



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CCT
UNIDADE ACADÊMICA DE FÍSICA - UAF
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA**

CÉSAR TEIXEIRA RODRIGUES

**ENSINO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA À LUZ DA BNCC: UMA
ANÁLISE DOCUMENTAL**

CAMPINA GRANDE – PB

2021

CÉSAR TEIXEIRA RODRIGUES

**ENSINO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA À LUZ DA BNCC: UMA
ANÁLISE DOCUMENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Física, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Mirleide Dantas Lopes.

**CAMPINA GRANDE – PB
2021**



R696e Rodrigues, César Teixeira.
Ensino de Nanociência e Nanotecnologia à luz da
BNCC: uma análise documental. / César Teixeira
Rodrigues. - 2021.

60 f.

Orientadora: Professora Dra. Mirleide Dantas
Lopes.

Monografia - Universidade Federal de Campina
Grande; Centro de Ciências e Tecnologia; Curso de
Licenciatura em Física.

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. 3.
Alfabetização científica. 4. Ensino de Física. 4.
Base Nacional Curricular Comum. 5.
Interdisciplinaridade. 6. Física e educação. 7.
Análise documental. I. Lopes, Mirleide Dantas. II
Título.

CDU: 53:37(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CNPJ nº 05.055.128/0001-76

COORDENACAO DE GRADUACAO EM FISICA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900
Site: <http://cct.ufcg.edu.br> - Telefone: (83) 2101-1100

DECLARAÇÃO

Processo nº 23096.061614/2021-84

CÉSAR TEIXEIRA RODRIGUES

ENSINO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA À LUZ DA BNCC: UMA ANÁLISE DOCUMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Física, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Física. Campina Grande, 15 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

PROFA. DRA. MIRLEIDE DANTAS LOPES (UFCG/CCT/CG)
ORIENTADORA

PROF. GUILHERME ANGELO MOREIRA BERNARDO
MEMBRO EXTERNO

PROFA. DRA. DAISY MARTINS DE ALMEIDA (UFCG/CCT/CG)
MEMBRO INTERNO

CONCEITO DA DEFESA: 9,0



Documento assinado eletronicamente por **DAISY MARTINS DE ALMEIDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/10/2021, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Angelo Moreira Bernardo, Usuário Externo**, em 22/10/2021, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002](#),

de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **MIRLEIDE DANTAS LOPES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/10/2021, às 20:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1872473** e o código CRC **0D5E6918**.

Referência: Processo nº 23096.061614/2021-84

SEI nº 1872473

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que fizeram parte da minha trajetória durante o curso e que sempre me apoiaram sob quaisquer circunstâncias. Dedico especificamente à minha família que sempre me deu apoio tanto psicológico quanto financeiro, e que sempre me incentivaram a estudar.

Todas essas pessoas foram muito importantes nesta trajetória, entretanto, este trabalho dedico especialmente a uma pessoa que sempre admirei muito, e que foi uma das pessoas mais inteligentes que conheci; um grande amigo, meu irmão Mateus. Lembro como se fosse hoje, o dia em que ele foi comigo ao departamento de física para que eu fizesse minha matrícula no curso. Hoje ele infelizmente já não está mais aqui para me ver finalizando aquilo que de certa forma começamos juntos. Permanece em mim essa pessoa incrível que sempre esteve presente comigo em festas, em momentos de descontração, em momentos difíceis, e muitos outros. Não só isso, Mateus foi sobretudo meu companheiro de estudos, tanto em casa, quanto na UFCG. O vazio que ele deixou foi grande, mas sua memória habita em mim, em minha família e todos aqueles que tiveram a oportunidade de conhecê-lo. Amamos-te, Mateus!

AGRADECIMENTOS

Há uma série de pessoas que eu gostaria de agradecer durante esta minha trajetória. No entanto, focarei naqueles que foram cruciais para a minha formação.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, por todo apoio financeiro, moral, e por sempre me incentivarem a estudar.

Gostaria de agradecer a todos os meus professores, em especial ao professor Dr Alexandre Campos e a professora Dra Daisy Martins, que me orientaram desde início do curso, a partir de projetos, e conversas que foram essenciais para a minha formação como futuro professor.

Agradeço minha orientadora Mirleide, pelos ensinamentos durante este período.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos de curso, que sempre estiveram ao meu lado durante esta trajetória.

Agradeço a oportunidade de ter participado em diversos projetos durante esta minha trajetória, em especial ao projeto DROPS de Física, no qual participei praticamente desde o início da graduação.

“Educar é crescer. E crescer é viver. Educação é, assim, vida no sentido mais autêntico da palavra”.

Anísio Teixeira

RESUMO

Nos últimos anos, diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas a partir dos saberes científicos e elas influenciam diretamente o nosso dia a dia. Neste ínterim, uma área do conhecimento que vem cada vez mais fazendo parte do nosso mundo vivencial é a Nanociência e a Nanotecnologia (N&N), temática essencialmente interdisciplinar, uma vez que envolve conhecimentos de diversas áreas como: a Física, a Química e a Biologia. É interessante que assuntos atuais, como a N&N, sejam abordados em um ambiente no qual os indivíduos tenham um primeiro contato com as ciências, ou seja, na escola. Abordar temas contemporâneos em sala de aula pode fazer com que os alunos compreendam como funcionam as tecnologias, que muitas vezes estão presentes em seu dia a dia, contribuindo com o processo de Alfabetização Científica destes estudantes. As descobertas tecnológicas também acabam influenciando no desenvolvimento das legislações educacionais, dentre elas a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Em seu escopo, este documento visa a implementação de temas contemporâneos em sala de aula. Deste modo, a presente pesquisa tem como objetivo analisar de que forma a BNCC favorece o ensino de Nanociência e Nanotecnologia na educação básica. Este documento é estruturado através de competências e habilidades, que são desenvolvidas por meio dos saberes científicos. Nossa investigação partiu de uma pesquisa documental, em que procuramos entender, inicialmente, como a BNCC trata a interdisciplinaridade e a Alfabetização Científica. Além disso, identificamos quais habilidades estão vinculadas a conceitos relativos à N&N. Este procedimento resultou em uma análise do documento estruturada em três categorias, a saber: Interdisciplinaridade; Alfabetização Científica e Saberes Científicos. Também realizamos uma pesquisa bibliográfica, com o intuito de discutir a BNCC a partir dos referenciais teóricos que pudessem fundamentar as categorias elencadas. Observamos, em nossa análise, que a implementação da BNCC favorece a abordagem da N&N na educação básica. Nos últimos anos esta abordagem já vem sendo realizada, mesmo que de forma incipiente, por esta razão, almejamos que os resultados da pesquisa ora realizada possam orientar outros pesquisadores que trabalham com a respectiva temática, bem como professores que atuam na educação básica.

Palavras-chave: Nanociência. Nanotecnologia. Alfabetização Científica. Interdisciplinaridade

ABSTRACT

In the last few years, several technologies have been developed based on scientific knowledge and they directly influence our daily lives. Meanwhile, an area of knowledge that is increasingly making part of our experiential world is the Nanoscience and the Nanotechnology (N&N), an essentially interdisciplinary theme, since it involves knowledge from several areas such as: Physics, Chemistry and Biology. It is interesting that current affairs, like the N&N, are approached in an environment in which people have a first contact with the sciences, that is, at school. Addressing contemporary themes in the classroom can make students understand how technologies work, which are often present in their daily lives, contributing to the scientific literacy process of these students. Technological discoveries also end up influencing the development of educational legislation, including the BNCC. In its scope, this document aims to implement contemporary themes in the classroom. Thus, this research aims to analyze how the BNCC support the teaching of Nanoscience and Nanotechnology in the Basic Education. This document is organized around competencies and skills, which are developed through scientific knowledge. Our investigation started from a documental research, in which we tried to understand, initially, how the BNCC deals with interdisciplinarity and scientific literacy. Moreover, we identify which skills are linked to concepts related to N&N. This procedure resulted in an analysis of the document divided into three categories, namely: Interdisciplinarity; scientific literacy and scientific knowledge. We also carried out a bibliographical research, in order to discuss the BNCC from the theoretical references that could support the listed categories. We observed, in our analysis, that the implementation of the BNCC supports the N&N approach in the Basic Education. In the last few years, this approach has already been carried out, even if incipient, for this reason, we hope the results of the research now carried out can guide other researchers who work with this respective theme, as well as teachers who work in Basic Education.

Keywords: Nanoscience. Nanotechnology. Scientific Literacy. Interdisciplinarity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA	9
2.1	UM MUNDO INCRIVELMENTE PEQUENO	9
2.2	CONCEPÇÃO HISTÓRICA	17
2.3	ABORDAGEM NA EDUCAÇÃO BÁSICA	20
3	ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	28
3.1	DIFERENTES ABORDAGENS	28
3.2	INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	31
3.3	INTERDISCIPLINARIDADE COMO CONDIÇÃO PARA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	34
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	36
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA FONTE	37
4.3	METODOLOGIA DE ANÁLISE	38
5	ANÁLISE E DISCUSSÕES	40
5.1	INTERDISCIPLINARIDADE.....	40
5.2	ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	41
5.3	SABERES CIENTÍFICOS	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

Diversas áreas do conhecimento científico vêm se consolidando nos últimos anos, trazendo melhores resultados e abrindo novos horizontes no desenvolvimento de produtos tecnológicos. Desta forma, nascem inúmeras inovações, causando grandes impactos na sociedade e muitas delas acabam fazendo parte do cotidiano dos indivíduos.

Neste contexto, um ramo que vem se consolidando é a Nanociência e a Nanotecnologia (N&N). A Nanociência investiga fenômenos da matéria na escala atômica e molecular, já a Nanotecnologia é a aplicação desse conhecimento para desenvolver materiais e técnicas nesta escala, com o intuito de realizar aplicações (SCHULZ, 2013).

A Nanociência e suas aplicações mostram-se a cada dia mais difundidas no que diz respeito a novos materiais e compostos, tornando assim os produtos mais eficientes. Estas aplicações já estão presentes no cotidiano e os exemplos são muitos: protetores solares, telefones celulares, tecidos, cosméticos, medicamentos, dentre outros. Isto porque esta área do conhecimento tem sido incorporada em diversos setores como: indústria química, agricultura, indústria automobilística e eletrônica (CLEBSCH; WATANABE. 2017).

Além de todas as contribuições que essas aplicações oferecem à sociedade, esta área do conhecimento também tem sido muito requisitada no enfrentamento à pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19. Uma das investigações realizadas nesta perspectiva é a análise do código genético do vírus, que apresenta dimensões da ordem da escala atômica e molecular, em que a N&N são empregadas (CARDOSO *et al.*, 2020).

Em um contexto no qual diversas inovações tecnológicas estão presentes no cotidiano dos indivíduos, é de suma importância que se tenha por parte destes uma melhor compreensão acerca destas aplicações. A conscientização em relação ao desenvolvimento tecnológico e suas aplicações pode ser trabalhada através do ensino de ciências na educação básica, pois é neste espaço que os alunos terão seus primeiros contatos com as ciências, logo, é importante que neste ciclo os estudantes possam desenvolver um senso crítico e reflexivo acerca das tecnologias que os cercam.

Nesse cenário, o processo de Alfabetização Científica do estudante pode fazer com que ele se torne uma pessoa que compreenda a natureza das ciências e assim os conflitos éticos de sua prática (SASSERON; CARVALHO, 2011). Esta é uma forma de permitir que os indivíduos e futuros profissionais se posicionem de forma mais consistente em diversas situações do mundo vivencial. Pensando nesse contexto, a N&N é uma excelente via de acesso para favorecer a Alfabetização Científica.

As descobertas tecnológicas e suas respectivas aplicações também acabam impactando no desenvolvimento das legislações educacionais. Os documentos norteadores nacionais planejam uma educação que ampare uma formação em que o aluno seja capaz de lidar com o conhecimento científico. Com relação ao ensino de ciências, esses documentos norteadores fazem a recomendação de introduzir temas contemporâneos e a Nanociência e Nanotecnologia se encaixam nessas características.

Abordar temas contemporâneos em sala de aula pode resultar na melhoria da aprendizagem do aluno, pois é no processo de contextualização dos conteúdos que o estudante pode compreender que aquilo que ele estuda não está distante de sua realidade, ao contrário, está muito presente, uma vez que o mesmo faz uso de celulares, computadores, dentre outros aparelhos tecnológicos que são fabricados mediante o uso da N&N.

A Base Nacional Comum Curricular, documento no âmbito educacional recentemente implementado no Brasil, tem como recomendações temas contemporâneos para a educação básica (BRASIL, 2018). Desse modo, a Nanociência e a Nanotecnologia se enquadram nessa perspectiva e, a partir deste contexto, buscamos no presente trabalho investigar quais subsídios presentes na Base Nacional Comum Curricular favorecem a abordagem da Nanociência e da Nanotecnologia na educação básica.

