados pontos de Dirac. Como o contato entre as bandas de condução e de valência ocorre apenas nos pontos de Dirac, o grafeno é classificado como um semicondutor de *gap* zero, quando suas bandas de valência estão totalmente preenchidas. Próximo ao nível de Fermi, as bandas de energia podem ser descritas por uma função linear  $E(k) = \pm \hbar v_F k$ , onde  $v_F$  é a velocidade de Fermi. Essa relação de dispersão é semelhante à equação da energia relativística de Dirac, no entanto, a massa de repouso é nula e a velocidade é  $v_F$ . Os portadores de carga no grafeno são descritos por funções de onda de duas componentes, cada uma relacionada à respectiva subrede (A e B). Descrição semelhante é feita em sistemas de *spin* como, por exemplo, o gás de Férmions. Uma vez que possuem as propriedades de Férmions sendo descritos pela equação relativística de Dirac, os portadores de carga no grafeno acabam sendo denominados Férmions de Dirac.”

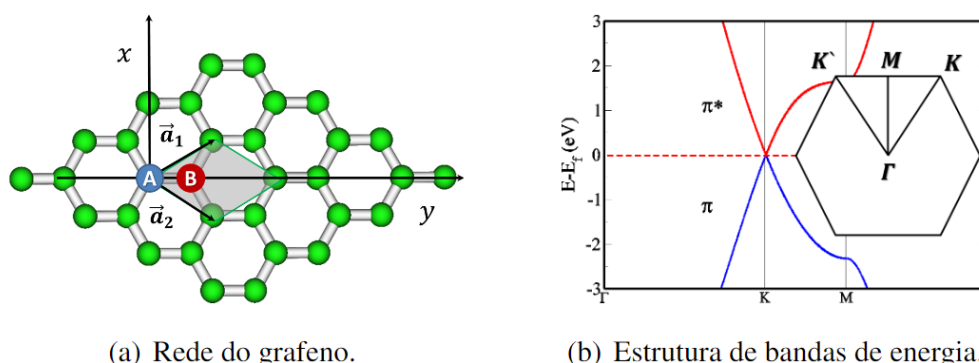


FIGURA 20 – (a) A rede do grafeno é uma hexagonal com dois átomos na base (A e B); (b) bandas de energia do grafeno no entorno do nível de Fermi ( $E_F$ ), resultante da interação entre os orbitais  $\pi$  de átomos de carbono vizinhos. Na parte direita do gráfico é apresentada a primeira zona de Brillouin do grafeno, destacando os pontos de alta simetria. Ver em Kirch (2014).

Para Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013), a elevada condutividade elétrica e térmica, combinada com sua resistência e flexibilidade e transparência, tornam o grafeno o material ideal para dispositivos eletrônicos flexíveis. Segundo o autor, já foram demonstrados que telas táteis e flexíveis já podem ser fabricados.

O grafeno, portanto, se mostra um excelente condutor, possibilitando criar equipamentos cada vez mais compactos, rápidos e eficientes, como visto anteriormente, em

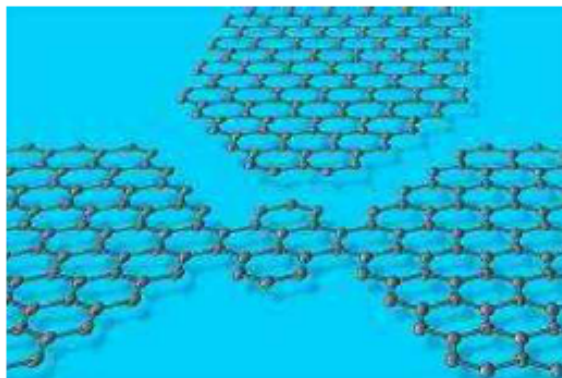


FIGURA 21 – Representação do transistor mais fino do mundo construído a partir de uma folha de grafeno. Ver em Lima (2011)

relação à aplicação dos nanotubos de carbono, o grafeno possibilitou a criação em laboratório de supercapacitores, que podem ser empregados em baterias, com capacidade de carregar mil vezes mais rápido que as baterias atuais, conforme o artigo Tecnológica (2014).

No grafeno, a velocidade dos elétrons é independente da energia. Ou seja, os elétrons se movem como se fossem ondas de luz; eles se comportam como se fossem partículas sem massa (*Ibid.*).

Para Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013), o grafeno pode ser usado como um suporte para nanopartículas metálicas (Au, Pt) ou semicondutoras ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ ) ou mesmo em reações catalíticas, onde segundo o autor:

“Estes catalisadores apresentaram uma elevada atividade fotocatalítica para degradação e mineralização de poluentes orgânicos quando utilizada radiação UV-Vis e radiação visível, reflexo da capacidade do grafeno para melhorar a separação de carga nos semicondutores, e também facilitar o transporte de elétrons”.

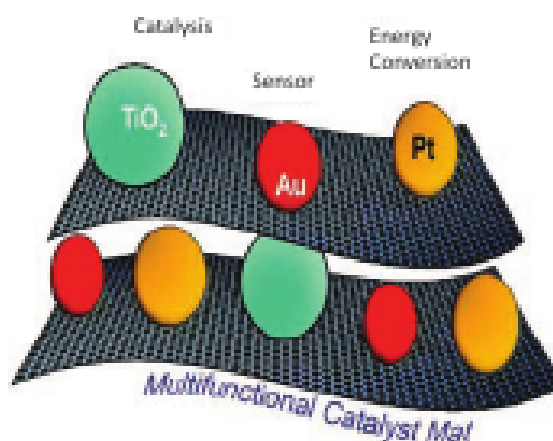


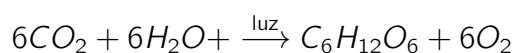
FIGURA 22 – Ilustração esquemática do compósito de grafeno com metais e óxidos de metais. Ver em Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013)

O grafeno funciona com um suporte para aumentar a área eletrocatalítica em

células de combustível assim como em outros sistemas de conversão de energia. Verificou-se também que a dispersão de nanopartículas semicondutoras em grafeno melhora o desempenho de células fotovoltaicas, afirma Pastrana-Martínez, Morales-Torres, Gomes e Silva (2013).

#### 1.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia é um campo de estudo novo e com possibilidades imensas, mas ela não é nova. A Terra, vem cozinhando, criando e reciclando nanomateriais a aproximadamente 3,8 bilhões de anos. Criando materiais e moléculas que possuem a mais variada utilidade para ela e para a vida, como as moléculas que realizam a fotossíntese, que aproveita a energia solar para a quebra do gás carbônico, transformando parte em glicose (energia armazenada) que servirá para as plantas, algas e outros organismos realizarem seus processos físico-químico-biológicos, e parte em oxigênio, num processo de respiração, onde se fixa o carbono na planta, por exemplo, e libera o oxigênio conforme a fórmula química:



Esse processo é realizado pela molécula de clorofila, e é bastante conhecido pelos cientistas, o que não se consegue é reproduzi-lo com a mesma eficiência com que esses organismos o fazem, pelo menos 3,5 bilhões de anos, para que nós a usemos para a coleta de energia solar ou usá-la para a coleta do carbono excedente na atmosfera, provocada pela queima de combustíveis fósseis, que provoca um aumento no Efeito Estufa no nosso planeta, causando alterações em todo o seu clima.

Outro exemplo, observado na natureza, são os flagelos de alguns tipos de bactérias, motores bio-moleculares que giram a mais 10.000 rpm.

Segundo Róz, Leite, Ferreira e Júnior (2015):

“O motor de flagelos é impulsionado por um fluxo de próton causado pelas diferenças de potências eletroquímicas através da membrana. O diâmetro dos rolamentos é de aproximadamente 20 a 30 nm, com uma folga de cerca de 1 nm.”

Com a criação da nanociência e da nanotecnologia, o ser humano está tentando copiar tais processos e nanodispositivos, o que é chamado de **biomimética**, termo definido por Otto Schmitt em 1957, que consiste em desenvolver projetos inspirados na biologia. Apesar de ser um termo relativamente novo, nós tentamos copiar/aproveitar algumas características de outros seres vivos ou de processos existentes na natureza desde sempre, como a ponta afiada de uma lança, uma armadura, a fabricação de tecidos ou qualquer coisa reproduzível que provoquem o interesse comercial.



Como o mecanismo de fixação das patas de uma lagartixa, formada por estruturas nanométricas, que podem ser aproveitadas para a criação de fitas adesivas que não deixam resíduos, ou a superfície de algumas plantas que possuem nanomateriais com propriedades que repelem a água (hidrofobia) sendo autolimpantes.

Outro exemplo encontrado na natureza e de grande potencial de uso, são as conchas, as quais são nanocompósitos naturais com estrutura laminada que apresentam propriedades mecânicas superiores (*Ibid.*). O osso, que é uma estrutura porosa feita de cálcio (carbonato e fosfato) apresenta propriedades elásticas e plásticas que lhe permitem desempenhar funções de proteção e sustentação. Essas características, tanto das conchas quanto dos ossos, são de grande interesse da indústria da construção civil, ao poder nos permitir criar estruturas mais leves e de maior resistência mecânica. Essas estruturas são criadas naturalmente na natureza, resta conseguirmos reproduzi-las, com a mesma eficiência e em larga escala, para o uso em nosso benefício.

Placas solares feitas de nanomateriais que absorvem e transformam a energia solar com maior eficiência, sensores, que imitam nossos sentidos, como a visão, olfato, paladar e tátil, já são construídos com nanomateriais e nanodispositivos.

Quando replicarmos e melhorarmos o mecanismo de autocura dos sistemas biológicos, poderemos acelerar a recuperação de tecidos de dentro para fora, como já ocorre naturalmente. Um exemplo, que já está em prática é a pele sintética, criada a partir de materiais autoestruturantes.

Para que esta tecnologia tenha uma melhor divulgação e desenvolvimento aqui no Brasil, há a necessidade de mais investimentos em pesquisas nessa área, bem como na educação, para haver a possibilidade de que novos cientistas sejam formados e possam continuar com esse desenvolvimento.

O trabalho de transformar esses novos conhecimentos e apresentá-los à sociedade é atribuída aos professores, que terá o trabalho de compreender os novos conhecimentos e transformá-los em material instrucional (Transposição Didática), fazendo o uso de novas tecnologias e métodos educacionais, capazes de despertar a criatividade e a autonomia, tão necessária para o desenvolvimento cognitivo, afetivo, moral e ético, ou seja, habilidades e competências, que os futuros cientistas deverão possuir para a criação e exploração de novas tecnologias.

## 2 O MÉTODO PEER INSTRUCTION

### 2.1 INTRODUÇÃO

O *Peer Instruction* é classificado como uma metodologia ativa de aprendizagem, pois se utiliza de uma breve explanação pelo professor, de testes conceituais e interação entre os alunos de modo que cada um tente convencer o outro a mudar sua resposta, ou seja, promove uma discussão entre os mesmos.

Consiste na preparação, pelo professor, de um texto base, que será fornecido previamente para leitura pelos alunos. O texto contém os conceitos-chave que serão apresentados na palestra que será ministrada pelo mesmo. Simultaneamente, o professor deve preparar o ambiente para haver a interação professor-aluno e aluno-aluno. Ou seja, para realizar o teste conceitual, o professor deve preparar um ambiente que pode ser virtual, com as diversas ferramentas disponíveis (Plickers, Google Forms, Ms Formulário, Kahoot, Socrative, etc.), tais ferramentas dão um feedback imediato ao professor, ou mesmo utilizando cartões resposta que o aluno levanta e o professor deve realizar a aferição e registro das respostas.

### 2.2 ASPECTO HISTÓRICO

O professor Eric Mazur concebeu sua técnica, a qual chamou de *Peer Instruction* (PI), após ter seu método didático (método tradicional) confrontado pelo resultado do teste *Force Concept Inventory* (FCI), que apontou que os estudantes de nível introdutório de Física vinham com pré-concepções que o método tradicional não consegue transformar, segundo Müller, Araujo, Veit e Schell (2017).

Empenhado em mudar essa situação, Mazur buscou na pedagogia centrada nos aprendizes (*learner-centered-teaching*) – onde o estudante tem papel ativo e central no seu processo de aprendizagem – os elementos para a criação de seu método, o *Peer Instruction*, no início da década de 1990, cujo foco principal é a discussão dos conceitos de física sem afetar a capacidade de resolução de problemas pelos alunos.

### 2.3 O MÉTODO PEER INSTRUCTION

A estrutura do método PI apresenta as seguintes etapas:

1. Uma curta apresentação oral sobre os elementos centrais de um dado conceito ou teoria é feita por cerca de 20 minutos.

2. Uma pergunta de múltipla escolha, geralmente conceitual, denominada Teste Conceitual, é colocada aos alunos sobre o conceito (teoria) apresentado na exposição oral.
3. Os alunos têm entre um e dois minutos para pensarem silenciosamente sobre a questão apresentada
4. Os estudantes registram suas respostas individualmente e as mostram ao professor usando algum sistema de respostas (por ex., *clickers* ou *flashcards*).
5. De acordo com a distribuição de respostas, o professor pode passar para o passo seis (quando a frequência de acertos está entre 35% e 70%), ou diretamente para o passo nove (quando a frequência de acertos é superior a 70%).
6. Os alunos discutem a questão com seus colegas por um a dois minutos.
7. Os alunos registram sua resposta revisada e as mostram ao professor usando o mesmo sistema de respostas do passo 4.
8. O professor tem um retorno sobre as respostas dos alunos a partir das discussões e pode apresentar os resultados para os alunos.
9. O professor então explica a resposta da questão aos alunos e pode ou apresentar uma nova questão sobre o mesmo conceito ou passar ao próximo tópico da aula, voltando ao primeiro passo.

O PI é muito similar ao *Think-Pair-Share* (TPS), onde o professor apresenta uma questão de múltipla escolha, ou problema, e os alunos têm um tempo para desenvolver suas respostas individuais (*Think*), depois os alunos comparam suas respostas com os colegas (*Pair*) e só então apresentam suas respostas ao professor (*Share*) (*Ibid.*).

No diagrama abaixo é apresentado, em forma de fluxograma, a estrutura de uma aula em PI.

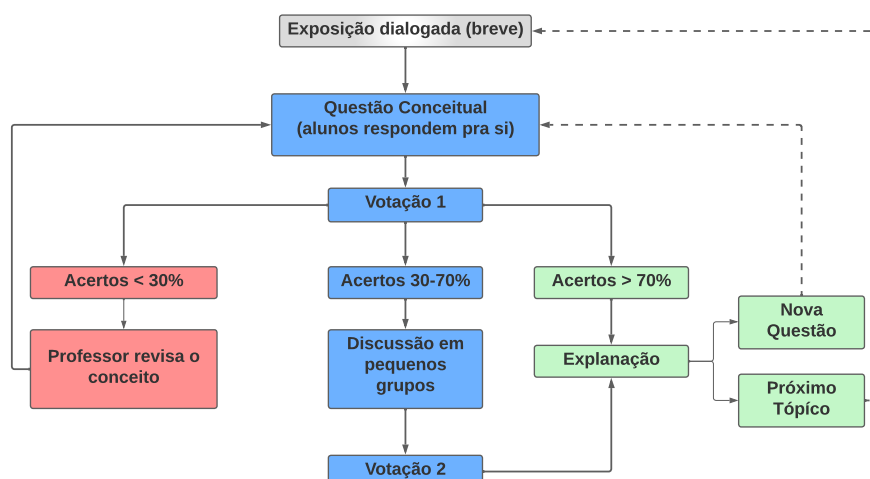


FIGURA 23 – Diagrama de uma aula *Peer Instruction*, adaptado de Mariotto, Chicon, Rosa, Quaresma, Beatriz e Garcês (2022)

Nas etapas 4 e 7, os alunos podem usar a tecnologia a favor no processo de apresentação das respostas ao professor. Utilizando o celular com internet (o professor deve verificar se todos os alunos têm acesso à internet e aos aparelhos necessários antes de iniciar as atividades), o professor pode elaborar suas questões usando as ferramentas disponíveis na internet, como o Google Formulários e o Microsoft Formulários, entre outras ferramentas para criar quizzes, que dão um feedback imediato ao seu trabalho, de tal modo que este consiga avaliar as dificuldades dos alunos e dar sequência ao desenvolvimento de sua aula em PI.

Para a preparação de uma aula em PI, o professor deve elaborar tarefas prévias, que consistem em passar como atividade a leitura prévia de seções ou capítulos de livros sobre os assuntos que serão tratados em sala de aula, fazendo com que os alunos observem os exemplos resolvidos e o desenvolvimento algébrico das equações que seriam desenvolvidas em sala de aula, mas seriam retiradas na aula PI para dar lugar a discussão entre os alunos. Tais tarefas de leitura prévia são potencializadas como o método *Just-in-Time Teaching (JiTT)*, que dá um feedback das dificuldades dos alunos de forma que o professor possa preparar sua aula para sanar estas dificuldades (*Ibid.*).

## 2.4 MELHORIA NO APRENDIZADO DO ALUNO

Um estudo realizado por Crouch e Mazur (2001), com dados coletados de colegas que aplicavam o PI em suas aulas, durante a década de 1990, eles observaram uma melhoria no aproveitamento dos alunos com a aplicação do método em relação ao método tradicional. Tal melhoria ficou mais acentuada com o refinamento do método e melhor escolhas para os testes de conceito. Eles descrevem os elementos melhorados e os resultados que alcançaram com essas mudanças.

Eles melhoraram a aplicação do PI com as seguintes alterações, elencadas ano por ano: 1993-94 - refinaram o conjunto de Testes de Conceitos e a estratégia de questionamento/discussão em sala de aula. 1996 - introduziram tarefas de leitura, com respostas livres, para incentivar a leitura prévia dos materiais instrucionais. Introduziram a aprendizagem cooperativa, segundo Reis e Amato Neto (2012), onde os alunos trabalham em grupo para discutir, desenvolver projetos, resolver problemas e compartilhar conhecimentos. 1998 - Melhoraram as atividades de leituras atribuídas.

Esses elementos sempre podem ser melhorados para que a incorporação de novas atividades, que façam o aluno pensar sobre o tema e buscar as respostas para os problemas sugeridos, tanto no material instrucional, quanto no colega, o qual é o elemento central desta metodologia.

Com essas mudanças, Crouch e Mazur (2001) relatam o que melhorou no aprendizado dos alunos utilizando os resultados de cinco professores ao longo de sete anos de aplicação.

1. *Domínio Conceitual*: Utilizando o Ganho de Hake, desenvolvido por Hake (1998), para fazer a análise dos resultados de pré e pós-testes e comparar com o método tradicional, eles observaram que o ganho médio quase quadruplica de 1990-1997, com o uso contínuo e com as melhorias adicionais, ver figura ??.
2. *Resolução quantitativa de problemas*: A resolução de problemas não é enfatizada em uma aula PI, elas são feitas em seções de discussão e por resolução de tarefas em casa. Crouch e Mazur (2001), descrevem que, no curso baseado em cálculo, houve um aumento de 66%, em 1990, para 72%, em 1991, utilizando o método tradicional e com a introdução do PI esse aumento chegou a 79% em 1997. Já quando as questões envolviam conhecimento algébrico, eles verificaram que o aumento foi de 62% para 66% quando mudaram das aulas tradicionais para aulas em PI.
3. *Desempenho nos Testes de Conceito*: eles observaram que as respostas corretas nos Testes de Conceito aumenta substancialmente, desde que o percentual de respostas corretas à primeira aplicação do teste esteja entre 35% e 70%, e há uma maior melhoria quando esta faixa parte dos 50%. Isso ocorre, pois os alunos nessa faixa de acerto acabam por influenciar, durante o debate entre os colegas, os que estavam errados, levando estes a corrigirem suas respostas na segunda aplicação do teste.

Devemos destacar, que este estudo realizado por Crouch e Mazur (2001) já tem mais de vinte anos, e o método teria sofrido algumas modificações, como o próprio estudo sugere que devam ser feitos. Tais modificações foram estudadas, mais recentemente por Petter, Espinosa e Araujo (2021), que observaram nos Mestrados Profissionais em Ensino

de Física como os professores (pesquisadores) aplicavam o método e faz um comparativo com estudos norte-americanos.

## 2.5 IMPLEMENTAÇÃO

Com as novas implementações, já citadas na seção acima, os autores (Crouch e Mazur (2001)) listam outros ganhos com a aplicação do PI em elementos do ensino-aprendizagem.

- A. Incentivos a leitura: com a mudança para uma leitura prévia antes das aulas, os alunos passam a se concentrar nos elementos mais importantes e difíceis dessa leitura, para isso o professor deverá utilizar questionários ou uma atividade online que sirva de incentivo a leitura, fazendo os alunos lerem o material e, com as respostas das atividades o professor baseia sua explanação, buscando sanar as deficiências evidenciadas nas atividades de leitura. Para tais atividades de leitura, os autores consideraram o Método *Just-in-Time*, consistindo em três perguntas de resposta livre e aplicadas preferencialmente de forma online (utilizando as ferramentas apropriadas ou as que se encontram disponíveis), que devem ser respondidas antes da aula. As duas primeiras perguntas explora os conceitos mais difíceis da leitura indicada e o terceiro questiona sobre a leitura, pedindo que se evidencie o que foi mais difícil, ou confuso, ou o mais interessante sobre o texto lido.
- B. Atividades de cooperação em seções de discussão: as atividades de cooperação fazem parte de muitas metodologias de ensino, elas são utilizadas no PI durante as seções de discussão para melhorar o desempenho dos alunos com menores índices de acertos nos Testes de Conceito.
- C. Resolução quantitativa de problemas: O método PI não visa a melhoria na resolução de problemas, mas da melhoria de assimilação dos conceitos. Mas para contribuir com as resoluções de problemas, o professor deverá realizar aulas de resolução de problemas e fornecer aos alunos problemas quantitativos para que estes resolvam em casa, nesse aspecto o PI é parecido com o método tradicional.
- D. Motivação do aluno: O professor que começar a adotar um método ativo como o PI, além de se motivar a permanecer utilizando tais metodologias, o professor deve procurar motivar os seus alunos a continuarem a procurar ativamente o conhecimento. A motivação assume duas formas - avaliar os alunos com base na compreensão conceitual, não apenas na resolução tradicional de problemas, e definir o tom certo na aula desde o início, inclusive explicando as razões para ensinar dessa maneira. Conhecer o que o aluno sabe sobre o assunto, deixa claro que o professor se importa

com a compreensão conceitual, bem como facilitar que o aluno tenha acesso às informações (tabelas, equações, etc.) durante uma avaliação, de modo que o foco não seja a memorização delas e sim a resolução dos problemas propostos, ajuda e muito na motivação dos alunos.

- E. Seleção dos Testes de Conceito: os testes de conceito são fundamentais para o sucesso da aplicação de uma aula em PI, por isso eles devem ser escolhidos conforme os objetivos pretendidos, devendo trabalhar o raciocínio baseados nos conceitos mais importantes de uma aula/tópico. Sendo assim, as questões devem ser de múltipla escolha e as respostas incorretas dessas questões devem ser plausíveis ou baseadas nos erros mais comuns cometidos pelos alunos. As perguntas abertas podem ser elaboradas, mas essas precisariam de uma estratégia mais específica para a coleta, análise e discussão das respostas.
- F. Gerenciamento de tempo: A aplicação de uma aula em PI, leva no mínimo 1/3 do tempo para a aplicação do Teste de Conceito, variando de aula para aula e dependendo da dificuldade e do tópico a ser trabalhado, o restante consiste nas palestras sobre os tópicos abordados. Isso toma tempo, que muitas vezes o professor não possui, e que acaba forçando o professor a escolher os assuntos mais relevantes para lecionar. Dentro e fora da sala de aula, os alunos devem procurar seguir as orientações do professor, principalmente em sala, para o tópico ser finalizado no tempo programado pelo professor. Fora da sala, os alunos devem se organizar para darem conta de todas as atividades passadas pelos seus professores, e para darem atenção devida ao material instrucional preparado pelo professor que usa PI como metodologia e para a resolução de suas atividades de leitura.

## 2.6 GANHO DE HAKE

Para a análise dos resultados de pré e pós-testes, antes e após a aplicação do Método *Peer Instruction*, Crouch e Mazur utilizaram o Ganho de Hake Normalizado, este método de avaliação de desempenho de aprendizagem vem sendo utilizada por quase quarenta anos. Ele permite verificar o ganho de aprendizagem entre um pré-teste e um pós-teste, logo após a aplicação de um método de ensino para um mesmo tópico, tornando-se assim uma ferramenta para comparação de utilização de metodologias de ensino nos diferentes níveis de ensino, para Galhardi e Azevedo (2013).

O Ganho de Hake normalizado  $g$ , é a razão entre o ganho apurado pelo aluno, e o valor máximo possível com base em nas avaliações, pré-teste (pT) e pós-teste (PT) as

quais são idênticas e na forma de teste de múltipla-escolha. É dado pela fórmula abaixo.

$$g = \frac{PT\% - pT\%}{100\% - pT\%}$$

Essa análise de resultados se mostra como uma boa avaliação quando aplicadas nos conceitos da Física e com o uso de Metodologias Ativas de Ensino, conforme Galhardi (*Ibid.*).

O método Peer Instruction é uma metodologia que pode tornar menos dificultosa a passagem do método tradicional para o método ativo, pois ele usa os elementos dos dois, sem tirar o professor totalmente do controle. E para a análise dos resultados da aplicação de uma aula em PI, usaremos o Ganho de Hake, que mostra numericamente o ganho no aprendizado dos alunos e ajuda a identificar os possíveis gargalos no método ou no material a ser aplicado em sala de aula.

Para o nosso produto educacional, que será descrito e analisado no próximo capítulo, estes dois métodos serão de grande ajuda para aplicação e análise dos resultados obtidos pelos alunos ao serem submetidos a aulas em PI.





### 3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

O tema abordado pelo nosso produto educacional é A História da Nanotecnologia, este é um tema atual e faz parte da Física Moderna e Contemporânea. E por sua relevância, pois está presente em diversos dispositivos, desde computadores, TVs, smartphones, até roupas e calçados, foi sugerido como objeto de aprendizagem que será apresentado nesse Produto Educacional. Um objeto de aprendizagem deve servir para a atualização curricular, o que é sugerido pelos Parâmetros Curriculares Nacionais e pelo BNCC.

A nanotecnologia está presente em vários os dispositivos eletrônicos que utilizamos no dia-a-dia, como o celular, o computador, as novas TVs, e em diversos dispositivos *smart* (*smartphones e smartwatches*), entender como foi pensada, planejada e criada essa nova tecnologia é essencial para o seu uso correto e seu descarte também. Pensando nisso, foi elaborada a estruturação de uma sequência didática, baseada em Peer Instruction, para a apresentação de alguns conceitos relacionados ao tema e o histórico de como ela surgiu. Sendo assim, a sequência será dividida em 3 aulas de aproximadamente 48 min. Que será apresentado por planos de aula, que podem ser aplicados tanto em sala de aula ou em uma aula online, utilizando as ferramentas sugeridas neste produto e as ferramentas de videoconferência, como o Google Meet, o Microsoft Teams ou outro de sua preferência.

Para a utilização em sala de aula, o professor deverá garantir que os alunos tenham acesso à internet, pois o quiz sugerido e que será utilizado nas sequências didáticas foram elaboradas com ferramenta online. O ideal será o professor ter acesso a um laboratório de informática, com todos os recursos audiovisuais e com computadores suficientes para todos os seus alunos, de maneira que tudo ocorra conforme o planejado nas sequências didáticas.

Caso isso ainda não seja uma realidade, o professor pode tentar garantir acesso à internet para alguns alunos, utilizando de sua própria internet e distribuindo seu sinal do seu celular ou pedindo para os alunos, que tenham acesso à rede, o façam para os colegas poderem participar, garantindo que durante a aplicação todos consigam responder ao quiz.

Outros caminhos para uma boa aplicação do método PI, serão tratadas nas considerações finais deste documento.

Para garantir que o professor não se perca durante a aplicação do método, será apresentado aqui a sua estrutura de funcionamento e um diagrama resumindo a aplicação de uma aula, seja de um tópico ou um conteúdo mais elaborado. Lembrando ao professor que, trabalhar por tópicos torna mais simples o controle dos conceitos a serem transmitidos e a sua captação pelos alunos.

### 3.1 O MÉTODO *PEER INSTRUCTION*

A estrutura do método PI apresenta as seguintes etapas:

1. Uma curta apresentação oral sobre os elementos centrais de um dado conceito ou teoria é feita por cerca de 20 minutos.
2. Uma pergunta de múltipla escolha, geralmente conceitual, denominada Teste Conceitual, é colocada aos alunos sobre o conceito (teoria) apresentado na exposição oral.
3. Os alunos têm entre um e dois minutos para pensarem silenciosamente sobre a questão apresentada
4. Os estudantes registram suas respostas individualmente e as mostram ao professor usando algum sistema de respostas (por ex., clickers ou flashcards).
5. De acordo com a distribuição de respostas, o professor pode passar para o passo seis (quando a frequência de acertos está entre 35% e 70%), ou diretamente para o passo nove (quando a frequência de acertos é superior a 70%).
6. Os alunos discutem a questão com seus colegas por um a dois minutos.
7. Os alunos registram sua resposta revisada e as mostram ao professor usando o mesmo sistema de respostas do passo 4.
8. O professor tem um retorno sobre as respostas dos alunos a partir das discussões e pode apresentar os resultados para os alunos.
9. O professor então explica a resposta da questão aos alunos e pode ou apresentar uma nova questão sobre o mesmo conceito ou passar ao próximo tópico da aula, voltando ao primeiro passo.

O PI é muito similar ao *Think-Pair-Share* (TPS), onde o professor apresenta uma questão de multipla escolha, ou problema, e os alunos têm um tempo para desenvolver suas respostas individuais (Think), depois os alunos comparam suas respostas com os colegas (Pair) e só então apresentam suas respostas ao professor (Share) [Ibid.].

No diagrama abaixo é apresentado, em forma de fluxograma, a estrutura de uma aula em PI.

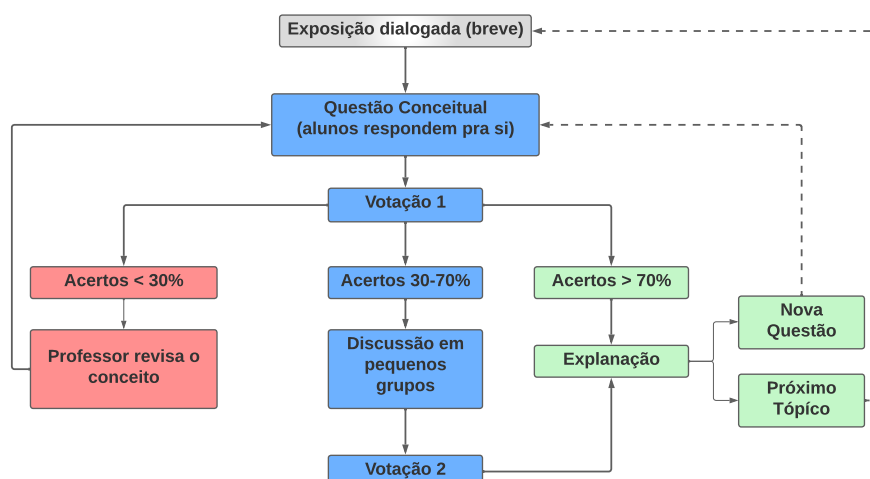


FIGURA 24 – Diagrama de uma aula *Peer Instruction*, adaptado de (MARIOTTO; CHICON; ROSA; QUARESMA; BEATRIZ; GARCÊS, 2022)

Nas etapas 4 e 7, os alunos podem usar a tecnologia a favor no processo de apresentação das respostas ao professor. Utilizando o celular com internet (que quase todos os alunos possuem), o professor pode elaborar suas questões usando as ferramentas disponíveis na internet, como o Google Formulários e o Microsoft Formulários, entre outras ferramentas para criar quizzes, que dão um feedback imediato ao seu trabalho, de tal modo que este consiga avaliar as dificuldades dos alunos e dar sequência ao desenvolvimento de sua aula em PI.

Para a preparação de uma aula em PI, o professor deve elaborar tarefas prévias, que consistem em passar como atividade a leitura prévia de seções ou capítulos de livros sobre os assuntos que serão tratados em sala de aula, fazendo com que os alunos observem os exemplos resolvidos e o desenvolvimento algébrico das equações que seriam desenvolvidas em sala de aula, mas seriam retiradas na aula PI para dar lugar a discussão entre os alunos. Tais tarefas de leitura prévia são potencializadas como o método *Just-in-Time Teaching* (JiTT), que dá um feedback das dificuldades dos alunos de forma que o professor possa preparar sua aula para sanar estas dificuldades [Ibid.].