A partir desta análise, almejamos que o material ora produzido possa servir de referência para o desenvolvimento de novas investigações no âmbito da N&N na educação básica, de forma contextualizada e interdisciplinar, atendendo especialmente o que é preconizado na BNCC.

2 NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

2.1 UM MUNDO INCRIVELMENTE PEQUENO

Diversas áreas do conhecimento vêm se desenvolvendo nos últimos séculos, isso deve-se à busca do ser humano em se debruçar sobre novos horizontes. A partir de então, surgem novas tecnologias que vêm causando grandes revoluções ao longo das gerações e, conseqüentemente, contribuindo de certa forma para o desenvolvimento da sociedade, pois estas inovações acabam fazendo parte do cotidiano das pessoas.

Uma área do conhecimento científico que vem se consolidando nos últimos anos, prometendo aplicações tecnológicas inovadoras e vislumbrando novos paradigmas a partir de estruturas nanométricas, é denominada de Nanociência e Nanotecnologia.

O prefixo “nano” é de origem grega e quer dizer a bilionésima parte de alguma coisa (SCHULZ, 2005). Desta forma, nanômetro significa a bilionésima parte do metro. A área do conhecimento científico que estuda propriedades fundamentais de moléculas e estruturas nesta escala é denominada de Nanociência, e a aplicação desses saberes é a Nanotecnologia (ALVES, 2004). Em outras palavras, a Nanociência estuda fenômenos na escala atômica e molecular e a manipulação de estruturas nesta escala, enquanto a Nanotecnologia é a concepção de estruturas nesta dimensão, com o intuito de se desenvolver novas tecnologias (SILVA; TOMA, 2018).

Para uma melhor compreensão e visualização do leitor no que diz respeito à escala nanométrica, na Figura 01 é ilustrada a relação de proporcionalidade entre uma nanopartícula e uma bola de futebol, e entre esta e o planeta Terra.

Figura 1 – Relação de proporcionalidade entre uma nanopartícula uma bola e o planeta Terra.



Fonte: Guazzelli e Perez (2009).

Segundo Silva e Toma (2018) alguns textos da literatura geralmente abordam um intervalo específico de 1 nm a 100 nm para definir a escala em que a Nanociência e Nanotecnologia atuam, porém, ao se tratar desta área do conhecimento científico, não se deve levar em conta apenas a dimensão dos nanomateriais, mas também as mudanças das propriedades que eles poderão exibir.

Tem sido muito comum dizer que a Nanotecnologia trabalha somente com nanomateriais cujas dimensões estão compreendidas entre 1 - 100 nm, ou seja, dentro de uma faixa específica da nanoescala. Não é bem assim! Isso não pode ser tratado como uma regra fixa, que exclui os materiais com tamanhos maiores que 100 nm e menores que 999 nm (SILVA, TOMA, 2018, p. 18).

Na verdade, essa escala específica, compreendida entre 1nm e 100nm, é uma definição dada pela Comissão Europeia para designar nanomateriais em função da presença de partículas nestas dimensões (SCHULZ, 2013). Em outras palavras, esse intervalo limitado é apenas uma convenção, pois conforme Silva e Toma (2018) já haviam mencionado, alguns materiais apresentam mudanças em suas propriedades quando atingem tamanhos maiores que 100nm.

Para uma melhor compreensão do leitor, a Tabela 1 apresenta alguns elementos que possuem dimensões nanométricas, como DNA e o vírus, e outros que possuem uma escala bem reduzida, mas que não estão na escala nanométrica, como um fio de cabelo e os glóbulos vermelhos. Conforme a tabela, note que em 1nm podemos enfileirar impressionantes 10 átomos.

Tabela 1 – Relação entre tamanhos de diferentes estruturas.

Elementos	Escala
Átomo	0,1nm
DNA (diâmetro)	2nm
Vírus	15nm-150nm
Glóbulos Vermelho	2000nm-5000nm
Fio de Cabelo (diâmetro)	50.000nm

Fonte: Próprio autor (2021).

Ao se realizar pesquisas científicas e suas possíveis aplicações, os pesquisadores sempre almejam fazer isto buscando algumas finalidades. No que diz respeito à N&N, uma das primeiras motivações para se desenvolver materiais em

escala nanométrica reside na possibilidade de aumentar o número de componentes eletrônicos, desenvolvendo, desta forma, dispositivos cada vez menores. Esta possibilidade de miniaturização leva a muitas aplicações tecnológicas, permitindo assim uma melhor qualidade de processamento de dados.

O interesse em pesquisas relativas a esta área do conhecimento não está relacionado apenas à miniaturização dos materiais, o que de fato pode levar a uma série de aplicações, mas, como já mencionamos, quando se trabalha na escala nanométrica, o mesmo material pode apresentar propriedades diferentes das que apresenta quando se encontra na escala macroscópica. Isto porque, nas dimensões nanométricas as leis da Física são distintas das leis com as quais estamos mais habituados. Em decorrência disso, não trabalhamos mais com a Física clássica, mas sim com a mecânica quântica, pois, conforme Pimenta e Mello (2004):

A teoria quântica é um ramo da Física que explica, entre outras coisas, o comportamento dos átomos e dos elétrons na matéria. De acordo com ela, os elétrons podem se comportar como ondas, o que se manifesta de forma mais clara quando o material tem dimensões nanométricas. Para amostras com um número pequeno de átomos, o comportamento dos elétrons se assemelha ao observado para as vibrações da corda de um violão, que – como é sabido – só são bem definidas para certos valores de frequência. Esta limitação sobre o movimento dos elétrons, conhecida como confinamento quântico, tem efeito direto sobre diferentes propriedades físicas das amostras nanoscópicas, como, por exemplo, sua cor e sua condutividade elétrica (PIMENTA, MELLO, 2004, p. 10).

Dentre os diversos exemplos de mudanças de propriedades dos nanomateriais, quando estes se encontram em dimensões nanométricas, podemos destacar o ouro. Este material na escala macroscópica apresenta uma coloração muito conhecida por todos nós que é o dourado, mas quando ele tem suas dimensões reduzidas para a nanoescala, o ouro não apresenta mais as mesmas propriedades. Em decorrência disto, sua coloração varia em função do tamanho das nanopartículas (GUAZZELLI; PEREZ, 2009).

Outro exemplo de mudanças de propriedade quando uma amostra é reduzida à escala nanométrica ocorre com os materiais metálicos. Sabemos que estes materiais na escala macroscópica se comportam como condutores, mas quando são reduzidos à escala nanométrica, eles podem se tornar um material isolante (PIMENTA; MELLO, 2004).

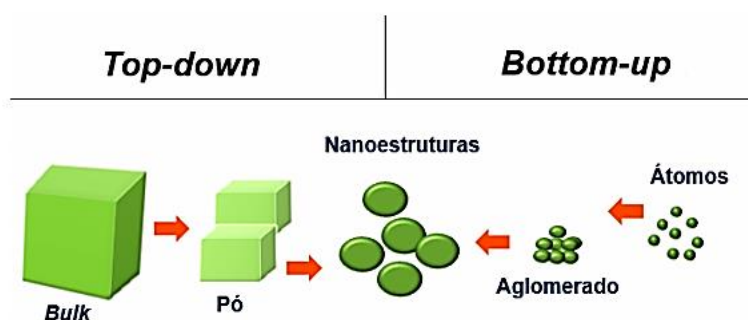
Dentre as propriedades apresentadas, outra característica muito importante dos nanomateriais está no fato de que suas propriedades também estão relacionadas aos efeitos de área superficial que eles apresentam. Isto quer dizer que quando um determinado material é reduzido da escala macro para a escala nano, estes efeitos de superfície aparecem (ZANELLA; FAGAN; BISOGNIN, 2009).

Em outras palavras, quanto mais for triturada uma amostra, mais evidentes serão os efeitos de superfície, em razão do aumento de sua área superficial total (PIMENTA; MELLO, 2004). Desta forma, a amostra irá proporcionar uma maior área de contato via superfície, aumentando assim a intensidade das reações. Fazendo uma analogia, quando se pega um comprimido efervescente inteiro e o coloca em um copo com água, a interação desse comprimido será diferente de quando ele estiver fragmentado, pois, neste caso, sua interação com a água será maior quanto menor forem as partículas que o constituem.

Essas nanoestruturas possuem uma grande quantidade de aplicação na indústria por apresentar essas propriedades de área superficial, estas podem ser utilizadas para aumentar a interação com uma determinada substância de interesse. Assim como acontece quando o comprimido que é triturado seu volume permanece o mesmo, mas sua área superficial aumenta, aumentando a superfície de contato, desta forma quando misturado na água, a interação entre ambos aumenta.

Para a obtenção de materiais em escalas nanométricas, ao longo dos anos em que se realizaram pesquisas nesta área, foram sendo desenvolvidas técnicas capazes de alcançar esta dimensão. Com isso surgiram duas formas de se obter nanoestruturas, a primeira delas é denominada de (i) de *Top-down* (TP) e (ii) *Bottom-up-down* (BD) Uma esquematização desses dois processos se encontra na Figura 2.

Figura 2 - Esquematização de produção de nanopartículas.



Fonte: Dias (2015).

(i) *Top-down* – TD

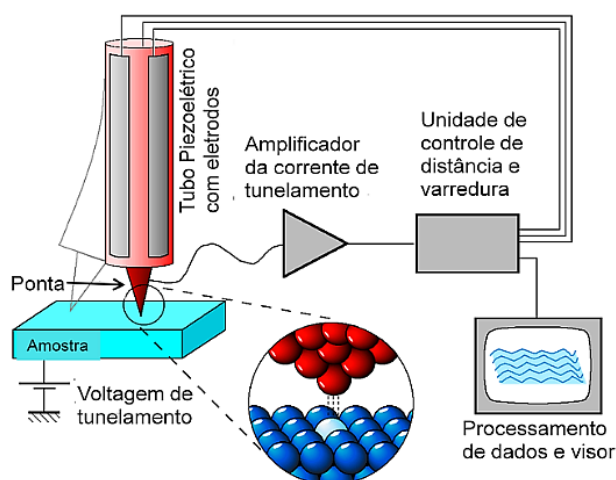
A vereda *Top-down* ou de cima para baixo consiste em partir de uma estrutura maior para se obter nanoestruturas, do “macro” ao “micro” até finalmente se chegar ao “nano”. Este processo basicamente consiste na retirada de um excesso de material existente em uma estrutura macroscópica até se obter uma estrutura nanométrica. Para se obter uma nanoestrutura nesta abordagem, normalmente se vale de técnicas conhecida como processo de litografia.

O termo litografia é uma palavra derivada do grego e seu significado é “escrever na pedra”. No contexto da Nanotecnologia, a litografia é utilizada na abordagem TD em série de etapas de ataques químicos, muito precisos, que acabam “esculpindo” o excesso de material em um objeto macroscópico até se obter desta forma um objeto nanométrico (PIMENTA; MELLO, 2004).

(ii) *Bottom-up* – BU

A vereda *Bottom-up*, ou “de baixo para cima”, é basicamente a criação de estruturas, átomo por átomo. Essa técnica consiste em depositar átomos e moléculas com o intuito de organizá-las para se obter alguma aplicação tecnológica de interesse (FERREIRA; RANGEL, 2009). É, portanto uma abordagem de construir materiais a partir de átomos ou moléculas assim como um pedreiro constrói uma casa tijolo por tijolo.

Figura 3 – Esquemática de um microscópio de tunelamento quântico.



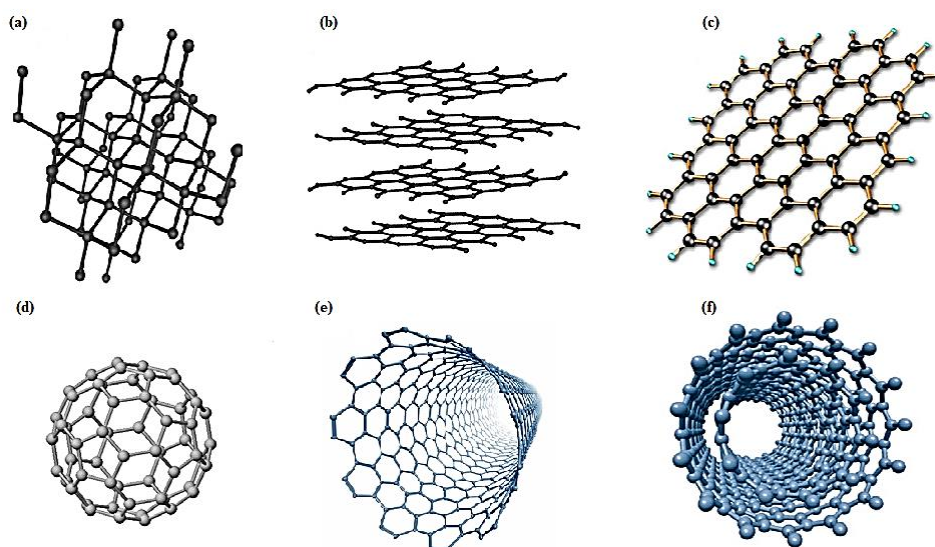
Fonte: Santos (2010).