### 3.2 PLANO DE ENSINO

O presente plano de ensino foi elaborado visando servir de orientador na execução do Produto Educacional, e melhorar o desempenho do professor nessa tarefa.

A Pandemia de Covid-19 provocou muitas mudanças na vida e no trabalho das pessoas, para os professores não foi diferente. Durante o agravamento da Pandemia, se viram obrigados a lecionar através do uso das TICs, videochamadas, criação de slides com material a ser ensinado, grupos de WhatsApp e tantas outras ferramentas, forçaram o professor a se capacitar para essa nova forma de ensinar que o cenário exigia.

A busca por novas metodologias de ensino, que fizessem com que os alunos fossem mais participativos durante essas aulas, virou uma obrigação maior ainda para o professor, que muitas vezes se via falando só durante essas aulas online.

Esse Produto Educacional, aqui proposto, traz uma dessas metodologias: O Peer Instruction (Instrução por Pares ou Colegas), que aliado é uma aliada a tecnologia, usando recursos como Quizes, videoaulas disponíveis na internet, pesquisas direcionadas, e outros recursos didáticos que o professor pode fazer curadoria. No caso deste documento, foram utilizados para elaboração do Plano de Ensino, o computador, data show, os aplicativos Quizizz (Manual de Uso e indicação de videoaula ensinando seu uso está disponível no Anexo A), o App WhatsApp (para a comunicação com os alunos), e o texto compilado do capítulo 1 deste Produto Educacional, resumido e organizado em formato de Artigo científico em duas colunas, que facilita a leitura nas telas dos dispositivos móveis (smartfones).

O plano de ensino abaixo, segue os passo-a-passo do Método Peer Instruction, a qual é uma metodologia ativa, que exige que o professor esteja sempre atento aos detalhes. Ela se desdobra em 9 passos, que podem ser consultados na seção 3.1 deste capítulo e, se necessário, o professor pode recorrer ao Diagrama dos Passos do Método, na mesma seção.

# Produto Educacional: ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA UTILIZANDO O MÉTODO PEER INSTRUCTION

## Plano de Ensino: A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

Prof. Erickson Morais de Medeiros

<b>Instituição de Ensino:</b> Escola Estadual Prof. <sup>a</sup> Eunice Serrano Telles de Souza
<b>Componente Curricular:</b> Física
<b>Professor:</b> Erickson Medeiros
<b>Série:</b> 3º ano do Ensino Médio
<b>Bimestre:</b> 4º Bimestre
<b>Carga horária:</b> 144 minutos (3 aulas de 48 minutos)
<b>Metodologia:</b> Peer Instruction ou Instrução por Pares ou Instrução por Colegas
<b>Recursos:</b> Computadores e/ou <i>Smartfones e Datashow</i> Internet Apps Quizizz e WhatsApp Texto sobre a História da Nanotecnologia (disponível no Apêndice A deste Produto Educacional) Manual do Quizizz para o professor aprender a manusear a ferramenta (disponível no Anexo A deste Produto Educacional.)
<b>Ano letivo:</b> 2022

## Aula 1: Explicação sobre o Método Peer Instruction

Aula 1: Explicação sobre o Método Peer Instruction		
<b>Duração estimada:</b>	48 minutos / 1 tempo de aula (SEDUC/AM)	
<b>Objetivos:</b>	Geral:	Esclarecer sobre a utilização do método Peer Instruction (PI).
	Específicos:	<p>Explicar aos alunos o conceito do método Peer Instruction.</p> <p>Motivar os alunos a realizarem as atividades sugeridas, a atividade de leitura e a interação durante a aplicação da metodologia, alertando para a importância desta última.</p> <p>Organizar grupos de interação através do App WhatsApp.</p> <p>Cadastrar os alunos na plataforma Quizizz para que possam responder aos Quizes (Pré-teste e Pós-Teste) e na aplicação do Teste de conceito durante a aula em PI.</p>
<b>Roteiro da Aula:</b>		
Tempo estimado:	Atividades	
	Professor	Alunos
13 minutos	<p>Nesta aula o professor deve conhecer bem a importância do uso do método, descrevendo as etapas que serão utilizados (ver capítulo 2 deste produto educacional), explicar que o tempo é um fator importante para que o tópico seja adequadamente explorado em sala aula.</p> <p>O professor deve chamar a atenção para os prazos estipulados, tanto para a entrega da atividade de leitura, quando durante a aplicação do método em sala de aula: tempo de exposição do conteúdo, para a resolução do primeiro teste de conceito, discussão em grupos, resolução do segundo teste de conceito e da explicação final.</p> <p>O professor deve avisar que poderá reservar um tempo a mais para a reaplicação do método caso a primeira tentativa de resolução do Teste de Conceito não atinja a média mínima esperada para serem feitos os debates entre os alunos (30%), tendo que refazer todos os etapas do PI, se utilizando de outros exemplos e elaborando outras proposições. Se tudo correr nos prazos, esse tempo reserva pode ser utilizado para aplicação de outro Teste de Conceito, com questões diferentes, desde que haja tempo para essa aplicação.</p>	<p>Tirar dúvidas, com o professor, sobre as os pontos que não foram bem compreendidos da aplicação desta nova metodologia.</p> <p>Ajudar o professor na criação dos grupos de interação no WhatsApp.</p> <p>Responder as questões do Pré-teste, garantindo que não consulte as informações com seus colegas ou em outro meio de consulta (não precisa colar), para que a informação do que ele <b>não sabe</b> seja a mais pura possível.</p>
15 minutos	O professor sugere a criação de um grupo no WhatsApp, ou Telegram, ou outra rede social que ele achar necessário, podendo utilizar inclusive do Google Classroom, para criar o meio de interação e coleta de respostas dos alunos e por onde ele irá passar o material de leitura e a Atividade de Leitura a ser realizada pelos alunos. Nesse tempo, o professor deve orientar o seus alunos a se inscreverem na plataforma Quizizz, seguindo manual disponibilizado aqui nesse produto (Anexo A).	Atividade de Leitura: Para a atividade de leitura o professor pode sugerir que os alunos façam uma Linha do tempo, pois o texto trata sobre o desenvolvimento histórico da Nanotecnologia, indicando as datas, os atores e suas descobertas. Para orientar leitura, o professor deve sugerir três questões:
15 minutos	O professor, também deverá aplicar o Pré-teste sobre A História da Nanotecnologia, disponível no Apêndice A deste Produto educacional.	<p>O que é a Nanotecnologia e em que ela afeta a sua vida?</p> <p>Qual a relação entre o desenvolvimento dos Microscópios e o desenvolvimento da Nanotecnologia?</p> <p>Evidencie o que foi mais difícil, ou confuso, ou o mais interessante sobre o texto lido.</p> <p>Esta atividade deve ser enviada através do WhatsApp ou qualquer outro meio sugerido pelo professor, no prazo máximo de duas horas antes do início da aula 2.</p>
5 minutos (finais, se houver)	<p>O professor orienta mais uma vez sobre a importância da leitura do material que será disponibilizado pelos grupos de WhatsApp, e orienta para a realização da Atividade de Leitura do material impresso (impresso com antecedência pelo professor), que também o envia em formato pdf para eles no grupo de discussão, pelo aplicativo escolhido.</p> <p>Caso não haja tempo para orientar sobre a Atividade de Leitura, durante a aula, o professor poderá fazê-lo pelo grupo de WhatsApp criado para a distribuição das atividades e discussões iniciais.</p> <p><b>Observações:</b> O texto do Apêndice A, deste produto é um material destacável, podendo ser impresso somente suas páginas ou separado com o auxílio de um bom App de leitura de arquivos PDF.</p>	

## Aula 2: A História da Nanotecnologia

Aula 2: A História da Nanotecnologia		
<b>Duração estimada:</b>	48 minutos / 1 tempo de aula (SEDUC/AM)	
<b>Objetivos:</b>	Geral:	Mostrar que a ciência é uma atividade humana, portanto, evolui num contexto histórico e social
	Específicos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Esclarecer o conceitos vistos pelos alunos na leitura previa do material que lhes foi enviado.</li> <li>● Evidenciar que a ciência e a tecnologia andam juntas e que são uma construção humana.</li> <li>● Mostrar que a Nanotecnologia está presente no cotidiano dos alunos, relacionando os conceitos e dispositivos com os aparelhos que eles utilizam no dia-a-dia.</li> </ul>
<b>Roteiro da Aula: Cada etapa segue o roteiro de uma Aula em Peer Instruction.</b>		
Etapa / Tempo estimado	Atividade	
	do Professor	dos Alunos
<p><b>PREPARAÇÃO e OBSERVAÇÕES IMPORTANTES</b></p> <p>Até 2 h antes da aula</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● O professor receberá o material elaborado pelos alunos, procurando identificar os erros cometidos por eles. Esses <b>erros servirão de orientador para a aula</b> expositiva do professor, que deverá procurar elucidar cada um deles, sanando o problema.</li> <li>● O <b>aplicativo sugerido</b> para a aplicação desse Teste de Conceito (Etapas 2, 3 e 4) é o <b>Quizizz</b>, mas o professor poderá utilizar outro de sua preferência, tomando o cuidado para que um aluno não veja a resposta do outro nessa primeira parte, pois poderá influenciar sua resposta. <b>Outro ponto, é que o aluno não saiba se errou ou acertou a questão. Para que a discussão (Etapa 6) seja de ideias, tentando achar a resposta correta.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar a leitura do Material de Leitura: <b>A História da Nanotecnologia</b>, disponível no Apêndice A desse Produto Educacional.</li> <li>● Fazer uma Linha do tempo, pois o texto trata sobre o desenvolvimento histórico da Nanotecnologia, indicando as datas, os atores e suas descobertas.</li> <li>● Responder às três questões: <ul style="list-style-type: none"> <li>O que é a Nanotecnologia e em que ela afeta a sua vida?</li> <li>Qual a relação entre o desenvolvimento dos Microscópios e o desenvolvimento da Nanotecnologia? Evidencie o que foi mais difícil, ou confuso, ou o mais interessante sobre o texto lido.</li> </ul> </li> <li>● Enviar estas atividades, através do WhatsApp ou qualquer outro meio sugerido pelo professor, no prazo máximo de duas horas antes do início da aula 2.</li> </ul>
<p><b>Etapa 1: aula expositiva</b></p> <p>20 minutos</p> <p><b>Etapa 2: preparação para o Teste de Conceito</b></p> <p>2 minutos</p>	<p>Nesta aula o professor expõe os fatos históricos e os conceitos apresentados na leitura do texto. O professor deve se atentar a relação entre as ideias propostas por Richard Feynman, quando este pensou sobre a possibilidade de manipulação atômica para a construção de dispositivos úteis a Humanidade, e o equipamento que possibilitou tal feito.</p> <p>Deve procurar esclarecer alguns conceitos como a relação entre a escala nanométrica e os efeitos físicos que aparecem nesta escala, e sua utilidade para a construção de nanomateriais e nanodispositivos, como o Tunelamento Quântico, e tentar elucidar sobre o funcionamento de alguns tipos de microscópios, principalmente os de Varredura por Tunelamento e o de Força Atômica, usados para o estudo da estrutura desses nanomateriais.</p> <p>Partindo em seguida para preparação para o Teste de Conceito (nos dois minutos finais), aproveitando para orientar os alunos para que entrem no App Quizizz ou no Whatsapp e aguardem o início da atividade.</p>	<p>Como as dúvidas dos alunos, em teoria, foram reveladas pela Atividade de Leitura, feita como preparação para esta aula, o professor deverá preparar sua exposição sobre o tema, procurando remover tais duvidas dos alunos. Mas estes não precisam interromper o professor para responder-lhes as mesmas questões, ou outras que surgirem durante a exposição. Para que ela seja feita no tempo programado para, que todo cronograma seja cumprido. Ou seja, nesta primeira etapa, os alunos só precisam ficar atentos à explicação do professor, que deve sugerir que qualquer nova dúvida seja anotada no caderno para uma discussão ao final das etapas (etapa 9)</p> <p>Na preparação para o Teste de Conceito, os alunos devem informar ao professor se já estão prontos para a aplicação do Quiz, informando com antecedência algum problema que o impeça de realizar a atividade (a falta de Internet, problema com o celular ou computador, outros).</p>



Etapa / Tempo estimado	Atividade	
	do Professor	dos Alunos
<p>Etapas 2, 3 e 4 3 minutos</p>	<p>O teste de conceito deve ser aplicado assim que o professor terminar a explanação do tema. A primeira aplicação, o professor deve estipular o tempo máximo de 3 minutos para que todos consigam responder à questão abaixo:</p> <p><i>Richard Feynman falou em sua palestra da possibilidade de manipularmos os átomos uma a uma para construir dispositivos e materiais do jeito que quiséssemos. Qual o dispositivo que tornou a visão de Feynman realidade?</i></p> <p>a) Microscópio de Varredura por Tunelamento. b) O Microscópio de Força Atômica. c) Microscópio de Sondagem atômica. d) Um Espectrômetro de Massa. e) Um Microscópio eletrônico.</p>	<p>Nesta etapa o aluno pensa sozinho e responde conforme o seu entendimento. O professor deve pedir que eles não tentem consultar o material, anotação ou o colega (as respostas são mais importantes do que a nota).</p> <p>O professor deve programar o Quiz, de modo que ele não revele ao aluno se ele acertou ou errou nessa etapa (4). Esta informação pode influenciar no Etapa 6.</p>
<p>Durante a aplicação do Teste de Conceito (Etapa 5)</p>	<p>Este é uma Etapa importante no método Peer Instruction, o professor deve ficar atento ao número de acertos da questão (resposta <b>B</b>), se estiver menor que 30% ele deve refazer a aula expositiva e reaplicar o Teste de Conceito. Se o acerto estiver entre 30% e 70% ele segue para a próxima Etapa (6) do método, que é o mais importante e é a base do mesmo. Se o acerto for maior que 70%, o professor explica a questão e pode sugerir outro Teste de Conceito, refazendo as Etapas anteriores.</p>	
<p>Etapa 6: Discussão em pares/grupos 5 minutos</p>	<p>O professor distribui os alunos em pequenos grupos, de 3 a 5 alunos, podendo ser de forma aleatória, se o índice de acertos for maior que 50% e menor que 70%, ou tomando o cuidado de manter, ao menos, um aluno que respondeu corretamente em cada grupo, em ambos os casos eles não devem saber que acertaram ou quem acertou a questão.</p> <p>O papel do professor é estimular o debate entre os colegas, passando de grupo em grupo fazendo com que eles iniciem o debate, instigando com uma pergunta relacionada, sem dar indícios da resposta correta, e escutando o debate e as ideias apresentadas pelos alunos.</p> <p>Ao término do tempo, ou do debate. O professor realiza nova aplicação do Teste de Conceito (etapas 2, 3 e 4), dando aos alunos cerca de 1 min. a 1,5 min. para registrarem suas respostas.</p>	<p>A interação entre os mesmos será na tentativa de resolver o problema, os alunos que acertaram geralmente não mudam de opinião, pois devem ter lido e absorvido as informações do material de estudo e da explanação do professor, e este é o agente que poderá fazer com que haja a mudança nas respostas dos demais, já que os alunos que erraram a questão, pois não deveriam estar prestando atenção na aula do professor e muito menos conseguiram tirar algum proveito da leitura, esses podem sofrer a influência do colega que tenha mais convicção do seu acerto e acabam mudando suas respostas.</p>

Etapa / Tempo estimado	Atividade	
	do Professor	dos Alunos
<p>Etapa 7: Coleta das novas respostas e análise</p> <p>Etapa 8: Apresentação dos resultados para os alunos</p> <p>Etapa 9: Explicar a resposta e decidir se finaliza ou continua?</p>	<p>Se os acertos permanecerem na mesma faixa dos 35-70% o professor deve repetir a explanação do tópico e refazer todo o processo (Etapas 1 ao 5) e se tiver abaixo dessa faixa, deverá fazê-lo também, e tentar identificar o porquê do recuo do número de acertos. Mas se o número de acertos ultrapassar essa faixa, o professor deverá explicar a resposta da questão e, então, poderá decidir se quer continuar a explorar o conteúdo (Etapas 8 e 9), sugerindo um novo Teste Conceitual e repetindo os etapas anteriores (2 a 6), observando se há tempo suficiente para isso, já que a exposição do conteúdo não é mais necessária, ou se passa para outro tópico dentro do mesmo conteúdo, trabalhando novos conceitos.</p> <p>Um tópico relevante para isso seria a Relação entre a escala nanométrica e os efeitos físicos que surgem nessa escala (Tunelamento Quântico e outros). Dessa forma podemos sugerir outro Teste de Conceito:</p> <p>Gordon Earl Moore, em 1965, sugeriu uma Lei que leva seu nome, Lei de Moore, que previa que o poder de processamento dos computadores dobraria a cada 18 meses. Pela constante redução de tamanho dos componentes básicos de uma CPU, chegou-se a um impasse nessa redução quando os transistores chegaram na casa dos 100 nm, a redução a valores menores poderia afetar a confiança nos cálculos realizados por esses componentes, que seriam afetados pelo ....., que poderia provocar um erro de computação devido à fuga de corrente elétrica nesses nanocomponentes.</p> <p>a) Efeito Fotoelétrico  b) Efeito Compton  c) Efeito Termoluminescente  <b>d) Efeito Tunelamento Quântico</b>  e) Efeito Joule</p> <p>Dessa forma, o processo pode recomeçar já com o teste de conceito ou, se o professor preferir, ele pode repassar a explicação, rapidamente, somente sobre essa relação e refazer todo o processo. Mas isso fica a critério do professor.</p>	

### Aula 3: Aplicação do Pós-Teste

<b>Aula 3: Aplicação do Pós-teste</b>		
<b>Duração estimada:</b>	48 minutos / 1 tempo de aula (SEDUC/AM)	
<b>Objetivos:</b>	Geral:	Verificar o ganho de aprendizagem dos alunos.
	Específicos:	<p>Explicar aos alunos os conceitos que não ficaram bem compreendidos.</p> <p>Motivar os alunos a responderem sobre a aula 2 e a metodologia utilizada.</p> <p>Organizar nos grupos de interação do App WhatsApp a troca de novas informações e a discussão.</p>
<b>Roteiro da Aula: Aplicação do Pós-Teste</b>		
<b>Tempo estimado:</b>	<b>Atividade</b>	
	<b>do Professor</b>	<b>do Aluno</b>
13 minutos	O professor, também deverá aplicar o Pré-teste sobre Nanomateriais: Histórico e a Física dos Nanomateriais, disponível no Apêndice C deste Produto educacional.	Fazer o pós-teste seguindo a mesma orientação dada no pré-teste e nas etapas 3 e 4 do Teste de Conceito: Ficar em silêncio, pensar e responder as questões sem qualquer tipo de consulta.
20 minutos	O professor pode reaplicar as questões que foram utilizadas na Atividade de Leitura, provocando o debate geral com a turma e procurando saber o que os alunos assimilaram da aula expositiva e da leitura.	Neste momento, o aluno pode pedir que o professor tire suas dúvidas, mas mesmas anotadas na exposição da aula 2 (Etapa 2) ou outras que porventura aparecerem durante o desenvolvimento da aula.
15 minutos (finais)	O professor, pode mostrar o resultado do pós-teste para os seus alunos, utilizando os dados mostrados pela ferramenta Quizizz. Se ele quiser poderá fazer uma discussão rápida sobre o que ele achou sobre os resultados e sobre a sua impressão sobre a aula 2 e o método utilizado.	<p>O aluno pode tentar justificar alguma resposta ou questionar o professor sobre determinada questão, para tirar dúvidas caso tenha errado a mesma.</p> <p><i>Os 35 min finais são para discussão final, onde o aluno pode tirar suas dúvidas com o professor ou com os colegas.</i></p>

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pudemos observar, o método Peer Instruction (PI) é complexo no início, exigindo um planejamento bastante antecipado de seus nove passos a serem aplicados. Este Produto Educacional se propôs a servir de base para a introdução a essa metodologia, com o seu plano de aula composta por três aulas, mas que usa o Método PI, efetivamente, somente na 2ª aula em sua completude. Mostrando suas idas e vindas, e todos os pontos que o professor deve seguir e ficar atento.

A aplicação desse Produto Educacional pode ser feita para qualquer série do Ensino Médio, mas é preferível que seja com os alunos do 3º ano, pois este já possuem os conhecimentos prévios sobre átomos, moléculas, ligações moleculares e química orgânica, que os torna o melhor público alvo a ser trabalhando com este produto. Tais conhecimentos prévios, facilitaria a compreensão dos conceitos aqui trabalhados e utilizados na Nanotecnologia e pela Nanociência.

A produção de material instrucional, para alunos e professores, é um desafio que pode ser encarado como motivador para a melhoria das nossas próprias aulas. Observar, durante a sua aplicação, os gargalos de um método, os erros cometidos pelo professor e pelos alunos durante a sua aplicação e, principalmente, o resultado dessa aplicação é o que deve motivar o professor a melhorar a sua didática e organização de tempo, para a aplicação de uma aula com metodologia ativa de forma mais efetiva.

Durante a aplicação deste produto educacional, pode ocorrer os mais diversos problemas como, por exemplo, a falta da internet para a aplicação do Quiz elaborado pelo professor nas ferramentas online, ou até mesmo a falta de energia, atrapalhando o seu cronograma. Neste caso, o professor pode usar outros recursos, utilizando outras ferramentas associadas ao celular, como o App/Site Plickers (<https://www.plickers.com>), que funciona online para o professor cadastrar o quiz e, de modo *offline*, imprimir e fazer a leitura das respostas através de cartões impressos.

Com o uso do App Plickers, um aplicativo de leitura de cartões, o professor pode sempre deixar impresso os cartões com as respostas (A, B, C e D) em forma de pictograma, que ao ser rotacionado mostra a opção que o aluno escolheu, podendo ser lido pelo celular do professor e registrado como resposta a pergunta feita pelo professor durante a aplicação da aula em PI. Recomendo ao professor que deseja conhecer mais sobre este aplicativo e a forma de utilizá-lo no artigo de (DE; SILVA; SALES; CASTRO, 2018).

Ainda sobre a utilização de aplicativos para realizar os quizzes, a recomendação é de que sejam utilizados as ferramentas que não mostrem os erros e acertos do aluno e

nem de seus colegas, durante a aplicação do Pré-teste, Teste Conceitual e até mesmo do Pós-teste, pois a visualização dos resultados dos outros colegas pode influenciar a resposta do aluno quando este for responder. Portanto, o uso das ferramentas *Enquete*, agora disponíveis no WhatsApp e no Telegram, que mostram em tempo real as respostas dos participantes de um grupo, pode causar esse problema na aplicação do método utilizado nesse produto educacional, sendo assim não sendo recomendado o uso destas ferramentas para tal propósito.

Essas ferramentas podem ser utilizadas em outras ocasiões, mas não para que o professor procure saber quais os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos, pois isso contaminaria essa coleta, que deve ser a mais pura, pois representa o que o aluno verdadeiramente sabe sobre determinado conceito.

É esperado que este Produto Educacional ajude, de alguma forma, o colega que queira implementar tal método de ensino, e a ensinar sobre o tema proposto nesse trabalho. Aos que se habilitarem em fazer uso deste material instrucional, toda mudança e adaptação de qualquer parte deste é válida e bem-vinda. Já que o objetivo de um produto educacional é servir, primeiramente, de guia para qualquer um que queira se aventurar em um tema novo ou em uma abordagem nova, bem como servir de base para serem melhoradas as técnicas e conceitos por elas propostas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, David. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Lígia Teopisto. [S.l.]: PLÁTANO EDIÇÕES TÉCNICAS, 2003. 243 p. ISBN 972 - 707 - 364 - 6. Citado 1 vez na página 83.

CADIOLI, Luiz Paulo; SALLA, Luzia Dizulina. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. pt. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 98–105, jul. 2015. 00013. ISSN 2178-6895. DOI: 10.17921/1890-1793.2006v1n1p98-105. Disponível em: <<http://revista.pgsskroton.com.br/index.php/rcext/article/view/2403>>. Acesso em: 30 mai. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 32, 36, 37.

COETI, COORDENAÇÃO DE EXTENSÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO. **Relatório de Gestão 2015-2020**. Manaus, 2022. P. 18. ISBN 978-65-5633-024-2. Disponível em: <[https://inpacoeti.me/media/attachments/2022/03/18/relatoriocoeti2015-2020\\_low.pdf](https://inpacoeti.me/media/attachments/2022/03/18/relatoriocoeti2015-2020_low.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2023. Citado 1 vez na página 29.

CRANDALL, B. C.; LEWIS, James (Ed.). **Nanotechnology: research and perspectives: papers from the First Foresight Conference on Nanotechnology**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992. 381 p. Meeting Name: Foresight Conference on Nanotechnology. ISBN 978-0-262-03195-0. Citado 1 vez na página 27.

CROUCH, Catherine H.; MAZUR, Eric. Peer Instruction: Ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 9, p. 970–977, set. 2001. ISSN 0002-9505, 1943-2909. DOI: 10.1119/1.1374249. Disponível em: <<http://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1374249>>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 5 vezes nas páginas 51–53.

DA SILVA, Nulliany; DINOLA, Isabel; NETO, Minos A. Scenario in nanotechnology research. **MOJ Ecology & Environmental Sciences**, v. 3, n. 6, 2018. DOI: 10.15406/mojes.2018.03.00110. Citado 2 vezes nas páginas 24, 29.

DE, Diego; SILVA, Oliveira; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscileide. A UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO PLICKERS COMO FERRAMENTA NA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PEER INSTRUCTION Rede Educação Matemática do Nordeste View project Metodologias ativas-Ensino de Física View project, 2018. DOI: 10.21920/recei72018412502516. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21920/recei72018412502516>>. Acesso em: 17 mar. 2022. Citado 1 vez na página 67.

DISNER, Geonildo Rodrigo; CESTARI, Marta Margarete. NANOCIÊNCIA & NANOTECNOLOGIA. **Evidência**, v. 16, n. 1, 2016. Citado 1 vez na página 28.

FEYNMAN, Richard P. Plenty of Room at the Bottom, 1959. Citado 1 vez na página 31.

GALHARDI, Antonio César; AZEVEDO, Marília Macorin de. O Ganho de Hake: uma técnica de avaliação de absorção de conhecimento e replanejamento de disciplina, 2013. ISSN 2175-1897. Acesso em: 12 jan. 2023. Citado 1 vez na página 54.

GEIM, A. K.; NOVOSELOV, K. S.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science**, v. 306, n. 5696, p. 666–669, 22 out. 2004. ISSN 0036-8075, 1095-9203. DOI: 10.1126/science.1102896. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1102896>>. Acesso em: 19 dez. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 42, 43.

HAKE, Richard R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64–74, jan. 1998. Publisher: American Association of Physics Teachers (AAPT). ISSN 0002-9505. DOI: 10.1119/1.18809. Citado 1 vez na página 52.

IJIMA, Sumio. Helical microtubes of graphitic carbon. **NATURE**, v. 354, p. 56–58, nov. 1991. Citado 1 vez nas páginas 38, 40.

KIRCH, Alexandro. **Propriedades eletrônicas em nanossistemas baseados em nanotubos de carbono e grafeno**. Mar. 2014. text – Universidade de São Paulo. DOI: 10.11606/D.43.2014.tde-30102014-092406. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-30102014-092406/>>. Acesso em: 28 fev. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 44, 45.

KRÄTSCHMER, W.; LAMB, Lowell D.; FOSTIROPOULOS, K.; HUFFMAN, Donald R. Solid C<sub>60</sub>: a new form of carbon. **Nature** **190 347:6291**, Nature Publishing Group, v. 347, p. 354–358, 6291 set. 1990. ISSN 1476-4687. DOI: 10.1038/347354a0. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/347354a0>>. Citado 1 vez na página 34.

KROTO, H. W.; HEARTH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene. **NATURE**, v. 318, p. 162–163, nov. 1985. Citado 2 vezes nas páginas 33, 34.

LÁZARO, L.M.S.M.; OLIVEIRA, A.M. de. Nanotecnologia: A pequena grande inovação do futuro. v. 05, n. 4, 2007. Citado 1 vez na página 33.

LIMA, Denille Brito de. **Variações do grafeno: uma abordagem ab-initio de novas estruturas bidimensionais**. 2011. PhD Thesis – Universidade de São Paulo. 00000. Citado 1 vez nas páginas 42, 44, 46.

MACIEL, Indhira Oliveira. Fabricação de dispositivos nanoeletrônicos baseados em nanotubos de carbono. Português, mar. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BU0S-A46H56>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 23.

MARIOTTO, Patricia; CHICON, Mozzaquatro; ROSA, Cindia; QUARESMA, Toniazzo; BEATRIZ, Solange; GARCÊS, Billig. Aplicação do Método de ensino Peer Instruction para o Ensino de Lógica de Programação com acadêmicos do Curso de Ciência da Computação. Acesso em: 17 mar. 2022. Citado 0 vezes nas páginas 51, 59.

MÜLLER, Maykon Gonçalves; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela; SCHELL, Julie. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991 a 2015). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, 13 mar. 2017. ISSN 1806-1117. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2017-0012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172017000300503&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000300503&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 1 vez na página 49.

PANZENHAGEN, Geovane. **Evolução Da Válvula Ao Transistor**. Evolução Da Válvula Ao Transistor – Enciclopédia Maxwell. 29 abr. 2014. Disponível em: <<https://enciclopediamaxwell.wordpress.com/2014/04/29/evolucao-da-valvula-ao-transistor/>>. Acesso em: 1 fev. 2023. Citado 1 vez na página 25.

PASTRANA-MARTÍNEZ, Luisa; MORALES-TORRES, Sergio; GOMES, Helder; SILVA, Adrián. Nanotubos e grafeno: os primos mais jovens na família do carbono! por. **QUÍMICA**, v. 128, p. 21–27, 2013. 00015. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/8300>>. Acesso em: 30 mai. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 38, 45–47.

PEREIRA, Gabriel Chagas. Estudo sobre a substituição do silício pelo grafeno em placas solares fotovoltaicas. Português, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.unitau.br:8080/jspui/handle/20.500.11874/4457>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 23.

PERES, Ritiane Salete. A nanotecnologia como perspectiva de inovação e competitividade para a indústria da moda. pt\_BR, jun. 2021. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/8719>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 24.

PETTER, Ana Amélia; ESPINOSA, Tobias; ARAUJO, Ives Solano. Inovação didática no Ensino de Física: um estudo sobre a adoção do método Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) no contexto de Mestrados Profissionais em Ensino no Brasil. pt. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210070, jul. 2021. ISSN 1806-1117, 1806-9126. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0070. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbef/a/sjQ9NYrD3yQyX5WKmR3cNNb/>>. Acesso em: 3 mai. 2023. Citado 1 vez na página 52.

PINTO, Erveton Pinheiro; RAMOS, Glenda Quaresma; FILHO, Fonseca. O Microscópio de Força Atômica (AFM): importante ferramenta no estudo da morfologia de superfícies na escala nanométrica. pt. v. 3, n. 2, p. 10, 2013. 00000. Citado 1 vez na página 37.



PROBST, Tobias. **Top Down vs Bottom Up: An In-Depth Overview News | World Coin Stats**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://worldcoinstats.com/news/top-down-vs-bottom-up-an-in-depth-overview/>>. Acesso em: 27 dez. 2022. Citado 1 vez na página 27.

REIS, Ana Paula dos; AMATO NETO, João. Aprendizagem por cooperação em rede: práticas de conhecimento em arranjos produtivos locais de software. **Production**, v. 22, n. 3, p. 345–366, 10 mai. 2012. ISSN 1980-5411, 0103-6513. DOI: 10.1590/S0103-65132012005000023. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132012000300001&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012000300001&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 17 jan. 2023. Citado 1 vez na página 52.

RÓZ, Alessandra L.; LEITE, Fábio de L.; FERREIRA, Marystela; JÚNIOR, Osvaldo N. de O. **Nanociências e nanotecnologias: princípios e aplicações**. Edição: 1ª Edição. [S.l.: s.n.], 2015. v. 1, p. 294. Publisher: Elsevier Editora Ltda ISBN: 978-85-352-8092-0. Acesso em: 25 jan. 2023. Citado 6 vezes nas páginas 24, 26–28, 30, 47.