A manipulação dos átomos e moléculas só foi possível a partir do desenvolvimento de uma tecnologia chamada de microscópio de sonda por varredura (Figura 3). Esta tecnologia começou a ser desenvolvida nos anos 80, com a invenção do microscópio de tunelamento quântico.

O processo de funcionamento deste microscópio basicamente consiste no fato dele possuir uma ponta muito fina, constituída por uma quantidade reduzida de átomos, que percorre toda a superfície. Por esta ponta, sob certas tensões elétricas, passa uma corrente que emerge da superfície do material e é chamada de corrente de tunelamento. Esta ponta é capaz de arrancar um único átomo e depois depositá-lo em outro ponto da superfície (SCHULZ, 2005). Logo, é uma maneira de manipular átomos, assim como uma criança consegue montar um brinquedo de lego.

Dentre os nanomateriais mais investigados atualmente, destacam-se aqueles que são constituídos por um dos elementos químicos mais abundantes da natureza, o carbono. Este elemento possui uma gama de variedades alotrópicas e muito interessantes, ou seja, ele se liga de forma diferente, formando materiais distintos.

Figura 4 - Alótropos do Carbono.



Fonte: Adaptada de Oliveira e Zarbin, (2013).

Na natureza encontram-se duas formas alotrópicas naturais do carbono muito conhecidas, sendo a primeira delas o diamante (Figura 4 a)) e a segunda o grafite (Figura 4b)), mas também podem ser obtidas de forma sintetizada para pesquisas

relacionadas à nanotecnologia, a exemplo do grafeno (Figura 4c)), o fulereno (Figura 4d)) e os nanotubos de carbono (Figura 4 e,f)). Essa variedade de nanomateriais a partir de ligações distintas do carbono, oferece a cada uma delas propriedades diferentes e, em decorrência, garante a possibilidade de realizar muitas aplicações em diversas áreas.

O grafeno (Figura 4c) é um material conhecido mundialmente, muito divulgado em diversos meios de comunicação. De acordo com Bassalo (2010) o grafeno é um material bidimensional hexagonal, similar a uma colmeia de abelha, possuindo espessura de um átomo (1 angstrom), composto por uma lâmina de grafite.

Conforme Segundo e Vilar (2017), além de possuir esse formato hexagonal, seus átomos são hibridizados no formato sp^2 , esta configuração garante que este material possua elétrons livres para cada átomo de carbono no orbital p . Essa configuração torna este alótropo do grafite apto a ser utilizado de diversas maneiras diferentes.

O grafeno anos antes de ser obtido, já havia sido previsto teoricamente em (1947, 1956, 1958) (BASSALO, 2010). Antes de ser de fato ser sinterizado com sucesso, houve uma tentativa de obtê-lo em 2002 pelo casal de físicos Gene e Mildred Dresselhaus, usando uma técnica de esfoliação química, no entanto não obtiveram sucesso e acabaram obtendo um material de dimensão 3D. Finalmente, em 2004, Andre Geim em conjunto com Konstantin Novoselov conseguiram obter o grafeno, utilizando outra técnica simples desenvolvida por eles e seus colaboradores, composta por fitas adesivas (BASSALO, 2010). Devido a esta descoberta, o Prêmio Nobel de 2010 foi concedido a estes dois físicos.

Para a síntese do grafeno utiliza-se uma técnica de certa forma simples, a partir do grafite ultrapuro, é feita neste uma esfoliação mecânica de suas camadas e desta forma adquire o grafeno (SCHULZ, 2013). Dentre outras formas de sintetização do grafeno existentes, esta é a que foi utilizada inicialmente por Geim e Novoselov.

Por possuir uma estrutura única, o grafeno tem um grande interesse científico devido a diversas propriedades que ele possui, como resistência mecânica maior que o aço, mobilidade eletrônica mais elevada que o silício e uma condutividade elétrica maior que o cobre (SILVA; TOMA 2018). Em razão disso, o grafeno apresenta uma possibilidade de aplicações em materiais de polímero, sensores, transistores, dispositivos eletrônicos portáteis e sistemas de armazenamento de energia, entre outras (SEGUNDO; VILAR, 2017).

Os fulerenos (Figura 5d) foram descobertos em 1985, por Robert Curl, Harold Krato e Richard Smalley (ALVES, 2004). Consiste basicamente em uma molécula com formato esférico, constituída exclusivamente por átomos de carbono, possuindo hibridização sp^2 . Apesar de ter sido descoberta em 1985, o fulereno foi sintetizado pela primeira vez em 1990 por W. Kraschmer, L.D. Lamb, K Fostiropoulos e D. Rhuffan (BASSALO, 2010). Este é o exemplo mais conhecido dentre os fulerenos, representado como C_{60} contendo 60 átomos de carbono.

Já os nanotubos de carbono podem ser descritos teoricamente a partir do enrolamento de uma folha de grafeno, formando assim um cilindro (FAGAN; FILHO, 2007). Eles foram descobertos no Japão em 1991, por Iijima (ALVES, 2004). Em decorrência dessas novas possibilidades de forma do grafite, a descoberta destes dois alótropos abriu novos horizontes na Química e na Física do carbono (HERBST; ROCCO, 2004).

De acordo com Oliveira e Zarbin (2013) os nanotubos estão divididos em dois tipos, o primeiro, conhecido como nanotubo de parede simples (NPS) (Figura 4e)), e o segundo é formado a partir de mais de uma folha de grafeno, este é conhecido como nanotubo de paredes múltiplas (NPM) (Figura 5f)), estas folhas estão separadas por uma distância equivalente (3,4 Å). Quanto ao número de folhas de grafeno dos nanotubos de carbono este é um tipo de classificação dentre as existentes.

Como são formados de maneiras distintas, os nanotubos de carbono apresentam características diferentes. Os NPS podem ser metálicos e semicondutores (PIMENTA; MELLO, 2010). Já os NPM, por sua vez, sempre apresentam condutividade metálica. A condutividade térmica dos NTC é uma das mais altas já observadas, superando a do diamante (OLIVEIRA; ZARBIN, 2013).

Os nanotubos de carbono, sejam de paredes simples ou múltiplas, possuem propriedades com uma grande possibilidade de aplicações e, a partir dos estudos destas propriedades e entendendo como elas funcionam, muitas propostas de aplicações foram pensadas em relação a esse alótropo do carbono, como por exemplo a obtenção de compósitos condutores ou de alta resistência mecânica, ou seja, a união de outras matérias com estes nanotubos para se obter outros produtos com melhores qualidades (HERBST; MACEDO; ROCCO, 2004). Outro exemplo é o desenvolvimento de dispositivos para o armazenamento de energias, sensores, dentre outros.

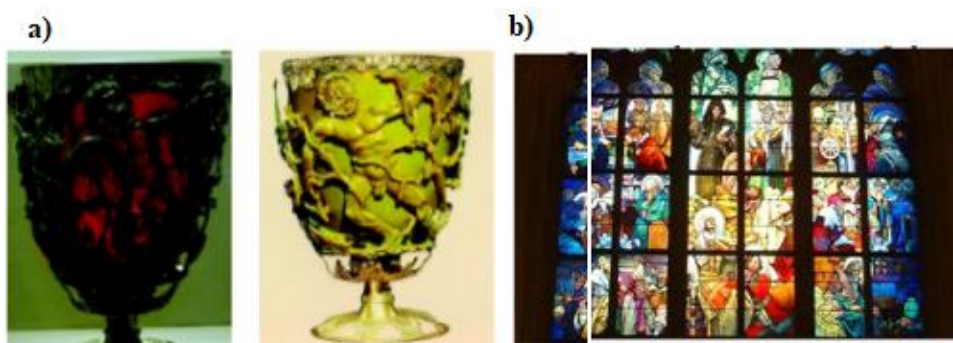
Um dos maiores objetivos da N&N é obter nanoestruturas com propriedades inusitadas, que não são comumente observadas na maioria dos materiais conhecidos. Logo, pesquisar e desenvolver nanomateriais com estas características possibilita realizar muitas aplicações, pois o ser humano sempre está em busca de desenvolver materiais com o intuito de substituir os já existentes, oferecendo melhores desempenhos. A síntese desses novos alótropos do carbono, como os nanotubos, assim como o grafeno, abriu diversos novos horizontes para o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações.

O desenvolvimento desses nanomateriais, tal como são conhecidos hoje, esteve associado a toda uma construção histórica dessa área do conhecimento. Nesta perspectiva, todo esse processo, que se deu ao longo dos anos, teceu bases para que essa área do conhecimento científico pudesse ser desenvolvida, e teve início mesmo antes de se conhecer a escala na qual os átomos e moléculas são inseridos.

2.2 CONCEPÇÃO HISTÓRICA

A manipulação de materiais não é algo recente na história da humanidade. Na antiguidade, o ser humano utilizava algumas técnicas que acabavam produzindo materiais nanoestruturados de forma não intencional. A essa época não se conhecia bem a natureza da matéria, apenas as suas propriedades na escala macroscópica e como elas poderiam ser modificadas a depender da técnica de manipulação. Essas mudanças de propriedades eram aproveitadas para produzir o que hoje definimos como “nanoartesanatos” (SCHULZ, 2007).

Figura 5 - Imagens de nanoartesanatos. a) Cálice de Licurgu e b) Vidraças de igrejas medievais.



Fonte: Schulz (2005) e Silva, Andrade e Barboza (2016).

Um dos artefatos constituído por nanopartículas mais antigo conhecido é o cálice de Licurgo (Figura 5. a)). Ele data do século IV D.C e é feito com um material contendo nanopartículas de ouro e de prata, de modo que, quando a luz branca incide sobre o cálice, ela é refletida apresentando uma coloração verde, no entanto, esta mesma radiação luminosa apresenta uma coloração diferente quando refratada, ou seja, quando atravessa o cálice, tornando-se avermelhada (SCHULZ, 2005). Hoje sabemos que essas diferentes colorações se dão pelo fato das partículas de diferentes tamanhos em suspensão no vidro influenciarem na luz absorvida, refletida ou refratada pelo material.

Outro exemplo de manipulação de nanomateriais de forma não intencional são os vitrais das igrejas medievais, conforme ilustrado na (Figura 5. b)) (ANDRADE; BARBOSA, 2016). Quando eles foram criados, não foram utilizadas tintas para a sua confecção, mas sim partículas de ouro moída, de diversos tamanhos, que resultava em tonalidades diferentes do vidro. A técnica consistia em moer finamente o ouro em diversos tamanhos de partículas e diluir no vidro ainda líquido para que as partículas se dispersassem e ficassem em suspensão com o resfriamento do vidro. Essa variação de coloração que observamos ocorre devido à incidência de raio luminoso sobre o vidro e devido aos variados tamanhos das partículas de ouro individual em cada parte deste material.

A tinta nanquim é mais um exemplo da manipulação desses nanomateriais por povos antigos (SOUZA; LEONEL, 2009). Ela é produzida utilizando nanopartículas de grafite suspensas na água. Veja que desde o princípio o ser humano já manipulava esses nanomateriais, mesmo não conhecendo suas propriedades mais fundamentais.

Ao olharmos para um passado mais longínquo, veremos que a própria ideia de átomo surge ainda na Grécia antiga, com os filósofos atomistas Demócrito e Leucipo (SCHULZ, 2007). À essa época não se conhecia as dimensões dessas nanoestruturas, porém já havia o interesse de se investigar a matéria em sua escala mais fundamental.

Com o passar dos séculos, o homem através de intensas pesquisas descobriu como essas propriedades funcionam e aprendeu a desenvolver e a manipular muitos outros nanomateriais para se obter propriedades mais fascinantes ainda do que estas.

Quando falamos em história das ciências e de tecnologias nos perguntamos quando surgiu um determinado conceito científico ou quem foi o grande criador de tal

teoria. Essas perguntas contribuem para entendermos como se dá o processo de construção das ciências, mas muitas vezes essas histórias são mal contadas.