RUELA, Fernando Armini. Síntese de fulerenos funcionalizados com potencial atividade antioxidante, 1 mar. 2013. Accepted: 2019-08-12T18:14:48Z Publisher: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SFSA-AA2PQM>>. Acesso em: 20 dez. 2022. Citado 1 vez nas páginas 23, 35.

SBF, Sociedade Brasileira de Física. **A Física no Brasil na Proxima Década - Física da Matéria Condensada.pdf**. [S.l.: s.n.], 1990. 243 p. Disponível em: <<https://bit.ly/3vjKy6X>>. Acesso em: 27 dez. 2022. Citado 1 vez na página 29.

SCHULZ, Peter A. Nanomateriais e a interface entre nanotecnologia e ambiente. Português. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 4, p. 53–58, 2013. ISSN , 2317-269X. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=570561858009>>. Acesso em: 1 mai. 2023. Citado 1 vez na página 23.

SILVA, Edison Z. da. Nanociência: a próxima grande idéia? **Revista USP**, n. 76, p. 78–87, 2008. Citado 1 vez nas páginas 33, 36, 38.

SOUZA, Thiago. **História do computador e a evolução dos computadores**. Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/historia-e-evolucao-dos-computadores/>>. Acesso em: 1 fev. 2023. Citado 1 vez na página 25.

SOUZA FILHO, Antônio Gomes de; FAGAN, Solange Binotto. Funcionalização de nanotubos de carbono. **Química nova**, v. 30, n. 7, p. 1695, 2007. 00095. Citado 1 vez na página 41.

TECNOLÓGICA, Site Inovação. **Grafeno faz elétrons voarem como fótons: Novo componente eletrônico?** Site Inovação Tecnológica. Section: Nanotecnologia. 7 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=transporte-balistico-grafeno&id=010165140207>>. Acesso em: 25 fev. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 24, 46.

TOMA, Henrique Eisi. **Nanotecnologia - Conselho Regional de Química - IV Região.** 2006. Disponível em: <[https://www.crq4.org.br/quimica\\_viva\\_\\_nanotecnologia](https://www.crq4.org.br/quimica_viva__nanotecnologia)>. Acesso em: 3 fev. 2023. Citado 1 vez na página 29.

TROCHE, Karla Souza. Estudo estrutural e eletrônico de fulerenos e diamondóides encapsulados em nanotubos de carbono. Português, 2007. 00001. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/277610>>. Acesso em: 29 mai. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 39–41.

VIEIRA, Cássio Leite. Projeto: Desafios da Física - Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo. pt. **Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo**, p. 2, 2006. Disponível em: <[http://www.cbpf.br/~desafios/index\\_1.php?p=pdf\\_folders](http://www.cbpf.br/~desafios/index_1.php?p=pdf_folders)>. Acesso em: 17 jun. 2019. Citado 2 vez na página 32.

WHITESIDES, George M. Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. **Small**, v. 1, n. 2, 2005. ISSN 16136810. DOI: 10.1002/sm11.200400130. Citado 1 vez na página 28.

ZARBIN, Aldo JG; OLIVEIRA, Marcela M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis? **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1533–1539, 2013. Publisher: SciELO Brasil. Citado 3 vezes nas páginas 38, 41, 43.

ZLATANOV, Nikola. Semiconductor Device Fabrication Technology. In. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/297760936\\_Semiconductor\\_Device\\_Fabrication\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/297760936_Semiconductor_Device_Fabrication_Technology)>. Citado 1 vez na página 31.



## **APÊNDICES**



## APÊNDICE A – A HISTÓRIA DA NANOTECNOLOGIA

# A História da Nanotecnologia

Erickson Morais de Medeiros<sup>1\*</sup>

## Resumo

A nanotecnologia consiste na técnica de manipular e analisar materiais e dispositivos na escala do nanômetro. As aplicações que surgem, a partir de então, provocaram uma grande revolução para a sociedade, como a miniaturização de componentes de computadores. Graças a nanotecnologia, podemos utilizar computador, aparelho de vídeo e áudio, mandar mensagens e efetuar ligações, tudo em um único aparelho - o *smartphone*. A Física é a ciência que teve grande responsabilidade pelos avanços nesta área, juntamente com a Química e Engenharia, pois é ela que realiza os cálculos teóricos que explicam as propriedades e vislumbra quais são as possíveis utilidades tecnológicas desses materiais em nanoescala.

## Palavras-Chave

Nanotecnologia — Física da Matéria Condensada — Nanomaterial

<sup>1</sup> *Professor de Física da E. E. Profª Eunice Serrano Telles de Souza e da CEJA Jacira Cabocla e discente do MNPEF-Polo IV*

\***Contato do autor:** erickson.medeiros+mnpef@seducam.pro.br

## Sumário

<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1 A História da Nanotecnologia</b>	<b>2</b>
<b>Referências</b>	<b>4</b>

## Introdução

A Física, com o surgimento da Mecânica Quântica, foi uma das responsáveis pelo desenvolvimento da Nanotecnologia, pois o estudo da matéria em escala atômica e molecular promoveu uma melhor compreensão dos mecanismos que regem as interações entre átomos e moléculas nessa escala, levando ao desenvolvimento de materiais relevantes para campos diversos, como a medicina, eletrônica, ciência da computação, química, biologia e engenharia de materiais, estes campos de estudo aplicados a nanotecnologia compõem a Nanociência. A atuação desses campos é baseada na construção de estruturas e novos materiais a partir de átomos, onde o objetivo principal é alcançar o controle individual dos átomos e utilizá-los para construir estruturas estáveis.

Porém, a definição mais simples de nano-

tecnologia é dada pelo seu prefixo *NANO*, que em grego significa **Anão** e representado pela letra *n*. O termo é utilizado para designar coisas muito pequenas, assim o prefixo *n* equivale a uma divisão por 1 milhão ou por  $10^9$ , de modo que em relação à escala de comprimento temos que  $1\text{ nm} = 1\text{ metro (1 m)}/1.000.000.000 = 1\text{ m}/10^9 = 1 \times 10^{-9}\text{ m}$  e para que um material possa ser considerado na escala Nano deve ter ao menos uma de suas dimensões com o tamanho entre 1 e 100 *nm*.

Embora seja um termo popular, a nanotecnologia foi desenvolvida nos tempos antigos, com os romanos fazendo artefatos de nanopartículas de ouro, como o famoso Cálice de Licurgo, que, dependendo de como está iluminado, muda entre verde e vermelho, como mostrado na fig. 1.

No entanto, a ideia da produção e uso dos nanomateriais só foi proposta em 1959, em palestra proferida pelo americano Richard Feynman, motivo pelo qual é considerado o ponto de partida para o uso da nanociência e da nanotecnologia. Contudo, o termo nanotecnologia só foi criado em meados da década de 1970 e popularizado nos anos de 1980, por Eric Drex-

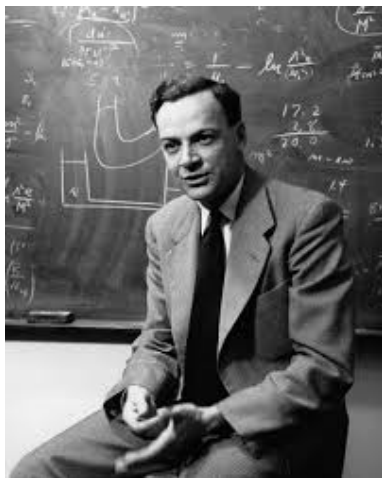


**Figura 1.** Cálice de Licurgo sendo iluminado pelos dois lados.

ler [1], o primeiro doutor em Nanotecnologia.

## 1. A História da Nanotecnologia

Em dezembro de 1959, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (CalTec), surge a possibilidade da manipulação atômica para fins tecnológicos. Com a palestra intitulada “Há muito espaço lá embaixo”, o então físico Richard Feynman inspirou seus colegas da Sociedade Americana de Física, sem saber que suas palavras poderiam alterar profundamente a imagem que temos do mundo[1].



**Figura 2.** Richard P. Feynman, o “Pai da Nanotecnologia. [ ] ver, link: <https://cdn-images-1.medium.com>

Feynman provocou a imaginação dos seus colegas quando propôs que no futuro poderíamos arranjar os átomos à nossa maneira. Afirmando ainda que não via impedimento pelas leis da Física para tais feitos, o que se comprovou algumas décadas depois.

A inspiração de Feynman o fez imaginar que, com essa nova tecnologia, a informação inteira da Enciclopédia Britânica poderia ser colocada toda na cabeça de um alfinete. Hoje

em dia possuímos dispositivos que possuem alta densidade de armazenamento, talvez milhares de Enciclopédias Britânicas na palma das nossas mãos, como os cartões *Secure Digital Card* (SD) e os drives *Solid-State Drive* (SSD) e suas variantes, fabricados com o processo de litografia, gerando componentes nanométricos, que fornecem uma alta densidade de dados e menor consumo de energia.

Portanto, para Feynman, a manipulação da matéria ao nível atômico só seria questão de conhecimento técnico e da tecnologia necessária para tal. Com tais palavras, tomadas como desafio por vários colegas, um motor de 0,38 mm de diâmetro foi apresentado a ele como resposta.[2]

Richard Feynman é considerado o “Pai da Nanotecnologia”, por causa dessa visão futurista, onde a humanidade manipula a natureza desde a sua menor escala para formar dispositivos que nos ajudem em nosso dia-a-dia.

A ficção científica embarcou nas ideias de Feynman e em meados da década de 1960, foi lançado o filme **Viagem fantástica** (1966), adaptado em um livro por Isaac Asimov (1920-1992), em que uma nave e sua tripulação são miniaturizadas e injetadas no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sanguíneo e salvar a vida do paciente. Essa obra tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração.”[2].

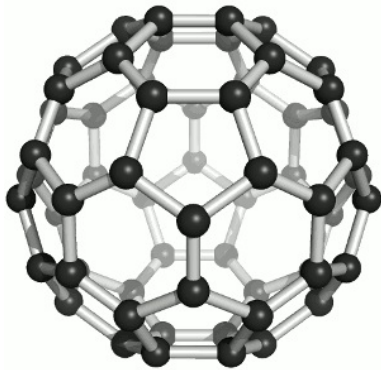
O professor Norio Taniguchi, da Universidade de Ciência de Tóquio, cunhou o termo **Nanotecnologia**, em 1974, designando-a como **o conjunto de estudos e aplicações referentes aos objetos e processos em nanoescala** [1].

No ano de 1981, em um laboratório da IBM, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, criam o Microscópio de Varredura por Tunelamento (MVT) que conseguiu enxergar átomos individuais em materiais condutores e semicondutores. Em suma, ele funciona quando uma ponta muito pequena e de material condutor é aproximada (a alguns nanômetros) do substrato a ser analisado, ao ponto que o campo elétrico de sua ponta provoca um salto de um elétron do material (Efeito de Tunelamento) gerando uma corrente elétrica de alguns nanoampères ( $nA$ ) [1].



Com essa tecnologia foi possível enxergar os átomos, fato que não se poderia imaginar, além de conseguirmos manipulá-los.

Em 1985, Robert Curl Jr. e Richard Smalley da Rice University, Houston, Texas, Estados Unidos, e com Sir Harold Kroto da University of Sussex Brighton, do Reino Unido descobriram uma forma alotrópica do carbono composta por 60 átomos de carbono organizados formando uma estrutura que parecia a forma de uma bola de futebol. Essa descoberta eles batizaram com o nome de buckminsterfullerene, ou simplesmente de buckball, em homenagem ao arquiteto alemão Buckminster Fuller, inventor do domo geodésico. Curl, Smalley e Kroto foram laureados com o Nobel de Química em 1996 pela descoberta.



**Figura 3.** Estrutura do fulereno  $C_{60}$  ou buckball.

Com seu livro *Engines of Creation*, lançado em 1986, Erick Drexler, o primeiro doutor em nanotecnologia, populariza o termo e dando um ar de ficção científica a nova ciência, imagina a construção de um Assemblador Molecular, uma nanomáquina que conseguiria manipular os átomos e fazer cópias de si mesma objetivando produzir nanorrobôs em larga escala capazes de manipular a matéria ao nível atômico [1].

Essa abordagem, foi vista com desconfiança por vários cientistas e tal desconfiança foi tratada em um episódio da série de ficção Star Trek: The Next Generation, intitulado: Evolução (1989) - Onde o alferes Wesley Crusher (Will Wheaton - The Big Bang Theory), cria nanorrobôs, no estilo descrito por Drexler, chamados Nanites, que por acidente acabam invadindo o computador da nave e evoluindo para uma forma inteligência coletiva e ameaçando

os tripulantes e a chance de um astrofísico realizar um grande experimento durante um evento muito raro.

No mesmo ano, 1986, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer ganharam o Nobel de Física pela invenção do MVT. Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber, desenvolveram o microscópio de força atômica (MFA), um dispositivo que é um upgrade do MVT e com a capacidade de enxergar qualquer coisa (condutores, semicondutores e isolantes), pois o MVT não conseguia analisar materiais isolantes. Consistindo em uma ponta onde se acopla uma ponta de diamante de tamanho nanométrico, que passa pelos átomos exercendo uma pressão suficiente para ser sentida no detector, mas não grande o suficiente para destruir a estrutura analisada na amostra.

### As principais vantagens do MFA:

Maior resolução, imagens em 3 dimensões, não havendo a necessidade de recobrir a amostra com material condutor, não requer métodos específicos de preparação da amostra, permite a quantificação direta da rugosidade da amostra, permite a medida da espessura de filmes ultrafinos sobre substratos e análise por fractal. É possível fazer imagens da superfície imersa em líquidos e por algumas variantes da família Microscópios de Varredura por Sondagem (MVS) é possível também diferenciar fases com diferentes viscoelasticidades, encontrar domínios magnéticos, etc. [3].

O MFA é um equipamento versátil que além de ver os átomos pode até movê-los um a um. Isso pode ser feito quando aplicada uma tensão elétrica extremamente forte é aplicada entre a ponta do microscópio e a amostra, fazendo com que um átomo salte e fique preso na ponta. Porém, se a polaridade da tensão for invertida, o átomo volta para baixo com força, ficando encaixado neste ponto [1].

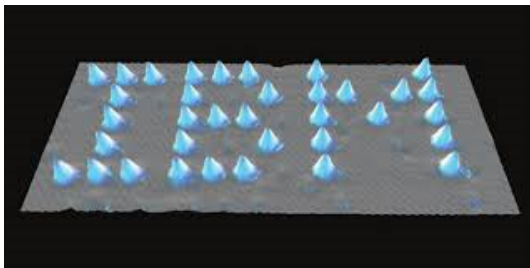
Todas essas vantagens são bastante úteis na área das Ciências dos Materiais e Engenharia dos Materiais para a caracterização e produção de novos materiais.

Com a ajuda do MFA, o físico Donald M. Eigler, trabalhando no laboratório da IBM na



**Figura 4.** Ponteira de um microscópio de força atômica. [ ] ver [1]

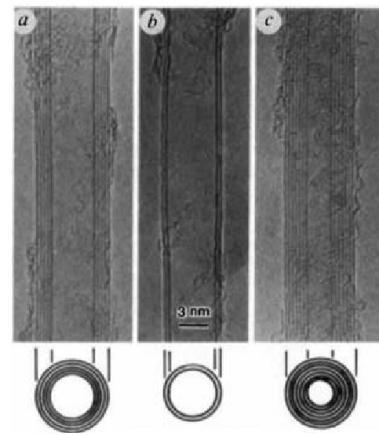
Califórnia, em 1989, consegue manipular, 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel, os manipulando para formar o logotipo da IBM, provocando em outros cientistas uma busca a fim de se conseguir o melhor domínio da técnica de manipular átomos. A técnica serviu inclusive para IBM produzir um pequeno filme intitulado de *A boy And His Atom: The World's Smallest Movie*, que pode ser assistido no Youtube, ver em <https://www.youtube.com/watch?v=oSCX78-8-q0>.



**Figura 5.** Logotipo da IBM escrito com 35 átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel. [ ] ver em <https://abre.ai/ibm35atoms>

Já em 1991, em Tsukuba no Japão, o professor Sumio Iijima, da NEC, descobre os nanotubos de carbono enquanto conduzia experimentos com arco elétrico.

Iijima observou a formação de fibras moleculares de carbono, cilíndricas e fechadas por seis anéis pentagonais. Usando a tecnologia de microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (HRTEM, High-resolution transmission electron microscopy), foi confirmado que a fibra é composta por uma estrutura tubular concêntrica, cujo comprimento é da ordem de microns e o diâmetro é da ordem de vários nanômetros [4].