A história de uma tecnologia emergente é durante um tempo mal contada, e com a nanotecnologia não foi (não é) diferente. Alguns marcos históricos são artificialmente criados, como hoje a famosa palestra do físico Richard Feynman, proferida em 1959, no Caltech, intitulada “There is plenty of room in the bottom” (SCHULZ, 2013, p. 54).

A história da N&N começa com algumas confusões. Comumente, toda área do conhecimento científico tem algum cientista sendo nomeado como precursor. Muitos definem Richard Feynman como sendo o “Pai da Nanotecnologia” ou “Profeta da Nanotecnologia”, basta uma pesquisa no google para que muitos resultados neste sentido apareçam. Até hoje essa referência a ele é respalda em diversos textos. Tudo isso se deu por causa de uma palestra que Feynman proferiu em 1959, no encontro anual da sociedade americana de Física (APS), no Instituto de Tecnologia da Califórnia, essa palestra foi intitulada de “Há mais espaço lá embaixo” (FEYNMAN, 1959).

Feynman chamou a atenção para o fato de que quando se trabalha em uma escala muito pequena, ou seja, na dimensão atômica e molecular, as leis da Física são baseadas na mecânica quântica. À época, entre tantas outras colocações feitas em sua palestra, ele propôs que seria possível colocar na cabeça de um alfinete todos os volumes da enciclopédia britânica. Com essa hipótese, Feynman ventilou a ideia de miniaturização da informação, algo muito promissor para a sua época.

Com o intuito de investigar isso, Schulz (2018) busca entender melhor o real motivo de Feynman ter sido nomeado como “pai da Nanotecnologia” e o contexto histórico no qual essa palestra foi proferida. A história da Nanotecnologia não começa apenas em um determinado momento, é um pouco mais complexa do que isso. Ela teve vários antecessores e alguns desses, de certa forma, poderiam ter influenciado Feynman a planejar a sua palestra.

Segundo Schulz (2018), três anos antes da palestra proferida por Feynman apareceu no artigo “Molecular Engineering” de Arthur Von Hippel, “em vez de partir de materiais pré-existentes poderíamos construir materiais a partir de átomos e moléculas”. Em seu artigo Arthur Von Hippel também destaca a importância da interdisciplinaridade, em que a engenharia molecular poderia envolver outras áreas

do conhecimento, como Física, Química e Biologia. Em 1958, um ano antes da palestra proferida por Feynman, o engenheiro Jack Kirby já havia idealizado a possibilidade de se miniaturizar componentes eletrônicos ao depositar a patente intitulada "circuitos eletrônicos miniaturizados", dessa forma nascia o circuito integrado.

O próprio termo Nanotecnologia foi criado anos depois da palestra proferida por Feynman. Este termo foi cunhado em 1974 por Norio Taniguchi ao descrever máquinas que tivessem tolerância inferiores a um micron (1.000nm) (ALVES, 2004).

A ideia desta discussão é evidenciar o fato de que a ciência é uma construção humana e como tal é feita por inúmeras pessoas, em diferentes épocas. Definir um cientista como pai, mãe ou profeta de uma área do conhecimento é negar tantas outras, bem como apresentar de forma equivocada a construção do conhecimento científico.

As propostas levantadas por Feynman durante a aludida palestra, de 1959, já estavam no "ar". No entanto, contemporaneamente, esta palestra pode ser considerada como parte de nossa cultura científica, uma vez que é citada por boa parte dos referenciais teóricos da área, seja como um marco inicial ou problematizando a paternidade desta discussão.

À época da palestra, antes da conclusão dela, Feynman propôs atividades voltadas para as escolas da educação básica, relacionadas à miniaturização. Para ele, abordar este tipo de assunto em sala de aula teria como proposta provocar o interesse dos estudantes (FEYNMAN, 1959).

Visto que, atualmente, o ensino de N&N ainda não é muito recorrente na educação básica, ainda temos alguns desafios para a inserção desta temática nas escolas. No entanto, o interesse por esse tipo de abordagem vem aumentando, devido a sua importância e por ser possível estabelecer um diálogo com o contexto dos estudantes. Desta forma, diversas propostas de aplicação vêm sendo estudadas para serem implementadas no contexto escolar.

2.3 ABORDAGEM NA EDUCAÇÃO BÁSICA

As tecnologias, de um modo geral, são desenvolvidas à luz de diversas áreas do conhecimento científico e estão presentes em nosso cotidiano, não há como negar o impacto delas em nossas vidas. Em decorrência disso, usualmente vivemos sob

influência tecnológica de diversos produtos. A partir desta perspectiva, torna-se necessário estabelecer um diálogo muito pertinente no que diz respeito a: como levar esse conhecimento científico que está por trás destas tecnologias para as pessoas e quais são os impactos em suas vidas.

Uma maneira pela qual podemos levar estas implicações e o funcionamento destes temas ao conhecimento das pessoas, a princípio, é através de um ambiente no qual o indivíduo tem um dos primeiros contatos com questões relacionada à ciência, ou seja, na educação básica. Assim, torna-se possível na escola inserir assuntos como a N&N através de aulas relacionadas a ciências. Portanto, é essencial que não apenas os alunos, mas também os professores conheçam mais sobre esta área do conhecimento e suas devidas potencialidades.

Nos últimos anos, conteúdos relacionados à N&N paulatinamente vêm sendo contemplados nas escolas da educação básica. Geralmente, quando ocorre algum tipo de aplicação nesse sentido, são realizadas através da participação de estudantes de graduação ou pós-graduação, a partir de projetos de pesquisa relacionados à educação (BERNARDO; FIGUEIREDO; LOPES, 2016). Muitos destes pesquisadores e estudantes desenvolvem metodologias, materiais para se aplicar nas aulas de ensino de ciências do Ensino Médio, objetivando, a partir disto, aproximar os estudantes desta área do conhecimento científico, que vem causando grandes revoluções. (BERNARDO, 2019)

Partindo dos componentes curriculares da educação básica, podemos destacar a Física. O Ensino de Física pode contribuir muito abordando esta temática através do ensino de ciências. Desta forma, a N&N pode ser inserida no Ensino Médio através da Física Moderna e Contemporânea (FMC), conforme se destaca no seguinte trecho:

Pensando no ensino do tema: Nanociência e Nanotecnologia, nas escolas de ensino básico no Brasil, a Física, enquanto ciência e componente curricular, tem muito a contribuir com o entendimento do mesmo. Assim, seria papel, principalmente, mas não exclusivamente, dos professores de Física abordarem este tópico, o qual pode contemplar o conteúdo programático de FMC. (TONET; LEONEL, 2019, p. 439).

Concordamos com Leonel e Souza (2009) quando apontam que o ensino de Ciências, particularmente a Física no Ensino Médio, não tem acompanhado temas atuais, como os avanços científicos e tecnológicos. Este distanciamento pode acabar fazendo com que os estudantes percam o interesse pelos assuntos que geralmente

são abordados em sala de aula. Além disso, acabam corroborando para que os mesmos acabem não refletindo sobre tais tecnologias.

Dentre estes temas atuais, as aplicações da N&N, mesmo condizendo com o contexto dos estudantes, Lima e Almeida (2012) apontam que este é um tema muito pouco abordado em sala de aula. Outro ponto que estas autoras destacam, é que ela por ser de natureza interdisciplinar possui relações com os conceitos e conteúdos abordados na educação básica, dentre estes, estão as aulas de Ciências, destacando alguns exemplos de conteúdos como: as unidades de comprimento na matemática, além do magnetismo, da mecânica e formas de energia na Física.

De certa forma, esses apontamentos supracitados pelos autores, reiteram que temas contemporâneos são poucos abordados em sala de aula. Por outro lado, reforçam a ideia da necessidade de abordar esses temas no âmbito escolar.

A maioria dos conteúdos ensinados nas aulas de ciências nas escolas ainda preconizam assuntos tradicionais. No entanto, de maneira oposta, os documentos norteadores da educação básica, em seu escopo, fazem a recomendação de abordar temas relevantes e atuais, ou seja, temas contemporâneos, dentre estes documentos estão a BNCC. Eles trazem a importância de se discutir esses assuntos para entender de que forma impactam a sociedade.

Para reforçar esta perspectiva, outro documento que também discute essa abordagem são as Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Neste caso, o documento sugere um conjunto de temas contemporâneos, que podem ser inseridos pelo professor em suas aulas. Dentre esses temas, as Orientações Curriculares abordam especificamente a Nanotecnologia (BRASIL, 2006).

Com relação a inserção de tópicos como a Nanociência e Nanotecnologia, é importante entender o que os professores da educação básica compreendem em relação a este tema, e como essa abordagem pode ser inserida em sala de aula. Na literatura existem artigos que tentam entender estas relações, como os trabalhos de Tomkelski, Scremin e Fagan (2019), Tonet e Leonel (2019).

Devido as suas características, há uma relação entre a Nanociência e Nanotecnologia com os conceitos de ciências abordados no Ensino Médio. No entanto, Silva e Lopes (2015) abordam que alguns professores não percebem essa relação e destacam alguns pontos que podem justificar isso: a falta da discussão da N&N na formação inicial, a não procura em fazer um estudo específico sobre a temática, ou falta de interesse pelo assunto.

Como a N&N surge a partir da Física Moderna e Contemporânea, Ribeiro, Bezerra Júnior e Alves (2015) destacam que existe uma certa dificuldade em abordar tópicos nesta perspectiva em sala de aula, pois muitas vezes os professores não estão preparados com os recursos conceituais e didáticos necessários. Muito embora os temas de N&N sejam pesquisas recentes no Ensino de Física, muitos professores não conhecem este tema para além das leituras de jornais e revistas de divulgação científica.

Quanto à importância da discussão da inserção de temas contemporâneos em sala de aula, também é possível fazer a utilização de outras abordagens em conjunto com estes temas para que os alunos compreendam melhor os fenômenos e conceitos que estão presentes em seu dia a dia. Este tipo de relação pode ser feita através de atividades experimentais que podem complementar a aprendizagem de determinado conteúdo, pois o estudante relaciona o conceito com a observação de fenômeno. No entanto, ainda existe uma ideia de que para abordar atividades relacionadas a estes temas contemporâneos são necessários equipamentos muito sofisticados, mas sabemos que não é bem assim. Com a N&N não é diferente, conforme aponta Schulz (2007, p. 04):

A percepção da Nanociência é muitas vezes associada a imagens de que se trata de uma atividade humana desenvolvida em laboratórios demasiadamente sofisticados e caros. Associações deste tipo podem criar barreiras à predisposição de crianças, jovens, adultos leigos em se deixar instigar pelo tema.

Logo, para a abordagem da N&N é prescindível a utilização de laboratórios sofisticados para levar a compreensão dos conceitos desta área do conhecimento. Desta forma, é possível o desenvolvimento de um material didático de baixo custo para o entendimento da N&N, fazendo com que a partir desta abordagem, torne-se viável aproximar os estudantes das estratégias centrais desta área do conhecimento. Com materiais didáticos de baixo custo, também é possível levar aos estudantes umas das características mais importantes da N&N que é a percepção de escala de tamanho (SCHULZ, 2007).

Além de materiais didáticos de baixo custo para a abordagem da Nanociência e Nanotecnologia, uma das maneiras mais viáveis de se inserir a este tópico em um ambiente escolar é através da utilização de objetos de aprendizagem (AO's). Segundo Ellwanger *et al.*, (2012) estes são recursos digitais dinâmicos, interativos e

reutilizáveis em diferentes ambientes de aprendizagem elaborados a partir de uma base tecnológica.

Existem muitos objetos de aprendizagem que podem ser utilizados em sala de aula para complementar a explicação dos conceitos relacionados à N&N, dentre eles: animações, através das quais se verifica a diminuição da escala de alguns objetos, partindo da escala “macro” até o nível atômico; vídeos; simulações; e imagens.

De acordo com Silva, Andrade e Barbosa (2016), os objetos de aprendizagem são de fácil manipulação e podem facilitar muito a compreensão de fenômenos e conceitos da Nanociência e Nanotecnologia. Isto se deve a esses recursos terem sido desenvolvidos com o intuito de levar uma linguagem bem acessível aos estudantes. Uma das principais fontes para se encontrar objetos de aprendizagem que abordam conceitos de N&N é o espaço virtual “MAIS UNIFRA” (MAIS UNIFRA, 2011).

O processo de transposição didática é muito frequente em praticamente todos os componentes curriculares. Esta abordagem baseia-se na possibilidade de levar o conhecimento produzido pelos cientistas, definido como “saber sábio”, para as salas de aula. Quando o “saber sábio” é materializado nos livros didáticos, dizemos que houve uma primeira transposição didática e este saber definimos como “saber a ensinar”. Na última etapa desse processo, o professor tem papel preponderante e ao abordar estes conhecimentos em sala de aula, eles passam a ser definidos como “saber ensinado” (CHEVALLARD, 1991). Como a N&N é uma área do conhecimento científico bem recente, este processo ainda está em construção.