**Figura 6.** Micrografias dos primeiros nanotubos de carbono de paredes múltiplas observadas por Iijima em 1991. Com tubos (a) 5, (b) 2 e (c) 7 paredes. ver [4]

Em 2004, uma equipe da Universidade de Manchester, liderada pelo professor Andre K. Geim e K. Novoselov, conseguiram isolar planos de grafite através da técnica de esfoliação com fita adesiva. Cada plano do grafite é constituído por uma rede bidimensional de carbono com estrutura hexagonal, devido à hibridização orbital  $sp^2$  do carbono. Essa estrutura foi chamada de Grafeno e já havia sido prevista teoricamente a mais de meio século quando a estrutura do grafite foi estudada por cristalografia [5].

A partir de então, vários nanomateriais foram sintetizados e estudados, por pesquisadores das áreas da farmacologia, química, física, engenharias, por suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, que quando devidamente aplicadas, trazem muitos benefícios em diversas áreas.

Assim, a necessidade de se sintetizar e caracterizar e analisar novos materiais, suas propriedades, para saber quais são úteis para a sociedade e quais podem ser nocivas, fica a cargo das nanociências. Uma noção básica de como funcionam esses processos serão elucidadas na próxima seção.

## Referências

- [1] Luiz Paulo Cadioli and Luzia Dizulina Salla. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. *Revista de*

*Ciências Exatas e Tecnologia*, 1(1):98–105, July 2015. 00013.

- [2] Cássio Leite Vieira. Projeto: Desafios da Física - Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo. *Nanociência e Nanotecnologia - Modelando o futuro átomo por átomo*, page 2, 2006.
- [3] Erveton Pinheiro Pinto, Glenda Quaresma Ramos, and Fonseca Filho. O Microscópio de Força Atômica (AFM): importante ferramenta no estudo da morfologia de superfícies na escala nanométrica. 3(2):10, 2013. 00000.
- [4] Luisa Pastrana-Martínez, Sergio Morales-Torres, Helder Gomes, and Adrián Silva. Nanotubos e grafeno: os primos mais jovens na família do carbono! *Química*, 128:21–27, 2013.
- [5] Denille Brito de Lima. *Variações do grafeno: uma abordagem ab-initio de novas estruturas bidimensionais*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, 2011. 00000.

## APÊNDICE B – PRÉ E PÓS-TESTES

Para a avaliação do aprendizado do aluno, as metodologias ativas fazem o uso de um pré-teste, para delinear os conceitos prévios que o aluno traz consigo (Ausubel) (AUSUBEL, 2003). Assim o professor terá uma base de onde partir e quais as dificuldades dos alunos com respeito ao tema que será abordado.

Após a aplicação do material instrucional, o professor deve fazer a verificação da aprendizagem, através da aplicação de um pós-teste. Este o ajudará a delimitar o que mudou na estrutura cognitiva do aluno, ou seja, o que ele aprendeu.

Esse apêndice, traz um pré e pós-teste, com as mesmas questões, referentes ao tema a ser abordado na sequência didática do produto educacional elaborado para esta dissertação. Os testes foram elaborados na Plataforma Quizizz, a qual é uma plataforma de quizzes, perguntas em forma de jogos (gamificação), que serve como um incentivo ao aluno para ele resolver as questões. Esta plataforma é aberta, ou seja, todo quiz produzido nela fica disponível para todos que possuem uma conta nela. Assim, se o professor que quiser utilizar este quiz para as suas aulas poderá fazê-lo sem problemas, com a vantagem de poder alterar as questões, sua ordem, excluir ou adicionar mais questões, o tipo de questão e muitas outras coisas.

O Quizizz dá um *feedback* imediato da aplicação do quiz, dando ao professor todas as informações que ele necessita para fazer sua análise do aprendizado de seus alunos.

## QUIZZZ

Pré e Pós-teste: A História da Nanotecnologia  
14 Questões

NOME : \_\_\_\_\_

TURMA : \_\_\_\_\_

DATA : \_\_\_\_\_

1. NTCs significa\_\_\_\_\_

A Nova Tecnologia de Carbono

B Nanotecnologia de Carbono

C Nanotubos de Carbono

D Nanociência e Tecnologia de Carbono

2. Selecione algumas das desvantagens da Nanotecnologia

A Invade a privacidade das pessoas

B Amplia os limites da eletrônica

C Efeitos Negativos no meio ambiente

D Destrói empregos

3. Selecione algumas vantagens da Nanotecnologia

A Pode provocar modificações genéticas

B Permite uma aplicação de medicação mais efetiva

C Amplia os limites da eletrônica

D Beneficia as energias renováveis

4. Qual é a verdade sobre o tamanho das nanopartículas?

A menores que 1 nm

B de 100 a 1000 nm

C maiores que 1000 nm

D de 1 a 100 nm

5. Geim e Novoselov descobrem uma substância composta de carbono puro, com átomos organizados em padrão hexagonal, parecido com grafite. Um material quase transparente.

- A Nanotubos de Carbono       B Nanopartículas  
 C Nanobots       D Grafeno

6. Em 1996, Sir Harry Kroto ganhou o Prêmio Nobel por ter descoberto o nanomaterial.

- A Fullerenos  $C_{60}$        B Mícrons  
 C Nanopartículas       D Nanômetro

7. Que substância tem a fórmula  $C_{60}$ ?

- A fulereno       B diamante  
 C grafite       D grafeno

8. Um nanotubo de carbono de parede simples tem um diâmetro de cerca de

- A 3 nm       B 15 nm  
 C 30 nm       D 50 nm

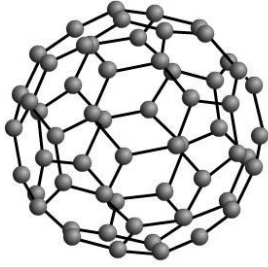
9. Grafeno é feito de átomos de ...

- A Carbono       B Silício  
 C Néon

10. Uma substância que maior número de átomos na superfície é

- A É menos reativo       B Mais reativo  
 C Não reativo

11.



Qual estrutura é mostrada no diagrama?

- A Diamante  B Grafite  
 C Fulereno  D Grafeno

12. Quais são as propriedades do grafeno?

- A Força e dureza  B Bom condutor de calor e eletricidade  
 C Transparência e Elasticidade  D Permeabilidade

13. Como os cientistas descobriram o grafeno?

- A Submetendo a grafite a complicadas reações químicas.  B Expondo a grafite a altas voltagens.  
 C Descascando camadas dos flocos de grafite.

14. Ele fala pela primeira vez em uma conferência sobre o futuro da pesquisa científica: "Na minha opinião, os princípios da física não falam contra a possibilidade de manipular as coisas átomo por átomo".

- A Richard Feynmann  B James Gimzewski  
 C Von Neuman  D Charles Babbage

## Chave de respostas

1.c

2.

3.

4.d

5.d

6.a

7.a

8.a

9.a

10.b

11.c

12.

13.c

14.a





## **ANEXOS**



## ANEXO A – O USO DO APP/SITE QUIZIZZ

A ferramenta utilizada neste Produto Educacional é um software usado para criar quizzes (jogo de perguntas e respostas) que pode ser utilizada como um Jogo, promovendo disputas entre os participantes, provocando neles o instinto de jogador, o qual não procura perder.

Ela se baseia na metodologia Gamificação, que se utiliza das estratégias dos jogos, para incentivar os participantes a manterem o foco e despertando o interesse pelo conteúdo que está sendo perguntado.

Nesse anexo, será fornecido um manual de uso do Quizizz, é um material produzido pelo governo de Portugal, em parceria com a União Européia, através do programa: Plano Integrado e Inovador de Combate ao Insucesso Escolar, com os governos da Região Oeste de Portugal. O manual segue na próxima página, ou pode ser facilmente encontrado na internet com uma procura rápida, mas para facilitar o acesso, segue o link criado com a ferramenta encurtadora de links Bit.ly, que pode ser acessado sem medo: <https://bit.ly/ManualQuizizz>.

Segue também um link de uma videoaula do *Youtube* sobre a utilização desta ferramenta em sala de aula: [TUTORIAL] – Como usar o Quizizz?, do canal Prof 4.0, no link a seguir: <https://youtu.be/do2eQaqUKWE>

# Manual de Quizizz

## CLASS QUIZ GAMES WITH QUIZIZZ

---

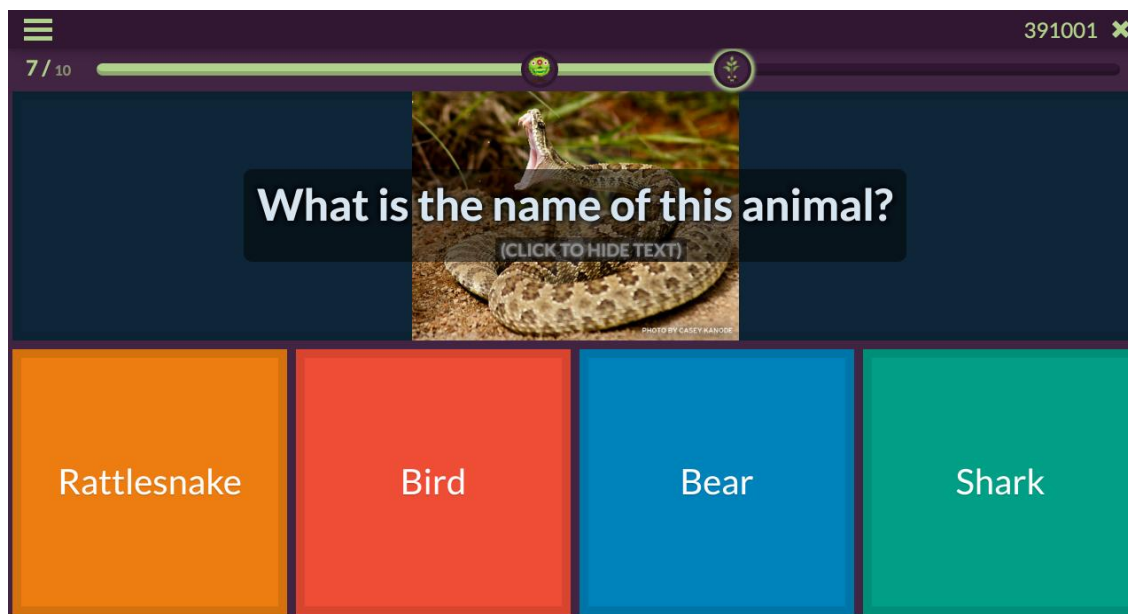


## Índice:

1.	O que é o Quizizz?.....	3
1.1.	O que é gamification? .....	3
2.	Gestão de Quizzes.....	5
2.1.	Criar Conta / Iniciar sessão .....	5
2.2.	Pesquisar por “Quizes” disponíveis .....	6
2.3.	Criar um Quiz.....	7
2.4.	Jogar.....	10

## 1. O que é o Quizizz?

O Quizizz é um *software* que permite usar e criar “Quizes” para jogar em sala de aula ou como trabalho de casa. Cada pergunta tem duas ou mais respostas. Pelo menos uma delas tem que ser verdadeira.



As perguntas podem ser agrupadas por temas ou turmas. Ao acertar, o aluno ganha pontos e fica classificado num ranking que tem todos os alunos que participam na sessão de jogo. Cada jogo pode ser usado várias vezes e obtém-se um relatório detalhado que pode ser usado para avaliação contínua.

O Quizizz usa estratégias de *gamification* ou gamificação para motivar os alunos a adquirir aprendizagens.

### 1.1. O que é gamification?

É o uso das narrativas dos jogos para a aquisição de conhecimento. Os jogadores ganham pontos, passam de nível, recebem insígnias e mensagens motivadoras à medida que jogam.

Consiste em usar técnicas, estratégias e o *design* de jogos noutros contextos que não sejam necessariamente associadas aos jogos em si. É trazer o jogo para a realidade

e com isso impactar pontos como compromisso, produtividade, foco, determinação e outros, tornando mais simples atingir metas e objetivos em qualquer contexto.

Por meio da *gamification*, é possível transformar rotinas de trabalho ou estudo e fazer com que as pessoas se sintam mais inclinadas a se dedicar às tarefas e desafios que cada situação exige.

Segundo uma estimativa da Gartner a *gamification* será um mercado de mais de 5 bilhões de dólares no mundo todo e, até 2020, 70% das maiores empresas do mundo terão pelo menos uma aplicação que utiliza esse conceito, fazendo com que ele se torne algo fundamental ao ambiente empresarial.

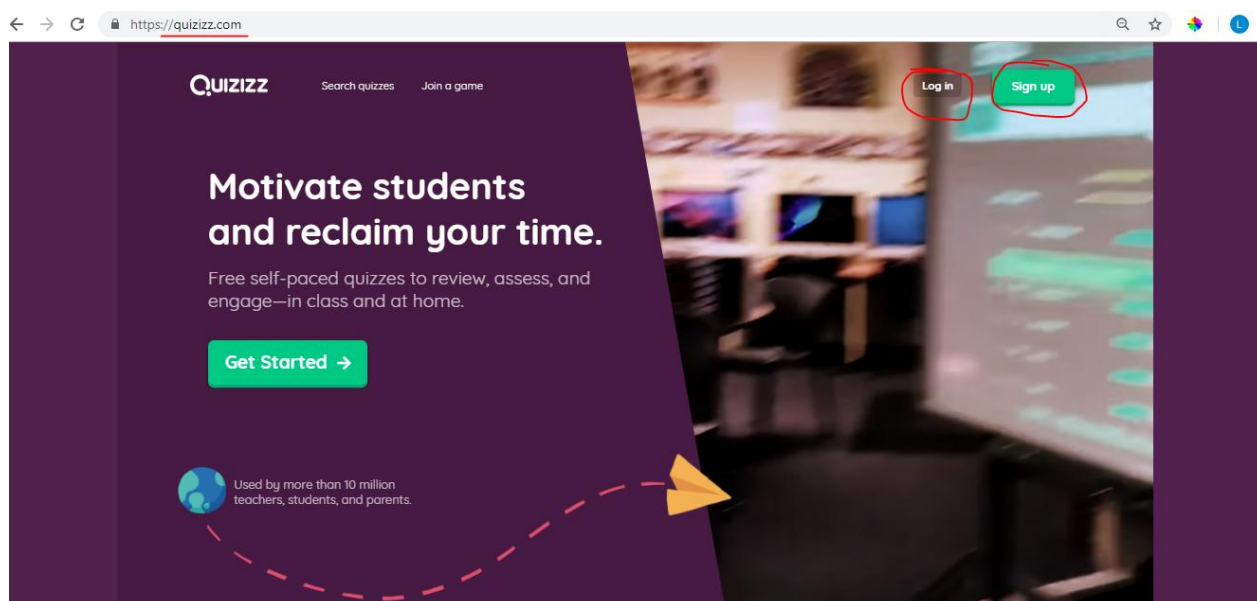


## 2. Gestão de Quizzes

### 2.1. Criar Conta / Iniciar sessão

Para pesquisar, criar e “lançar” jogos é necessário ter conta no Quizizz.

1. Entre em [www.quizizz.com](https://www.quizizz.com)
2. Escolha:
3. Log In – Se já tiver conta no Quizizz
4. Sign Up – Para criar conta



5. Escreva o seu e-mail
6. Escolha “An Educator”

Let's complete your account

Choose a role

- Create account
- Connect an organization

Title

First name

Last name

Password

Complete sign up

7. Preencha os campos com informações básicas.

## 2.2. Pesquisar por “Quizes” disponíveis

O Quizizz tem disponíveis milhares de conjuntos de perguntas disponíveis, muitos deles em Português. Outros utilizadores do Quizizz criaram as suas atividades definidas como públicas, assim todos os utilizadores podem usá-las.

Para usar atividades disponíveis no Quizizz:

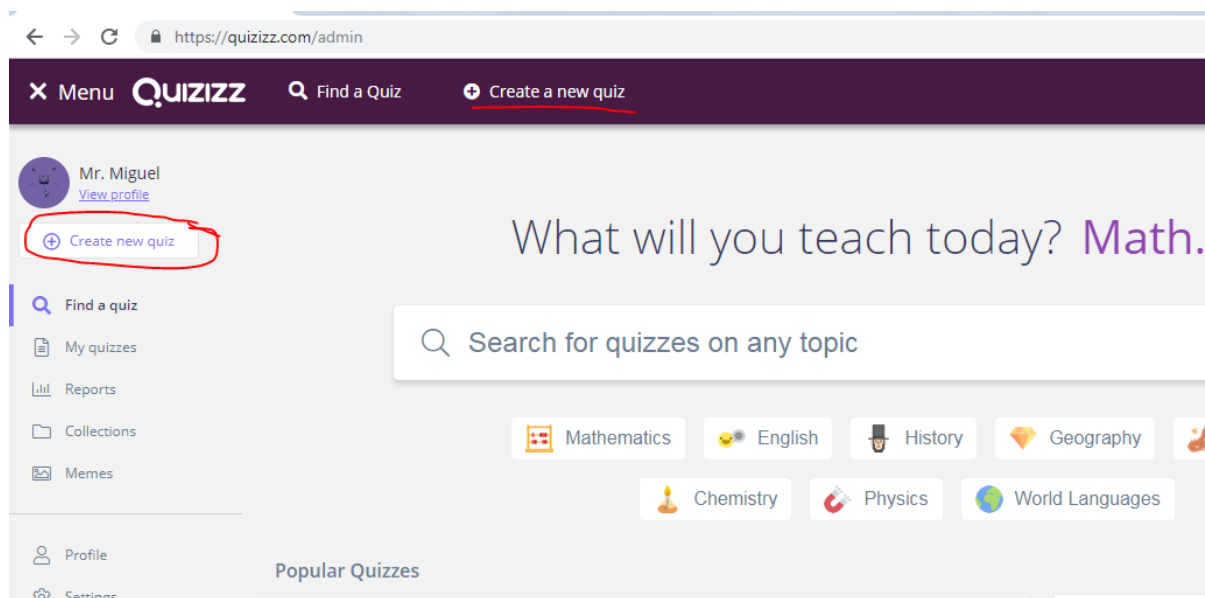
1. Clique em “Find a Quiz”
2. Escreva na barra de pesquisa
3. Passe com o rato por cima do conjunto de perguntas que lhe interessar
4. Na caixa que se abre à direita, clique em “Play” e depois em:
  - Live Game - Para jogar na aula.
  - Homework Game - Para definir uma data e horário limite para completar o conjunto de perguntas.
  - Solo Game - Para testar o jogo individualmente.

The screenshot shows the Quizizz search interface. At the top, there is a search bar with the text "história" entered and circled in red. Below the search bar, there are 5938 results for "história". A list of quizzes is shown, including "Historia1", "História da Educação 5", "História da Educação 3", "História de Portugal", and "História C81 Freguesia 1". On the right side, a preview of a quiz titled "10 Questions" is shown. The "PLAY" button in the top right of this preview is circled in red. A dropdown menu is open over the "PLAY" button, showing options: "Live", "Homework", "Play Solo", and "Solo Game". The "Live" option is also circled in red. A red arrow points to the "Add" button for the "História de Portugal" quiz.

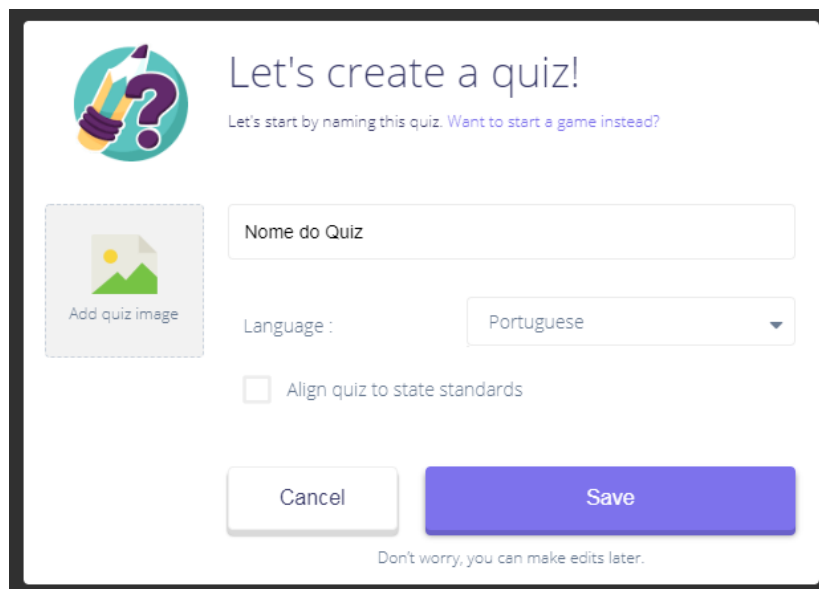
## 2.3. Criar um Quiz

É possível criar os seus conjuntos de perguntas:

1. Clique em “Create New Quiz”

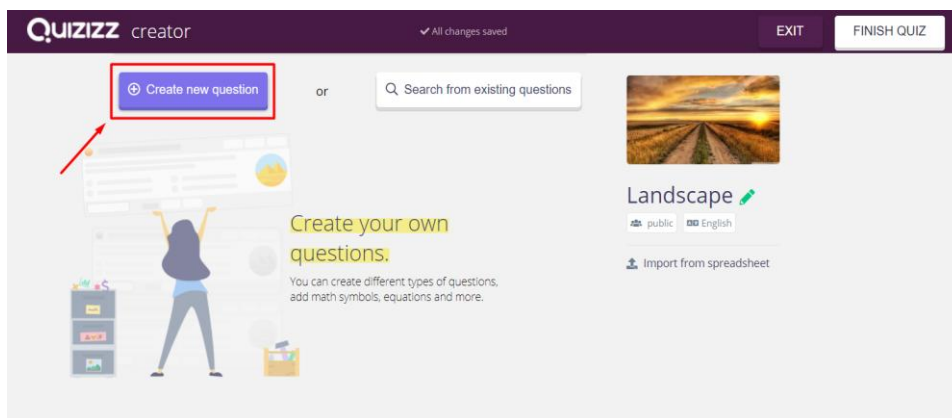


2. Preencha o nome do Quiz, escolha o idioma e clique em “Save”

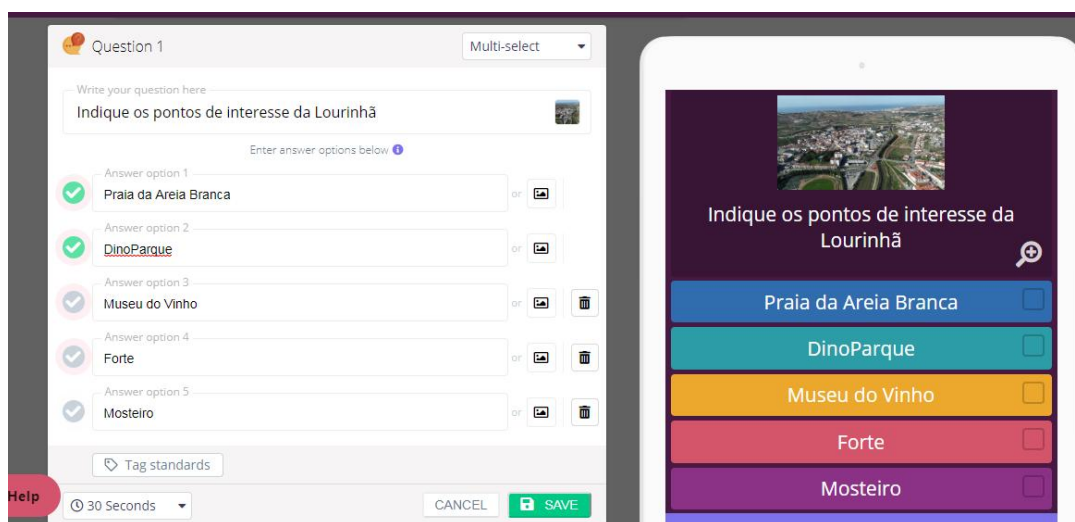


3. Clique em “Create New Question”

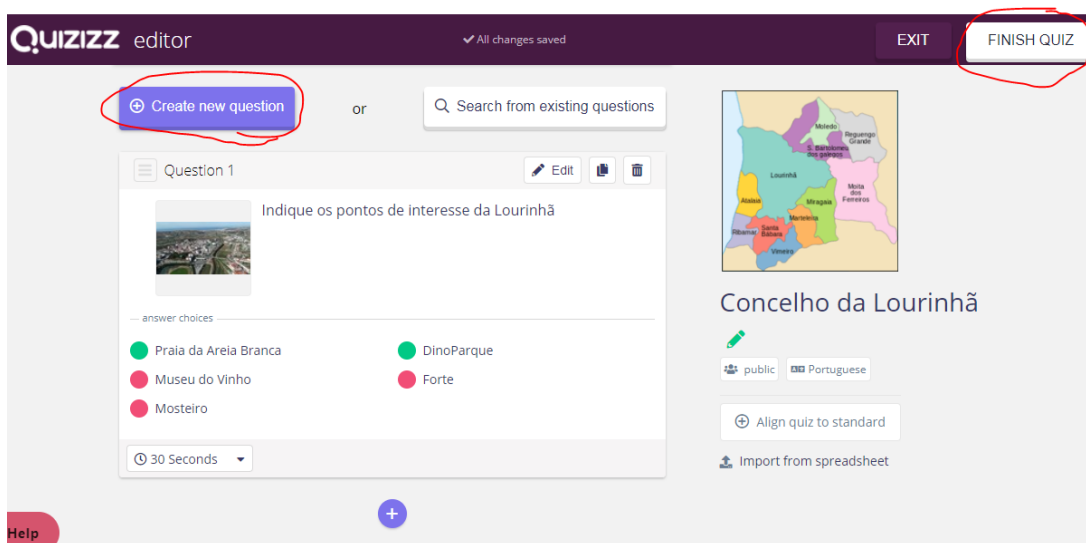
## Manual Software Ensino-aprendizagem: Quizizz



4. Escreva a pergunta e as respostas. No topo pode escolher se há apenas uma resposta certa, ou várias. No fundo pode definir o tempo de resposta. À Esquerda escolha as resposta(s) certa(s).



5. Depois de guardar pode criar uma nova pergunta ou finalizar o Quiz.



6. Depois de guardar, pode escolher as áreas e o ano a que se destina o Quiz.

### Quiz Details

Select grade range

5th - 6th

Choose relevant subjects

Mathematics English Physics Chemistry Biology Science Computers

World Languages Geography History Social Studies Professional Development

Physical Ed Arts Fun Architecture Business Design Education

Instructional Technology Journalism Life Skills Moral Science Performing Arts

Philosophy Religious Studies Special Education Specialty Other

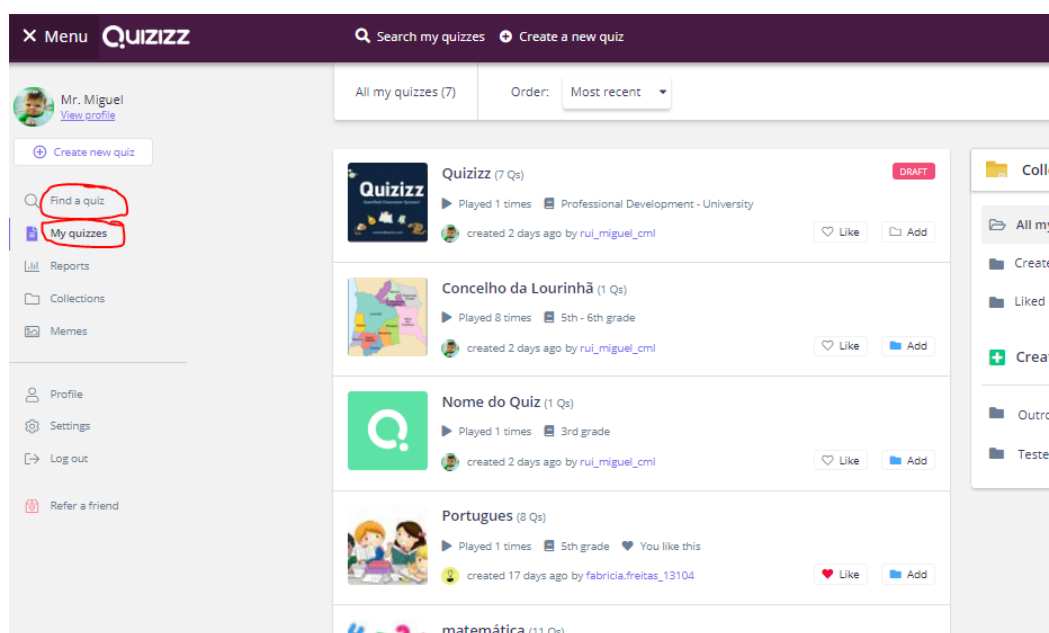
Save details Cancel

## 3. Jogar

### 3.1. Jogar na Aula

1. Escolha um Quiz:

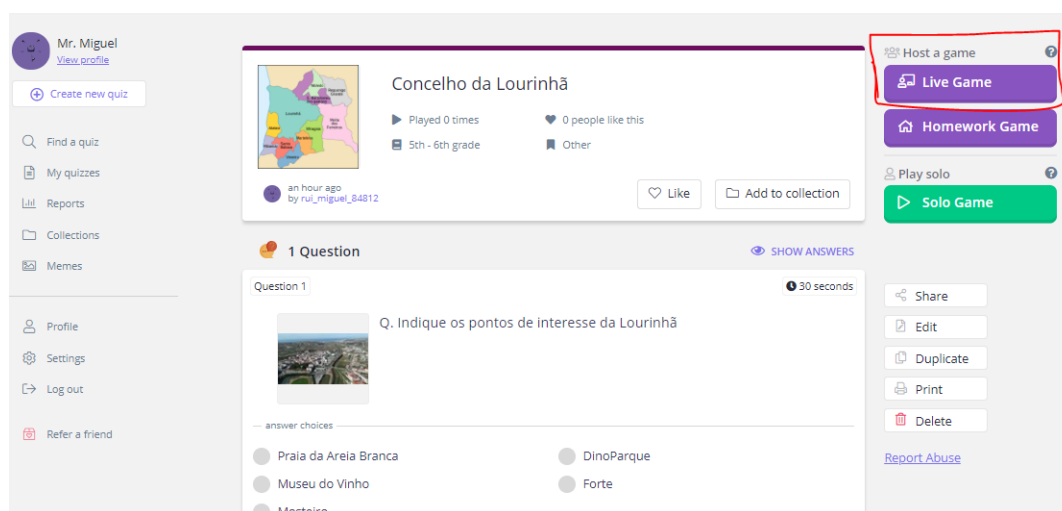
- Procurando
- Na área “My Quizes”



2. Escolha o Quiz e clique em:

- Live Game - Para jogar na aula.
- Homework Game - Para definir uma data e horário limite para completar o conjunto de perguntas.
- Solo Game - Para testar o jogo individualmente.