Nos últimos anos os conceitos relacionados à N&N vêm sendo abordados nos livros didáticos da educação básica. Este assunto foi tema de uma investigação realizada por Filho e Monteiro (2013). Os autores partiram de uma amostra inicial de 15 livros didáticos de Física do Ensino Médio, área disciplinar de nosso interesse. Após a apreciação destes, eles encontraram apenas dois livros que contemplavam a N&N. De acordo com a análise realizada, os autores concluíram que as abordagens sobre este tema encontram-se contempladas no contexto da Física Moderna e Contemporânea, sendo relacionadas à teoria quântica. Quanto ao conteúdo abordado, eles observaram que os livros descrevem vagamente a origem desta área do conhecimento e apontam algumas aplicações. Além disso, os autores não identificaram neste material discussões sobre os possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente que as aplicações tecnológicas associadas à N&N podem causar.

Na contemporaneidade, não foram encontrados artigos científicos atualizando essa discussão. No entanto, atualmente é possível identificá-la com maior frequência nos livros didáticos da educação básica, inclusive não necessariamente relacionada à FMC (BONJORNNO *et al.*, 2016). A abordagem sobre N&N vêm surgindo também de forma relacionada às escalas métricas, problematizando o termo “nano”, conceito cuja compreensão é fundamental para o entendimento dos temas relacionados à N&N (TORRES *et al.*, 2016). Um melhor detalhamento destas abordagens será feita a seguir.

Nesta perspectiva, com o intuito de fazer uma atualização em relação ao artigo de Filho e Monteiro (2013), analisamos os aspectos apresentados por esses autores para averiguar como os assuntos estão sendo abordados em livros mais atuais. Desta forma, identificamos e analisamos quatro livros didáticos que contemplam o Plano Nacional do Livro Didático (BRASIL, 2017).

Tabela 2 – Livros didáticos analisados.

Livro	Referência
L₁	TORRES, C.M.A.; FERRARO, N.G.F.; SOARES, P.A.T.; PENTEADO, P.C.M. Física Ciência e Tecnologia: Eletromagnetismo, Física Moderna. v.3. São Paulo: Moderna: 2016
L₂	BONJORNNO, J.R.; RAMOS, C.M.; PRADO.; BONJORNNO, V.; BONJORNNO, M.A.; CASEMIRO, R.; BONJORNNO, R.F.S.A. Física: Mecânica. v.1. São Paulo: FDT: 2016
L₃	MARTINI, G.; SPINELLI, G.; REIS, H.C.; ANNA, B.S. Conexões com a Física: Eletricidade Física do século XXI. v.3. São Paulo: Moderna: 2016.
L₄	MAXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES. Física & Aplicações. v.1.São Paulo: Editora Scipione: 2016

Fonte: Próprio autor (2021)

É importante destacar que o processo de transposição didática em relação à N&N é recente, logo é comum encontrar em livros que abordam esta temática alguns equívocos. Em nossa análise, encontramos um exemplo disso em L₄, quando os autores apresentam uma data equivocada para o recebimento do prêmio Nobel relativo à descoberta do grafeno, e também quando definem um nanotubo de carbono de parede simples como sendo um nanotubo de carbono de paredes múltiplas. Isto

revela o pouco refinamento em relação à temática quando trazida para a educação básica.

Quanto aos possíveis impactos que a N&N podem causar à saúde humana e ao meio ambiente, apenas em um livro, dentre os analisados, aborda esta discussão, o L₃. É importante frisar que um ensino de ciências que almeje evidenciar os aspectos positivos e negativos do desenvolvimento científico e tecnológico e suas aplicações, irá favorecer o processo de Alfabetização Científica dos estudantes.

Em relação à abordagem histórica, no que diz respeito ao possível surgimento desta área do conhecimento, em L₁ essa abordagem é feita de forma mais cuidadosa, pois os autores apresentam alguns conceitos relativos à Nanotecnologia que surgiram anos antes da palestra realizada por Feynman. Segundo o texto, costuma-se datar a origem da Nanotecnologia em 1959 e 1960 por ocasião desta palestra, porém esta não parece ser a visão dos autores. Já em L₃, essa concepção histórica é abordada trazendo a perspectiva de que a palestra proferida por Richard Feynman foi visionária e profética, pois nela, segundo o texto, Feynman apresentou ideias inovadoras e apesar de não datar a palestra como marco inicial, os autores fazem a toda a discussão em torno deste contexto histórico. Quanto aos livros L₂ e L₄, essa preocupação em apresentar uma possível data de surgimento da Nanotecnologia e/ou da Nanociência não é mencionada.

Em concordância com o que já havia sido apontado por Filho e Monteiro (2013), nos livros L₁ e L₃, esta temática surge vinculada à FMC, em capítulos relacionados à Física Quântica. Já os livros L₂ e L₄ apresentam uma temática vinculada a outra perspectiva. Desta forma, em L₂, ela aparece em uma seção intitulada “Pensando em Ciências: Física e Tecnologia”, apresentando uma pequena conceitualização desta área do conhecimento e suas aplicações, um dos exemplos abordados são os processadores e aplicações na área de saúde. Em L₄, a N&N é apresentada em uma seção intitulada de “Aplicações da Física”, na qual os autores trazem algumas considerações a respeito da descoberta de nanomateriais. Porém, tanto em L₂ quanto em L₄, esta discussão surge em uma perspectiva associada a escalas métricas, por esse motivo são dispostas em livros do primeiro ano do Ensino Médio.

Dada a importância de se abordar assuntos da N&N na educação básica, conforme foi discutido, outro ponto que justifica essa inserção é a abordagem da temática em exames vestibulares. Como trata-se de uma área interdisciplinar as questões estão geralmente relacionadas às diferentes áreas como a Física, Química

e Biologia. O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), por exemplo, vem nos últimos anos incluindo em seu banco de questões assuntos relacionados a essa área do conhecimento. Desta forma, conforme apontam Silva e Toma (2018) este exame trouxe termos como “Nanotecnologia”, “nanopartículas” e “nanotubos” nas provas de ciências da natureza e suas tecnologias. Nesta perspectiva, nestes últimos anos o ENEM vem trazendo questões contextualizadas que avaliam o conhecimento dos alunos por meio de enfoques interdisciplinares.

Além deste contexto, um dos grandes responsáveis por estas abordagens, como percebemos é o professor. Uma vez que, este são os disseminadores e mediadores na construção dos conhecimentos. Logo, é necessário desenvolver condições para que estes possam dialogar com este assunto em sala de aula. Principalmente nos cursos de formação de professores, ou na formação continuada.

Abordar temáticas como a N&N em sala de aula, pode contribuir para que os estudantes compreendam como funcionam essas tecnologias e como elas influenciam a sociedade. Desta forma, o processo de Alfabetização Científica do estudante pode fazer com que estes entendam a natureza das ciências, e as relações existentes entre ciência, tecnologia e sociedade.

3 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

3.1 DIFERENTES ABORDAGENS

A educação tem como um dos objetivos oferecer aos indivíduos condições para que estes sejam capazes de exercer a cidadania. Desta forma, existem propostas relacionadas ao ensino de ciências, que além de preocupar-se com os objetivos centrais da educação, também almejam formar cidadãos que consigam construir opiniões sobre as informações que estão a sua disposição e, a partir disso, sejam capazes de tomar decisões em situações que interferem sua vida.

As preocupações que visam a formação de estudantes em relação ao ensino de ciências vêm recebendo a atenção de pesquisadores da educação e da didática das ciências há alguns anos. Desta forma, existem diferentes denominações em relação ao ensino de ciências que objetiva formar estudantes que sejam capazes de em seu vivencial atuar em diversas situações, utilizando aspectos das ciências. Desse modo, é possível encontrar na literatura diversos textos que respaldam essas variações no uso do termo que define um ensino de ciências que se mostra preocupado com a formação de alunos para a ação e atuação na sociedade. Estes termos variam, geralmente, entre Alfabetização, Letramento e Enculturação Científica (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Esta variação de termos surge quando se realiza a tradução de trabalhos da literatura estrangeira. No Brasil, este problema ganha novas proporções, pois a expressão inglesa *Scientific Literacy* vem sendo traduzida como Letramento Científico, enquanto as expressões espanhola (*Alfabetización Científica*) e francesa (*Alphabétisation Scientifique*), literalmente falando, significam Alfabetização Científica (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Em relação a essa variedade de termos, Sasseron e Carvalho (2011) apresentam que, na literatura nacional, alguns autores utilizam estas diferentes terminologias. Desta forma, citam alguns autores como: Santos e Mortimer (2001), que utilizam a expressão “Letramento Científico” (LC), outros adotam o termo “Alfabetização Científica” (AC), como Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Chassot (2003). E também aqueles que utilizam a expressão “Enculturação Científica” a exemplo de Mortimer e Machado (1996). De acordo com Sasseron e Carvalho (2011, p. 60):

Podemos perceber que no cerne das discussões levantadas pelos pesquisadores que usam um termo ou outro estão as mesmas preocupações com o ensino de Ciências, ou seja, motivos que guiam o planejamento deste ensino para a construção de benefícios práticos para as pessoas, a sociedade e o meio-ambiente.

Uma análise realizada por Cunha (2018), a partir de alguns trabalhos da literatura brasileira, apontam praticamente as mesmas preocupações, conforme já mencionadas por Sasseron e Carvalho (2011). Além disso, tanto os que abordam a Alfabetização quanto Letramento Científico são influenciados pelas contribuições da sociologia das ciências, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Porém segundo Cunha (2018) “o espaço que esse enfoque dos impactos da ciência deve ocupar no ensino, em comparação com o espaço a ser dado aos conceitos, termos e processos da ciência, varia de acordo os valores de cada pesquisador da área de ensino de ciências acerca do conhecimento científico”.

Há alguns trabalhos com relação ao ensino de ciências no Brasil que abordam essas discussões, referente aos termos Alfabetização e Letramento Científico. Desse modo, eles são tão pertinentes que acabam sendo respaldados em diversos textos da literatura. Assim, é possível encontrar artigos tais como: Cunha (2018), Bertold (2020), Santos (2007) e Sasseron e Carvalho (2018). Estes autores estão interessados em fazer uma reflexão acerca das denominações e diferenciação em relação aos dois termos já mencionados. Esta discussão é muito importante, pois são terminologias que muitas vezes se confundem. Logo, é pertinente trazer algumas concepções a respeito do que autores concluíram, a partir de suas investigações.

Partindo deste contexto, Bertold (2020) através de uma revisão da literatura, objetiva em primeiro lugar fazer uma distinção entre AC e LC. Em segundo lugar, busca, a partir dessa análise, entender como os autores da área da educação científica usam estes dois termos. Assim, Bertold (2020) conclui que “enquanto para alguns autores trata-se de uma mera variação de denominação, para outros há uma diferença conceitual”.

Nesta mesma perspectiva, Cunha (2018), objetivando entender o que há em comum entre os autores que utilizam a AC e LC, também realiza uma revisão bibliográfica da literatura, almejando identificar o que há em comum entre esses dois grupos. Além disso, buscou identificar qual percepção estes autores possuem acerca destes dois termos. Desta forma, Cunha (2018) conclui o seguinte “os que tratam de Alfabetização Científica consideram fundamental o ensino de conceitos científicos, os

que optam por letramento priorizam, no ensino, a função social das ciências e das tecnologias e o desenvolvimento de atitudes e valores em relação a elas”.

Em uma revisão bibliográfica realizada por Gomes e Santos (2018), estes autores apresentam uma distinção de conceitos entre a Alfabetização e Letramento Científico. Para Gomes e Santos (2018), a Alfabetização Científica “relaciona-se com a capacidade de compreender, utilizar e refletir sobre um tema, utilizando a linguagem científica, promovendo a participação ativa e adequada nas práticas sociais e profissionais”; e letramento científico “relaciona com a função social de um indivíduo utilizando o conhecimento científico”.

Na literatura encontramos outro autor que considera importante fazer essa distinção entre AC e LC como conceitos distintos. Desta forma, Santos (2007) acha pertinente fazer essa diferenciação, pois segundo ele, “na tradição escolar”, a Alfabetização Científica tem sido considerada na acepção do domínio da linguagem científica, enquanto o letramento científico, no sentido e uso da prática social. Desta forma, para empregar o letramento científico tem como intuito segundo Santos (2007) “ênfase a prática social da educação científica”. Assim, essa ênfase das práticas sociais, utilizando o conhecimento científico, destaca sua definição acerca do que seria um indivíduo letrado cientificamente. Nesta perspectiva, ele saberia:

[...] compreender satisfatoriamente as especificações de uma bula de um medicamento; adotar profilaxia para evitar doenças básica que afetam a saúde pública; exigir que as mercadorias atendam às exigências legais de comercialização, como especificação de sua data de validade, cuidados técnicos de manuseio, indicação dos componentes ativos; operar produtos eletroeletrônicos. (SANTOS, 2007, p. 480).

Estas são algumas das perspectivas apontadas por autores que usam o termo Alfabetização Científica ou Letramento Científico, no entanto, Cunha (2018) aponta que, no campo de pesquisas em ensino de ciências, o termo “Letramento” ainda não é muito difundido e, desta forma, predominam, em grande maioria, trabalhos que tratam da Alfabetização Científica, embora tenha sido relevante a contribuição de pesquisadores que abordam o Letramento Científico.

Conforme a literatura, observamos que é possível encontrar diversas expressões para designar o termo Alfabetização Científica. Por isso, consideramos que é necessário discutir quais indicadores tornam um cidadão alfabetizado cientificamente e apresentar perspectivas a partir da visão de diferentes autores.

3.2 INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

A ciência e a tecnologia ao longo dos anos vêm se incorporando em nossa sociedade, além disso vêm influenciando o modo de vida das pessoas. Desta forma, muitos desses desenvolvimentos tecnológicos, de certa forma, podem causar impactos na natureza. Assim, Chassot (2003) chama a atenção para uma Alfabetização Científica que seja reflexiva e transformadora do mundo em que vivemos e de nós mesmos, pois, nossas ações são responsáveis por grande parte mudanças ocorridas na natureza.

[...] seria desejável que os alfabetizados cientificamente não apenas tivessem facilitada leitura do mundo em que vivem, mas entendessem as necessidades de transformá-lo – e, preferencialmente, transformá-lo em algo melhor. Tenho sido recorrente na defesa da exigência de com a ciência melhorarmos a vida no planeta, e não a tornar mais perigosa, como ocorre, às vezes, com maus usos de algumas tecnologias” (CHASSOT, 2003, p. 94).

Contemporaneamente, nas aulas ciências, o ensino geralmente é mais voltado para a perspectiva de memorização dos conteúdos, como as teorias, conceitos, processos científicos e as equações na Física. Desta forma, é interessante que um ensino de ciências também aborde os aspectos positivos e negativos dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos, pois é de suma importância para que um cidadão seja alfabetizado cientificamente.

Furió-Mas *et al.*, (2010) apontam que a Alfabetização Científica são as possibilidades de que a grande maioria da população disponha de conhecimentos científicos e tecnológicos, ajudando-os a resolver problemas e as necessidades de saúde e sobrevivência básica, tomando consciência das relações complexas entre ciência e sociedade. Geralmente, os conteúdos que são abordados em sala de aula não levam os estudantes a fazer uma reflexão crítica entre esses assuntos e o contexto da realidade deles. Desta forma, para que os discentes consigam fazer essas relações críticas, o ensino de ciências deve abordar elementos do mundo vivencial deles.

Desse modo, Lorenzetti e Delizoicov (2001) destacam que a Alfabetização Científica, na perspectiva do ensino de Ciências, não tem como objetivo “treinar futuros cientistas, ainda que possa contribuir. Objetiva sim, que os assuntos científicos sejam cuidadosamente apresentados, discutidos, compreendendo seus significados

e aplicados para o entendimento de mundo”. Nesta mesma perspectiva Chassot (2003) considera a AC como um conjunto de conhecimentos que facilitam homens e mulheres fazerem uma leitura do contexto em que vivem.

Sasseron e Carvalho (2011) utilizam a expressão AC baseada na ideia de alfabetização concebida por Paulo Freire. Desta forma, “a alfabetização deve desenvolver em uma pessoa qualquer a capacidade de organizar seu pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na construção de uma consciência mais crítica em relação ao mundo que a cerca” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 61).

Esse apontamento levantado pelos autores acima citados, enfrenta algumas dificuldades, pois, para que isso ocorra, torna-se necessário que os estudantes sejam ensinados a fazer conexões críticas entre os conhecimentos dos componentes curriculares da escola com os assuntos de seu mundo vivencial. Desta forma, os professores devem deixar evidente aos estudantes que a ciência faz parte de sua vida e não um conteúdo separado de sua realidade (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001).

Em uma revisão da literatura, de acordo com Sasseron e Carvalho (2011), a Alfabetização Científica é estruturada em três eixos: o primeiro é voltado à compreensão básica termos, conhecimentos e conceitos científicos básicos; o segundo, voltado para a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática; e o terceiro: voltado ao entendimento das relações entre, ciência, tecnologia e sociedade.

Diante das perspectivas abordadas, apresentaremos indicadores que consideramos importante para tornar um cidadão alfabetizado cientificamente, quais sejam: 1) Utilizar o conhecimento aprendido em sala para a vida social, estabelecendo relações entre, ciência, tecnologia e sociedade; 2) Discernir a respeito das tecnologias presentes em seu mundo vivencial; 3) Ser capaz de filtrar a quantidade de informações que estão a sua disposição, além de ser criterioso para analisar e buscar novos dados; 4) Desenvolver habilidades argumentativas, a partir de dados e informações que dispõe; 5) Compreender que as aplicações tecnológicas possuem aspectos positivos e negativos. Essa concepção pode levar o indivíduo a saber se posicionar melhor em uma determinada situação no contexto em que vive.

É importante destacar que a Alfabetização Científica é um processo que ocorre durante a vida, assim pode ser desenvolvida inicialmente, especialmente em um contexto no qual se tem um contato com as ciências, ou seja, do ensino fundamental até o ensino médio. Neste sentido, Lorenzetti e Delizocov (2001) apontam que:

[...] a alfabetização científica no ensino de ciências naturais nas séries iniciais é aqui compreendida como um processo pelo qual a linguagem da Ciências Naturais adquire significados, constituindo-se um meio para o indivíduo ampliar seu universo de conhecimento, a sua cultura, como cidadão inserido na sociedade (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001, p. 52).

Dessa forma, a AC não se concretiza apenas com uma determinada atividade, logo é importante o professor “plantar uma semente” nos estudantes, para que possam desenvolver as habilidades de um indivíduo alfabetizado cientificamente. No entanto, é importante destacar que o processo de Alfabetização Científica, em um ambiente escolar nem sempre será concretizado por todos os estudantes, mas a discussão dessa perspectiva de ensino de ciências é de suma importância para uma melhor qualidade de ensino.

Nesse contexto, para que o processo de Alfabetização Científica ocorra através do ensino de ciências na educação básica, um dos grandes mediadores é o professor e, por isso, é importante que esse aspecto do ensino de ciências seja trabalhado na formação inicial e continuada dos professores.

Outro ponto relevante nesta discussão é analisar a perspectiva interdisciplinar, uma vez que realizar a Alfabetização Científica sem pensar neste aspecto é incorrer no erro de pensar que as disciplinas escolares da educação básica, como a Física, são um baú fechado e não fazem correlação umas com as outras, ou com a realidade dos alunos (SOUZA; LAMBACH; CAMAS, 2017).

Um das perspectivas da AC é fazer com que os estudantes desenvolvam uma visão crítica de sua realidade. Como as informações ao nosso redor não são fragmentadas, isso torna nosso mundo interdisciplinar. Logo, durante o processo de Alfabetização Científica o estudante deve conseguir fazer essas correlações. Desta forma, como aponta Souza, Lambach e Camas (2017), a AC e a interdisciplinaridade são dois lados da mesma moeda.

Diante das perspectivas apresentadas, optamos por trabalhar com o termo Alfabetização Científica, pois além de estar mais intrinsecamente relacionado aos aspectos que vinculam a ciência, a tecnologia e a sociedade, este termo descreve melhor a leitura de mundo que é possível ser realizada através da ciência.

3.3 INTERDISCIPLINARIDADE COMO CONDIÇÃO PARA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

O debate sobre a interdisciplinaridade vem sendo realizado ao longo dos anos no âmbito acadêmico. Neste contexto, uma das discussões se volta para a concepção e aplicações no ensino de ciências. Desta forma, Rosa (2015) diante do desejo de pensar a respeito da interdisciplinaridade e sua efetiva presença na escola, busca inicialmente, elucidar o conceito de dois teóricos especializados acerca desta discussão, são eles, Hilton Japiassu e Ivani Fazenda. Estes teóricos se destacam no cenário nacional, pois servem de referência para grandes estudos sobre a interdisciplinaridade. No entanto, há um distanciamento entre suas teses, a interpretação de Japiassu está voltada para a pesquisa científica, e a de Fazenda está voltada para as questões pedagógicas.

Desta forma, Rosa (2015) apresenta a compreensão acerca da interdisciplinaridade defendida por esses dois autores, que, para eles consiste, na busca por um conhecimento universal, constituído em vários saberes, de forma a superar uma perspectiva de um mundo fechado em apenas uma única área do conhecimento.

Mais próxima dessas questões escolares, Fazenda (1994) apud Rosa (2015) entende a interdisciplinaridade como uma atitude, isto é, a habilidade que os professores têm, por exemplo, de exercer trocas com seus pares, que são especialistas disciplinares, com o objetivo de desenvolverem um projeto interdisciplinar diante do conhecimento, como alternativa ao ensino fragmentado.

No contexto escolar a fragmentação do conhecimento em disciplinas traz consigo a ideia de que cada fenômeno acontece de forma isolada, descontextualizada e, muitas vezes, atemporal. No entanto, os problemas postos em nosso cotidiano são de natureza interdisciplinar. Desta forma, trazendo a perspectiva de autores como Camas, Lambach e Souza (2021), a interdisciplinaridade é uma atitude, principalmente, de rompimento de uma velha ideologia, ou seja, de um ensino fragmentado. Desta forma, segundo estes autores, ela permitirá que os estudantes adquiram autonomia crítica de seu mundo vivencial e da Alfabetização Científica.

A interdisciplinaridade não está diretamente preocupada com o conteúdo, mas com a efetividade do ensino e as razões da educação, a qual, por sua vez, está ligada ao registro, a produção, a aquisição e à difusão do

conhecimento. Sobre os conteúdos escolares a aquisição do conhecimento, no escopo deste ensaio, a preocupação reside na alfabetização científica, pois a crítica à sala de aula, é o fato das abordagens de conteúdos parciais, muitas vezes irrelevantes e desconectadas da realidade de cidadãos críticos capazes de transforma-se e de interferir em seu contexto social (CAMAS; LAMBACH; SOUZA, 2021, p. 19).

Tendo em vista que um dos objetivos da Alfabetização Científica na educação básica é levar os estudantes a realizar uma leitura do mundo a sua volta de forma crítica e que o objetivo da interdisciplinaridade é entender que muitas das situações ou disciplinas estão conectadas de alguma forma; Camas, Lambach e Souza (2021) apontam que a Alfabetização Científica e a interdisciplinaridade são dois lados da mesma moeda, cada uma com sua conceituação e objetivos próprios. Contudo, levando em consideração a fragmentação e a compartimentação dos saberes, a Alfabetização Científica sem a interdisciplinaridade pouco conseguiria contemplar de seus objetivos.

De acordo com Fazenda (1979), a interdisciplinaridade representa um resgate de restauração do diálogo entre as disciplinas, especialmente no campo educacional, podendo não apenas servir para responder problemas sociais como também para evidenciar que os saberes não são fragmentados, nem compartimentalizados.

Conforme Rosa (2015) aponta, a prática interdisciplinar na escola tem sido um tanto problemática. No entanto, a autora apresenta algumas propostas de ensino que se mostraram exitosas e podem ser tomadas como referência para os pesquisadores e professores que desejam implementar ações interdisciplinares nas escolas.

O professor é um dos principais responsáveis pela interdisciplinaridade, mas este muitas vezes sente-se constrangido por não realizar atividades que fazem conexão com outras áreas. Desta forma, é preciso esclarecer que sua função consiste em saber que existem outros campos de conhecimentos, mas que a explicação, por exigir diferentes saberes, pode ser realizada por colegas, professores das disciplinas envolvidas e compartilhadas na situação de estudo (ROSA, 2015).

Os projetos interdisciplinares são uma excelente via para se aplicar temas que façam conexões com outras disciplinas em um ambiente escolar, partindo de uma situação real dos estudantes ou de um tema que seja possível fazer essas conexões. A N&N se constituem como uma área do conhecimento extremamente viável para se trabalhar na educação básica, uma vez que esta área é intrinsecamente interdisciplinar, envolvendo saberes de diversas disciplinas, permitindo assim que professores dessas diferentes áreas possam desenvolver atividades integradas.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é de natureza básica, pois, conforme aponta Prodanov e Freitas (2013), este tipo de pesquisa tem como finalidade gerar novos conhecimentos úteis para o avanço da Ciência, sem a previsão de aplicações práticas imediatas, definição que caracteriza a problemática ora investigada.