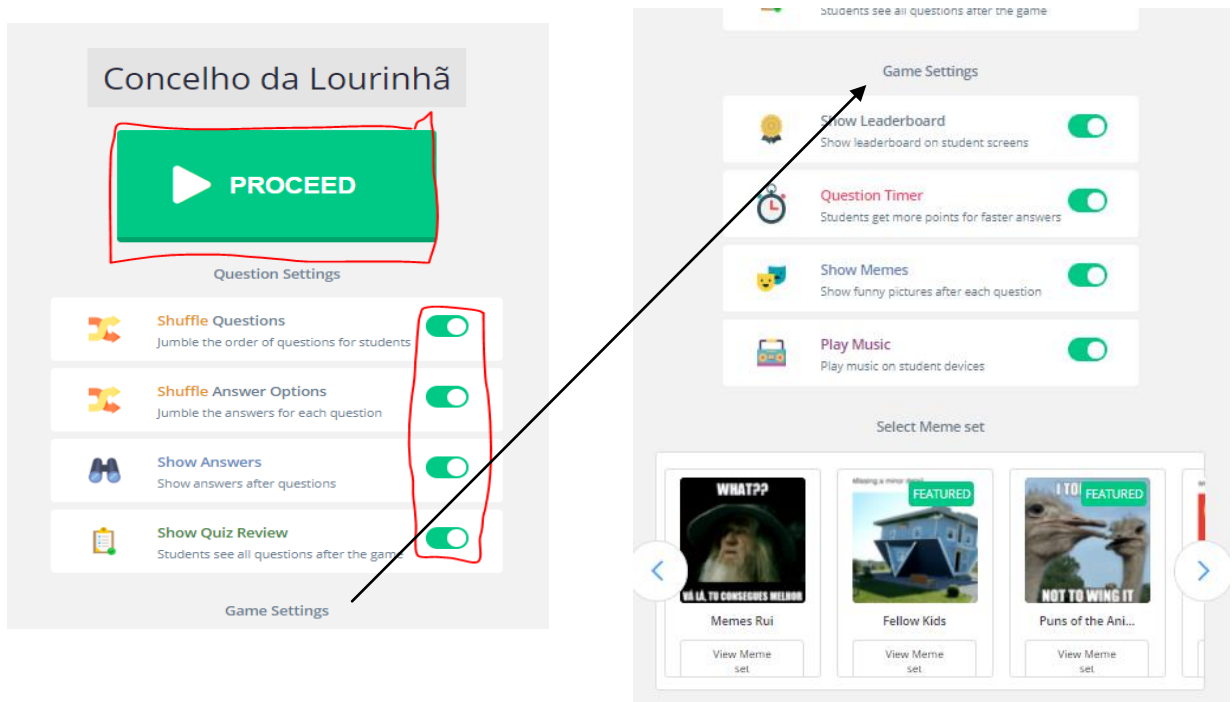
## Manual Software Ensino-aprendizagem: Quizizz



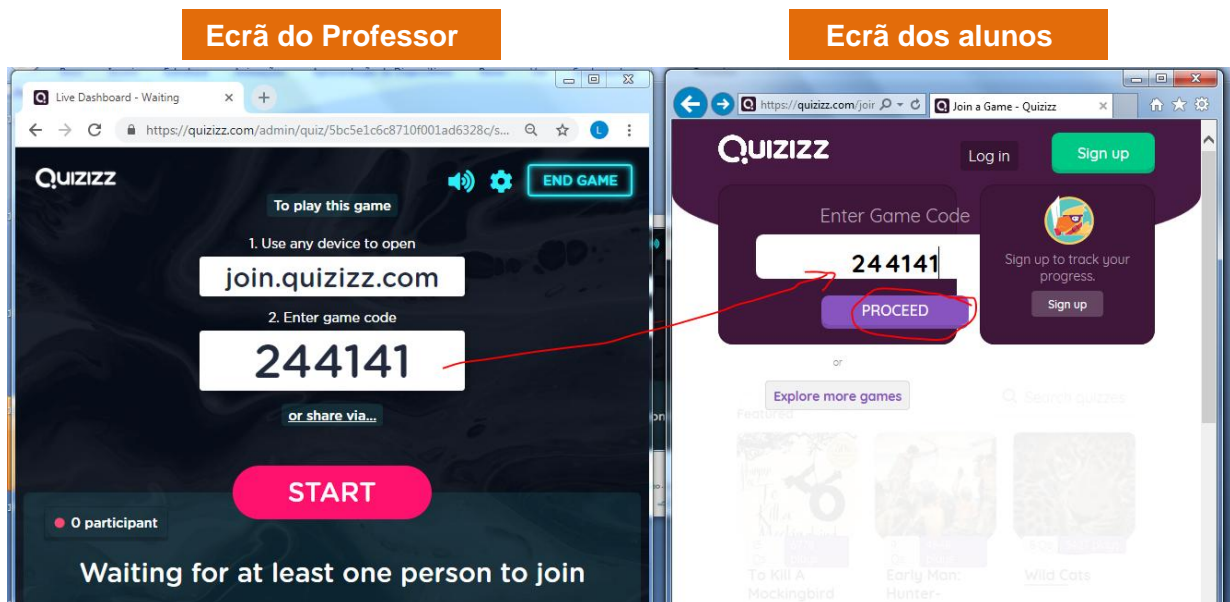
### 3. Escolha “Live Game” e defina:

- Shuffle Questions – Baralha as perguntas. A ordem de apresentação das perguntas passa a ser aleatória.
- Shuffle Answer Options – Baralha as respostas. A ordem das respostas de cada pergunta passa a ser aleatória.
- Show Answers – Mostra as respostas depois corretas depois de o jogador ter respondido
- Show Quiz Review – Mostra todas as perguntas e respostas depois do jogo terminar.
- Show Leaderboard – Mostra os melhores jogadores
- Question Timer – Os estudantes recebem mais pontos quando respondem mais rápido
- Show Memes – Mostra imagens divertidas depois de cada pergunta
- Play Music – Toca música nos dispositivos dos jogadores

### 4. Clique em “Proceed”.



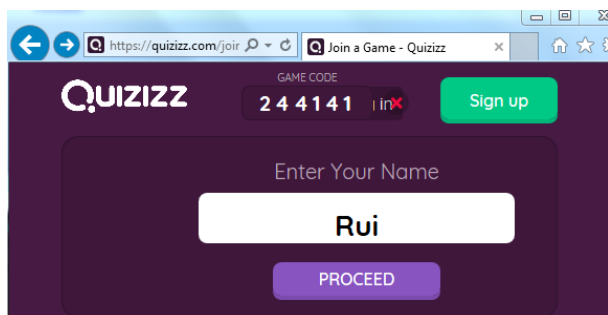
5. Será gerado um código para entrar no jogo. Para jogar, os alunos entram em [www.join.quizizz.com](http://www.join.quizizz.com) e inserem o código do jogo.



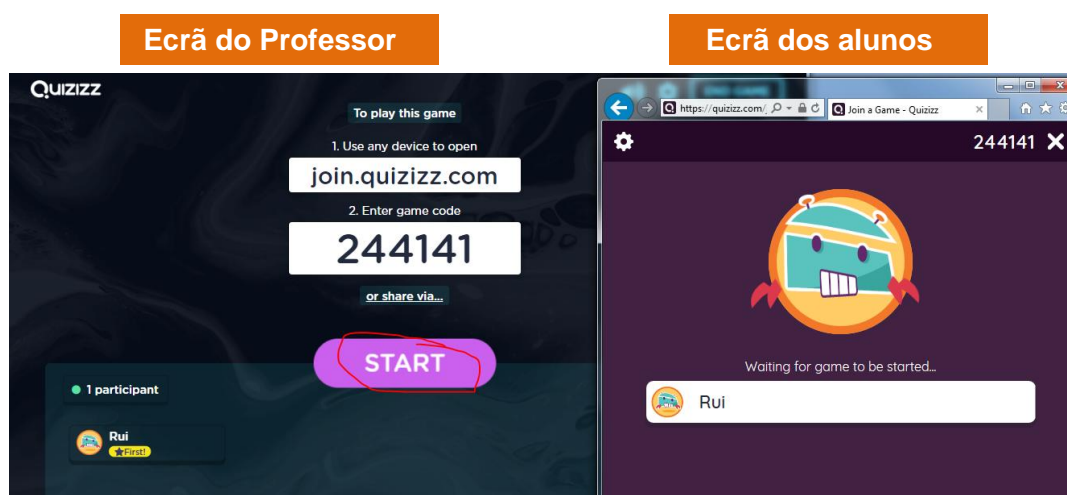
6. Cada aluno escreve o seu nome



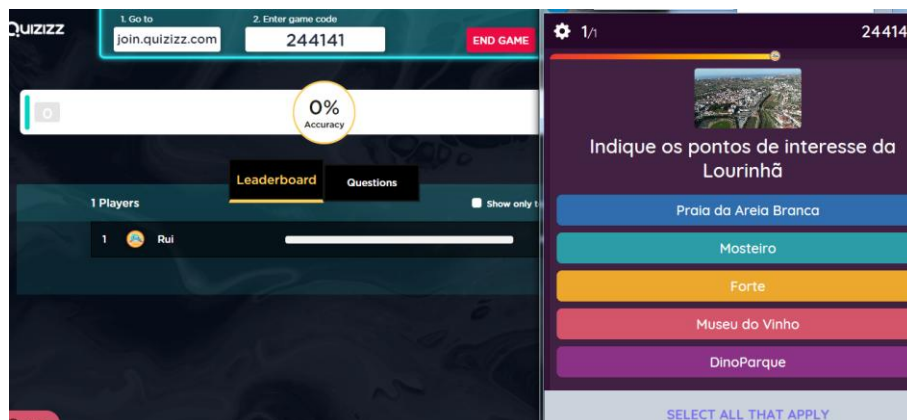
## Manual Software Ensino-aprendizagem: Quizizz



- Os alunos que entram no jogo aparecem na área do professor. Clique em "Start" para iniciar.

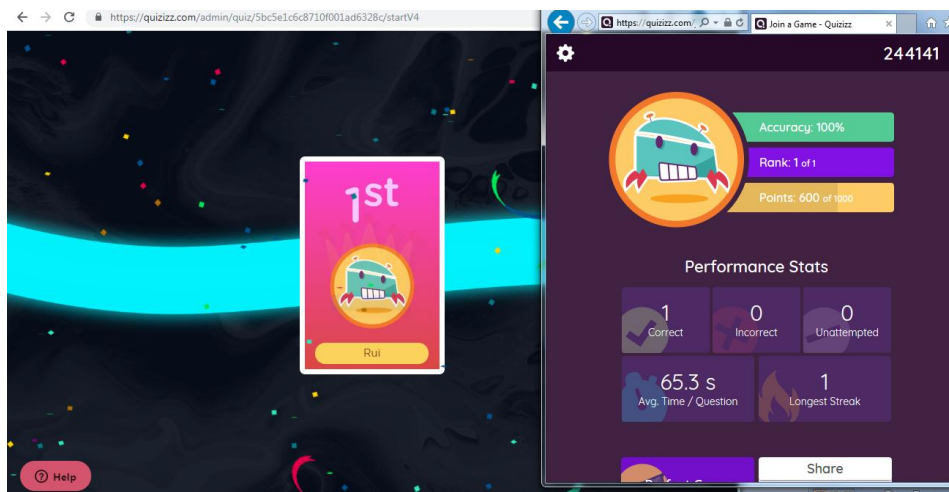


- Enquanto os alunos jogam, o professor pode acompanhar a evolução do jogo

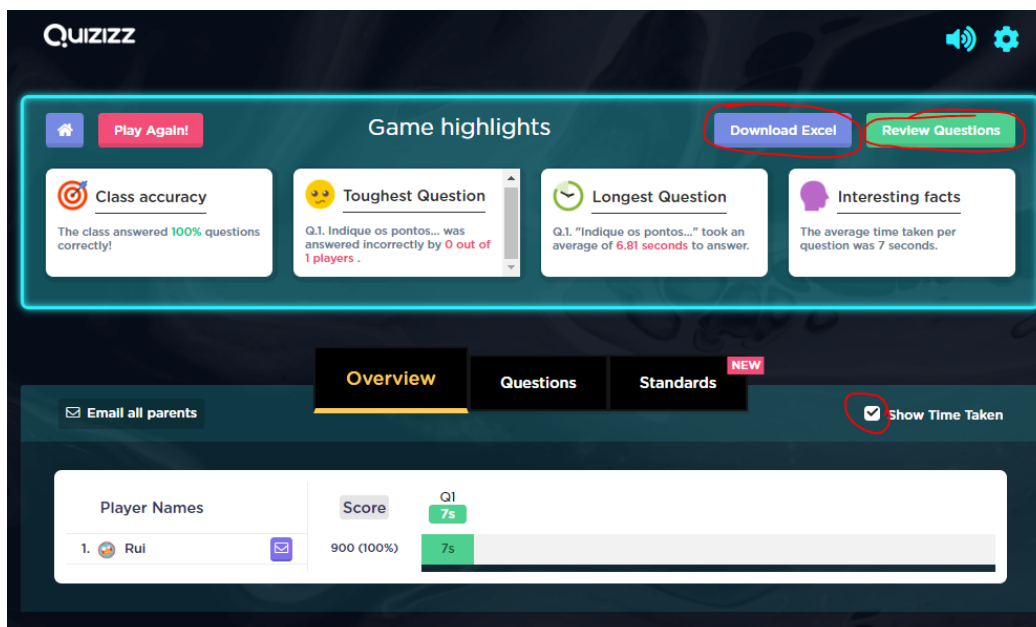


- Quando o jogo terminar será informado sobre os melhores jogadores.

## Manual Software Ensino-aprendizagem: Quizizz



10. Também terá acesso a um a estatísticas do jogo



11. No topo direito tem as opções:

- Review Questions – Pode rever as perguntas e respostas de todos os alunos
- Download Excel – Pode fazer o download de um ficheiro excel com:
  - Respostas da turma
  - Prestação de cada jogador

## Manual Software Ensino-aprendizagem: Quizizz

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Quizizz: Concelho da Lourinhã				
Quiz started on: Tue 16, Oct 01:31 PM Total Attendance: 1 Average Score: 900				
Questions	Class Level			Player Level
	# Correct	# Incorrect	# Unattempted	Rui
Indique os pontos de interesse da Lourinhã	1	0	0	Praia da Areia Branca, DinoParque
<b>Total</b>	1	0	0	900
<b>Accuracy</b>	100%			100%
<a href="#">Player level data in next Sheet!</a>				
Time is represented in Europa				

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Quizizz: Concelho da Lourinhã				
Quiz started on: Tue 16, Oct 01:31 PM Total Attendance: 1 Average Score: 900				
Players	Score	Accuracy	Started At	Info
Rui	900	100%	Tue 16, Oct 01:35 PM	IP Address: 62.28.152.41 IE on Other
Time is represented in Europa				

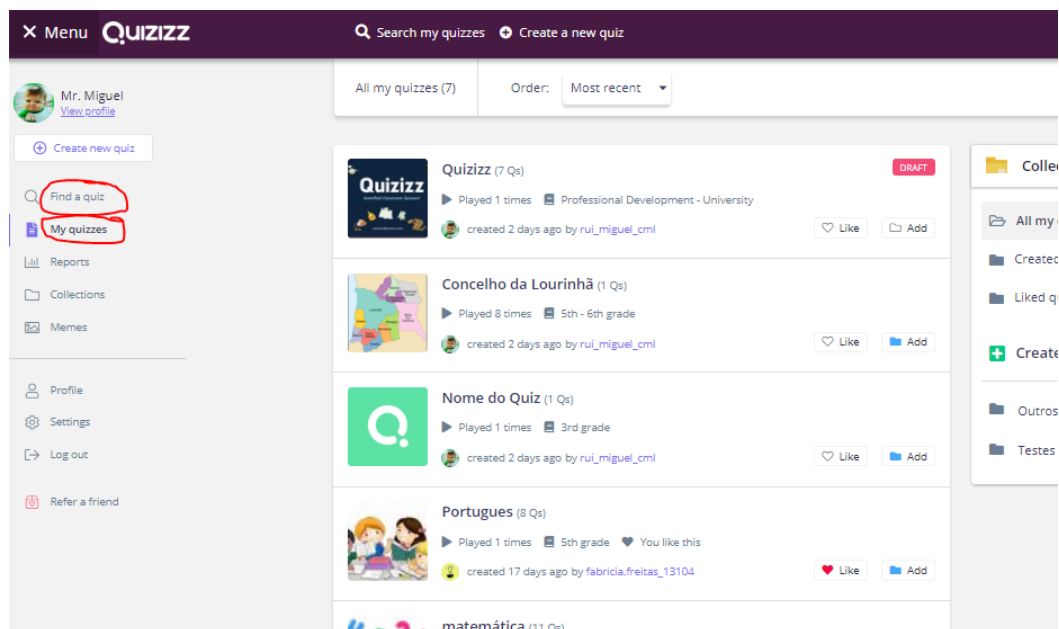
Pode aceder, fazer download e gerir todos os relatórios de todas as sessões na secção “Reports”

The screenshot shows the Quizizz admin interface with a list of reports. The 'Reports' section is highlighted in the sidebar. The main table displays the following data:

Type	Quiz name	Total players	Accuracy	Actions
HW	Concelho da Lourinhã Completed 2 hours ago	1	100%	Download, Edit, Delete
LIVE	Concelho da Lourinhã Completed 12 minutes ago	1	100%	Download, Edit, Delete
LIVE	Concelho da Lourinhã Completed 40 minutes ago	1	100%	Download, Edit, Delete
LIVE	Nome do Quiz Completed 4 hours ago	1	100%	Download, Edit, Delete
LIVE	Basic Math Formative Assessment Completed a day ago	1	80%	Download, Edit, Delete

## 3.2. Jogo como Trabalho de Casa

1. Escolha um Quiz:
  - Procurando
  - Na área “My Quizzes”



2. Escolha o Quiz e clique em “Homework Game” Para definir uma data e horário limite para completar o conjunto de perguntas.