Quanto à forma de abordagem do problema, trata-se de uma investigação qualitativa. Segundo Prodanov e Freitas (2013), neste tipo de abordagem é usual a interpretação dos fenômenos e atribuição de significados a eles. A pesquisa qualitativa não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. Desta forma, o pesquisador coleta os dados para a pesquisa diretamente de seu ambiente natural. A partir disso, é feita uma análise dos dados intuitivamente.

Dentre os procedimentos da pesquisa básica, destaca-se a análise documental, também utilizada neste trabalho. Este tipo de análise é equivalente à pesquisa bibliográfica, no entanto, Gil (2002) destaca que a diferença entre as duas está na natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica tem como característica as contribuições de vários autores acerca de um assunto de interesse, a pesquisa documental investiga documentos classificados em dois tipos de fontes: primárias e secundárias.

Gil (2002) define os documentos de fontes primárias como sendo aqueles que não receberam nenhum tratamento analítico, tais como: documentos oficiais, reportagem de jornal, cartas etc. Já os documentos secundários seriam os que, de certo modo, já foram analisados, são eles: relatórios de pesquisa, relatórios de empresa, etc. Segundo Gil (2002), a pesquisa documental apresenta diversas vantagens. A primeira delas reside no fato de que os documentos a serem analisados apresentam uma fonte rica e estável de dados. Outra vantagem apresentada por Gil é que não exige contato com sujeitos da pesquisa.

Bardin (1977) define a análise documental como uma operação ou um conjunto de operações com o intuito de representar as informações contidas em um documento sob forma distinta da original, para, em seguida, facilitar sua consulta ou referência. Desta forma, a análise documental tem como objetivo dar um formato apropriado e representar de outro modo essa informação, por intermédio de

procedimentos e transformação. Logo, segundo Bardin (1977), a análise documental permite transformar um documento primário (bruto) em um documento secundário (representação do primeiro).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA FONTE

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um documento, conforme aponta Gil (2002) e Bardin (1977), caracterizado como fonte primária. Neste caso, nosso objeto de pesquisa é a Base Nacional Comum Curricular. Este documento tem caráter normativo e define um conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos devem desenvolver ao longo das etapas da educação básica.

A BNCC apresenta um conjunto de saberes que devem ser trabalhados ao longo da educação básica, por meio de habilidades e competências, que devem ser desenvolvidas junto aos estudantes dessa etapa formativa. É importante destacar que a BNCC não é um currículo, desta forma, ela se apresenta como uma ferramenta com intuito de orientar as escolas de cada região, considerando as particularidades metodológicas, sociais e regionais de cada instituição.

Na BNCC as habilidades são caracterizadas por um código alfanumérico cuja composição pode ser exemplificada por: EM13CNT104. Neste exemplo, o primeiro par de letras (EM) indica a etapa do Ensino Médio; o primeiro par de números (13) indica que as habilidades descritas podem ser desenvolvidas em qualquer série do Ensino Médio; a segunda sequência de letras (CNT) indica a área (três letras) ou o componente curricular (duas letras); por fim, os últimos números indicam primeiramente a competência (1), e os seguintes a habilidade vinculada a esta competência. Desta forma, segundo este critério, o código supracitado, refere-se a quarta habilidade proposta na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias relacionada à competência específica 1, que pode ser desenvolvida em qualquer etapa do Ensino Médio, de acordo com as definições curriculares (BNCC, 2018).

A BNCC voltada para a Educação infantil e o Ensino Fundamental I foi aprovada e homologada em 20 de dezembro de 2017. No entanto, o documento voltado para o Ensino Médio foi aprovado pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) no dia 4 de dezembro de 2018 e homologado pelo Ministério da educação (MEC), no dia 14 de dezembro.

Como trata-se de um documento relativamente novo, é interessante que pesquisas relativas a este tipo de material sejam realizadas, pois é importante que sejam feitas investigações em diferentes aspectos, para que os resultados sirvam de base para outros pesquisadores e professores que atuam da educação básica.

4.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para o tratamento dos dados levantados, utilizamos a análise de conteúdo, metodologia em muito utilizada no âmbito das pesquisas qualitativas e que basicamente se estrutura em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento de dados (GIL 2002 apud BARDIN 1997).

A pré-análise é a etapa em que se faz a escolha dos documentos, a formulação de hipóteses e a preparação do material para a análise. Nesta primeira fase, realizamos uma leitura do texto da BNCC, especialmente dos capítulos 1 e 2, que dispõem sobre a Introdução e Estrutura do documento; do capítulo 4.3, referente à área de Ciências da Natureza no Ensino Fundamental; e do capítulo 5, mais especificamente do item 5.3, que versa sobre a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A exploração do material consiste na análise, envolvendo a escolha das unidades, a enumeração e a classificação. Neste momento, observamos de que forma a BNCC, de um modo geral, trata a interdisciplinaridade e a Alfabetização Científica, especialmente no que diz respeito ao ensino de ciências. Em seguida, realizamos leituras procurando inicialmente por palavras que envolvessem o termo “nano”. Por fim, realizamos uma leitura atenta das competências e habilidades previstas para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, buscando averiguar quais destas seriam viáveis para se estabelecer um diálogo com o ensino de N&N no Ensino Médio. Neste sentido, definimos três categorias de análise a serem investigadas neste documento, são elas:

Interdisciplinaridade: A escolha desta categoria justifica-se pelo fato de a N&N se constituir como uma temática interdisciplinar, pois ela envolve diversas áreas do conhecimento, tais como: a Física, a Química e a Biologia. Tal perspectiva dialoga com a estrutura da BNCC, uma vez que esta apresenta os conhecimentos relativos

às disciplinas citadas de forma essencialmente interdisciplinar, sendo abordados na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Alfabetização Científica: Novas tecnologias vêm sendo difundidas ao longo dos anos, e por estarem presentes no mundo vivencial dos alunos, elas precisam ser trabalhadas ao longo da formação deles, pois é importante que seja discutido como estas tecnologias influenciam e fazem parte de suas vidas. A N&N também já se fazem presentes no cotidiano dos alunos, por essa razão, é fundamental trabalhar os conhecimentos relativos a esta área do conhecimento, ainda na educação básica, no sentido de favorecer a Alfabetização Científica destes discentes, à luz do que preconiza a BNCC.

Saberes científicos: Como a BNCC no Ensino Médio é constituída por competências e habilidades específicas para cada área do conhecimento, que são trabalhadas por meio dos saberes científicos, é interessante observar quais destes saberes estão vinculados a aspectos que podem viabilizar a abordagem da N&N, através da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Por último, a terceira etapa da análise de conteúdo é caracterizada pelo tratamento dos dados, que foi realizado estabelecendo um diálogo com o referencial teórico, trazendo assim mais robustez às informações analisadas.

O diálogo com a literatura é de extrema importância para a realização de qualquer pesquisa científica, em nosso caso viabiliza uma melhor interpretação das categorias elencadas (PRODANOV; FREITAS, 2013). No entanto, observamos que artigos referentes ao ensino de Nanociência e Nanotecnologia na educação básica ainda são poucos, assim como pesquisas envolvendo discussões sobre a BNCC.

5 ANÁLISE E DISCUSSÕES

5.1 INTERDISCIPLINARIDADE

A N&N, em sua essência, constituem-se como uma área interdisciplinar. Deste modo, uma das finalidades desta pesquisa é investigar de que maneira a BNCC aborda a interdisciplinaridade e como este documento poderia justificar o emprego desta área do conhecimento na educação básica. Explicitamente, a interdisciplinaridade é pouco discutida na BNCC, no entanto, em uma leitura da introdução deste documento, encontramos um diálogo referente à temática, que aparece explicitamente no seguinte trecho:

decidir sobre formas de organização interdisciplinar dos componentes curriculares e fortalecer a competência pedagógica das equipes escolares para adotar estratégias mais dinâmicas, interativas e colaborativas em relação à gestão do ensino e da aprendizagem (BRASIL, 2018, p. 16).

Este tema surge quando é feita uma discussão sobre a necessidade de se adaptar os currículos à realidade local de cada sistema ou rede de ensino, uma vez que abordagens interdisciplinares estão diretamente vinculadas aos processos de contextualização dos componentes curriculares.

Em uma leitura mais atenta da BNCC, observamos que essa perspectiva interdisciplinar se manifesta em todo o documento, manifestando-se através de sua estrutura. Neste sentido, percebemos que na parte do Ensino Médio (EM) o documento não é dividido em componentes curriculares, mas em itinerários formativos, quais sejam: linguagens e suas tecnologias, matemática e suas tecnologias, ciências da natureza e suas tecnologias e ciências humanas e sociais aplicadas (BRASIL, 1996; BRASIL, 2018). A área Ciências da Natureza e suas Tecnologias é formada por meio de um olhar articulado entre a Biologia, a Física e a Química. Desta forma, evidenciamos que esta articulação não exclui os saberes específicos de cada disciplina, ao contrário, propõe um trabalho integrado entre elas.

Esse viés de integração entre as disciplinas é amplamente abordado na N&N, pois, componentes curriculares como a Física, a Química e a Biologia podem dialogar entre si para a construção de diversas tecnologias, a partir dessa temática.

Quando nos remetemos ao campo educacional, ao tratar de assuntos relativos à N&N, também podemos fazer essas relações entre as disciplinas para abordar um

determinado conceito ou tecnologia em sala de aula. Como aponta Fazenda (1979), a interdisciplinaridade representa um resgate de restauração de diálogo entre as disciplinas, especificamente no campo educacional, podendo não apenas servir para responder problemas sociais, como também para evidenciar que os saberes não são fragmentados, nem compartimentalizados.

Posto isso, observamos que a própria estrutura da BNCC dialoga com a N&N, pois ambas são essencialmente interdisciplinares. Partindo desta perspectiva, podemos afirmar que a BNCC, de um modo geral, favorece a implementação da N&N na educação básica, uma vez que ao se abordar tal temática, necessariamente, estaremos trabalhando sob a perspectiva interdisciplinar. Desta forma, umas das maneiras de se implementar essa temática seria através de projetos interdisciplinares, a partir dos quais é possível integrar diferentes áreas do conhecimento (PISTOIA; ELLAWANGER; FAGAN, 2017).

5.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Em nosso cotidiano diversos tipos de tecnologias estão a nossa disposição. Desta forma, abordar assuntos vinculados a elas na educação básica torna-se importante para que os alunos tenham conhecimento de como estas tecnologias funcionam e de que forma impactam a sociedade. Partindo desta perceptiva, uma das finalidades deste trabalho é analisar a BNCC, observando como ela se preocupa com este tipo de formação, e de que maneira ela poderia justificar as discussões sobre N&N na educação básica, uma vez que esta temática já se encontra muito presente em nosso mundo vivencial.

Estas preocupações se inserem no contexto da Alfabetização Científica, que, conforme já mencionamos, optamos por abordar pelo fato desta temática estar mais vinculada às relações entre ciência, tecnologia e sociedade, de modo análogo às discussões que ocorrem no âmbito da N&N. É importante ressaltar que a BNCC utiliza apenas o conceito de Letramento Científico, não fazendo menção à Alfabetização Científica. No entanto, a partir dos referenciais teóricos analisados, tomamos como equivalentes os conceitos de Letramento e Alfabetização Científica (SARESSON; CARVALHO, 2011).

Na BNCC, o termo Letramento Científico surge primeiramente na área de Ciências da Natureza, na etapa do Ensino Fundamental, com a seguinte definição

“envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências” (BRASIL, 2018, p 321).

A BNCC aponta que o letramento científico deve ser iniciado no contexto do ensino fundamental, conforme também indicado pelos referenciais teóricos já discutidos (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001). A BNCC preconiza ainda que, “aprender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania” (BRASIL, 2018, p. 547).

É importante destacar que a Alfabetização Científica/Letramento Científico é um processo, podendo ser iniciado desde os primeiros anos da educação básica, mas que deverá ser aprimorado no decorrer de toda a vida.

O termo Letramento Científico também aparece explicitamente na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que é voltada para o Ensino Médio. Neste caso, o documento problematiza o fato de poucas pessoas saberem colocar em contexto os conceitos científicos, objetivando resolver seus problemas cotidianos. O termo aparece também quando é discutida a necessidade de se trabalhar linguagens específicas para abordar os conceitos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, e assim viabilizar o processo de Letramento Científico.

Em se tratando das competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio, há uma preocupação evidente em relação à Alfabetização Científica/Letramento Científico dos estudantes, como podemos observar explicitamente na competência 3:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018, p. 558).

Além dessa discussão que aparece explicitamente no Ensino Fundamental e Médio, em nossa análise identificamos entre as competências gerais da Educação Básica, previstas na BNCC, algumas que em nossa concepção podem estabelecer um diálogo com a Alfabetização Científica. Dentre as 10 competências gerais que a

BNCC assegura que os estudantes desenvolvam, destacamos as competências de número 2, 4 e 7.

A competência número 2 refere-se à utilização da abordagem própria das ciências, tais como, a investigação e a reflexão, para resolver problemas tecnológicos:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BNCC, 2018, p. 09).

Utilizar a abordagens das ciências, elaborar hipóteses, fazer análise crítica, formular e resolver problemas tecnológicos, viabiliza a formação de um cidadão alfabetizado cientificamente.

A competência número 4 fala sobre a utilização de diferentes linguagens, incluindo a científica, para se expressar e compartilhar ideias e informações, em diferentes momentos, para um melhor entendimento de mundo:

Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento do mundo (BNCC, 2018, p. 09).

Lorenzetti e Delizoicov (2001) apontam que a Alfabetização Científica não objetiva a formação de futuros cientistas, no entanto, pode contribuir para isto. Ela tem como finalidade abordar questões científicas em sala de aula, para que os estudantes compreendam seus significados e possam compreender melhor o mundo.

A competência número 7 aborda a argumentação com base em informações fiáveis, para uma tomada de decisões que respeite a consciência socioambiental, bem como um bom posicionamento em relação ao mundo vivencial.

Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideais, pontos de vistas e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, à consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta (BNCC, 2018, p. 09).

Partindo desta competência, um indivíduo que identifique informações confiáveis e consiga fazer uma análise crítica, lançando mão de abordagens da

ciência em seu mundo vivencial, será capaz de compreender que muitas das tecnologias têm seus aspectos negativos e positivos.

Como podemos observar, a BNCC se preocupa com uma formação na qual o estudante faça uma leitura do mundo em que vive, a partir de concepções pautadas nas ciências e este processo deve ter início já nas séries iniciais da educação básica. Além disso, em relação às competências gerais que identificamos, podemos afirmar conforme os indicadores de Alfabetização Científica, que a BNCC preocupa com a formação de um indivíduo que seja capaz de atuar e transformar sua realidade.

Partindo desta perspectiva, podemos afirmar que a BNCC viabiliza a implementação da N&N na educação básica uma vez que, as aplicações relativas a esta área do conhecimento já fazem parte na nossa vida cotidiana e precisamos compreendê-las melhor, à luz das ciências. Deste modo, o processo de Alfabetização Científica, muito abordado neste documento, é um caminho que pode levar o estudante a lidar com os aspectos tecnológicos que estão a sua volta. Além disso, através de um posicionamento crítico e argumentativo, é provável que o discente seja capaz de compreender as questões positivas e negativas alusivas às ciências e, desta forma, melhor se posicionar em uma situação de tomada de decisão no contexto em que vive.

5.3 SABERES CIENTÍFICOS

A BNCC é constituída por habilidades e competências, que são trabalhadas por meio de saberes científicos. Desta forma, uma das finalidades do presente trabalho é analisar de que maneira este documento poderia fundamentar uma discussão acerca da Nanociência e da Nanotecnologia. Neste sentido, buscamos inicialmente identificar o prefixo “nano” neste documento, porém só o encontramos em um trecho, no qual identificamos um termo, um tanto equivocado, na área referente às Linguagens e suas Tecnologias:

Diversificar, ao longo do Ensino Médio, produções das culturas juvenis contemporâneas (slams, vídeos de diferentes tipos, playlists comentadas, raps e outros gêneros musicais atc), minicontos, nanocontos, best-sellers, literaturas juvenis brasileira [...] (BNCC, 2018, p. 526).

Como podemos observar, a palavra nanocontos pode remeter a uma interpretação incorreta e comprometer a compreensão desta escala. Conforme já

mencionado, o prefixo “nano” é de origem grega e indica a bilionésima parte de algo (SCHULZ, 2005). No âmbito científico, este termo estaria indicando um conto na escala nanométrica, no entanto, é importante deixar claro que não conseguimos enxergar materiais que tenham essa dimensão, portanto seria impossível realizar a leitura deste suposto nanoconto sem a utilização de um microscópio específico. Exemplos de poemas na escala nanométrica já foram registrados na literatura, estes sim seriam nanopoesmas, tecnicamente falando (TOSIN, 2017).

Sabemos que a pretensão do documento talvez tenha sido se referir a um conto muito pequeno, porém a ideia desta discussão é evidenciar o fato de que a utilização inapropriada de termos científicos pode comprometer o entendimento de determinados conceitos relativos as áreas das ciências. Situações semelhantes a esta são relativamente comuns, no entanto, equivocadas do ponto vista científico, a exemplo da utilização do termo *nanochip*.

Em se tratando, especificamente, da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, observamos que ela é estruturada em três competências específicas, cada uma vinculada a um conjunto de habilidades, que buscam desenvolver “atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (BNCC, 2018, p. 08). Deste modo, identificamos uma habilidade referente à competência específica 1 e cinco relacionadas à competência específica 3, a partir das quais, em nossa análise, é possível trabalhar os conceitos relativos à N&N.

A competência específica 1 tem como finalidade analisar os fenômenos naturais e processos tecnológicos para propor ações com o intuito de minimizar os impactos socioambientais. Ela traz a seguinte assertiva:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BNCC, 2018, p. 553).

Após uma leitura atenta das habilidades referentes a esta competência, identificamos uma EM13CNT104, na qual, por meio de saberes científicos, esperamos que o aluno consiga, a partir da avaliação da toxicidade de determinados tipos de materiais, avaliar os benefícios e riscos à saúde e ao meio ambiente, como podemos observar a seguir:

Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis (BNCC, 2018, p. 555).

Uma discussão que poderíamos estabelecer com relação a esta habilidade, seria referente aos materiais nanoestruturados, pois eles podem trazer alguns riscos à saúde, bem como ao meio ambiente, devido às propriedades que surgem na escala atômica e molecular. Desta forma, nanomateriais podem ser mais tóxicos que em suas versões macroscópicas. Quando um determinado material se encontra na escala “nano” ele possui uma maior superfície de contato, conseqüentemente, apresenta uma maior reatividade química e atividade biológica, quando comparado as suas versões originais (GUAZZELLI; PEREZ, 2009).

Este tipo de discussão pode ser realizada em sala de aula, visto que as propriedades dos nanomateriais podem fazer com que eles tenham uma maior biodisponibilidade que em sua forma original, dado que, na escala atômica e molecular, estes materiais podem ser absorvidos pela pele e pela corrente sanguínea, conseqüentemente, acabam sendo mais absorvidos pelas células, tecidos e órgãos (GUAZZELLI; PEREZ, 2009).

A competência específica 3 tem como finalidade, a partir dos conhecimentos científicos e tecnológicos, avaliar situações problemas e suas implicações no mundo. Através de nossa análise relativa a esta competência, identificamos algumas habilidades que dialogam com a N&N. Dentre elas, a EM13CNT303, que dispõe sobre a interpretação de textos que tratem de temáticas das Ciências da natureza, visando a seleção de fontes confiáveis de informação:

Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos com em equações, gráficos, eu/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informação (BNCC, 2018, p. 559).

Por meio da habilidade supracitada, o estudante pode adquirir a destreza de identificar e filtrar informações. Esta habilidade é muito relevante, principalmente no momento que estamos vivenciando, pois ela pode contribuir para que o estudante consiga interpretar textos, relativos a assuntos científicos.

Outra habilidade que identificamos foi a EM13CNT304. Ela propõe discussões sobre questões relativas às áreas das ciências da natureza que sejam controversas, a partir de diferentes pontos de vista e da argumentação:

Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área da Ciência da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias da defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, leais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista (BNCC, 2018, p. 559).

Como todo conhecimento científico e muitas de suas aplicações possuem aspectos negativos e positivos, é interessante realizar esta discussão em sala de aula, para que os alunos construam argumentos defendendo sua perspectiva, além de contribuir para a Alfabetização Científica destes. Esta discussão pode ser realizada com os alunos, envolvendo conceitos relativos à N&N.

Através desta análise, observamos que por meio da habilidade EM13CNT06 também é possível estabelecer um diálogo com a N&N, pois ela tem como intuito a avaliação de algumas atividades cotidianas, a partir dos conhecimentos relativos às Ciências da Natureza:

Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos (BNCC, 2018, p. 559).

A partir da habilidade desta citada, podemos refletir sobre a apropriação de termos científicos, a fim de agregar valor a produtos comercializados no mercado. No cotidiano, existem produtos que usam de modo indiscriminado o prefixo “nano”. Deste modo, é interessante levar este tipo de discussão para a sala de aula, pois é importante debater e refletir se de fato tais produtos realmente são decorrentes de desenvolvimentos no âmbito da Nanotecnologia.

Historicamente, sabemos que o uso indiscriminado de novas tecnologias, sem a devida regulamentação, pode envolver riscos tanto a nossa saúde como ao meio ambiente. Novos produtos contendo materiais em nanoescala, não regulamentados e não rotulados, chegam ao mercado diariamente. Nesse sentido, é importante que um indivíduo, a partir de conhecimentos das ciências da natureza consiga interpretar e

problematizar esse contexto, impulsionando assim a criação de legislações que regulamentem a utilização da N&N (GUAZZELLI; PEREZ, 2009).

Dentre as principais características desta área do conhecimento científico estão as propriedades peculiares dos nanomateriais e, através destes, suas diferentes aplicações tecnológicas. Deste modo, a habilidade EM13CNT307 dialoga muito bem com esta perspectiva, pois ela afirma que, “Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano” (BNCC, 2018, p. 559).

Muitos nanomateriais possuem propriedades e características distintas quando reduzimos sua escala para dimensões nanométricas. Nesta perspectiva, por exemplo, um material metálico na escala macroscópica pode se comportar como um isolante na escala nanométrica (PIMENTA; MELLO, 2004).

Conforme já mencionado nesta pesquisa, dentre os nanomateriais mais investigados atualmente destacam-se os que são constituídos de carbono (OLIVEIRA; ZARBIN, 2013). Este elemento possui muitas variedades alotrópicas, ou seja, ele se liga de forma diferente, formando materiais distintos. Dentre esses materiais, temos: o grafeno, os nanotubos de carbono, fulerenos e outros (BERNADO; LOPES; AZEVEDO, 2018). Esta discussão e suas aplicações podem ser discutidas em sala de aula, desta forma, observamos que ela dialoga muito com a habilidade EM13CN307.

Por fim, também identificamos a habilidade EM13CNT309, que tem como finalidade:

Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais (BNCC, 2018, p. 560).

Quando nos remetemos à N&N, sabemos que trata-se de uma área do conhecimento científico que possui aspectos positivos e negativos, especialmente quando falamos em questões ambientais. No entanto, ela também pode contribuir e muito para o enfrentamento de problemas ambientais, tais como a escassez de materiais. Um dos métodos da obtenção de nanomateriais é conhecido como *bottom-up*, do inglês de baixo para cima. Neste método não desperdiçamos muito material,

pois, em tese, novos produtos seriam construídos molécula por molécula, beneficiando assim o meio ambiente (SCHULZ, 2005).

Com a N&N podemos viver em mundo sem escassez, através da reciclagem em nível molecular. Sabemos que existem muitos produtos que são descartados diariamente em lixões. Desta forma, poderíamos reciclar equipamentos e construir novos eletrônicos aproveitando os materiais que são encontrados nesses lixões. Deste modo, poderíamos reciclar muitos equipamentos descartados de forma mais eficiente, o que contribuiria para a economia de recursos e escassez de materiais que não são renováveis.

A partir de nossa análise, em relação às habilidades referentes às competências específicas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, podemos inferir que é possível construir um currículo que aborde questões relativas à N&N. Partindo desta perspectiva, entendemos que a BNCC viabiliza a implementação desta área do conhecimento científico na educação básica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, realizamos uma análise documental da Base Nacional Comum Curricular, com intuito de investigar de que forma este documento favorece a abordagem da Nanociência e da Nanotecnologia na educação básica. Em nossa análise, elencamos três categorias a serem investigadas: Interdisciplinaridade, Letramento Científico e Saberes Científicos.

Após realizar uma investigação referente a essas três categorias, concluímos que a partir delas é possível fundamentar a implementação da N&N na educação básica, pois cada uma dessas categorias dialoga muito bem com as discussões no âmbito desta área do conhecimento científico.

Observamos que na BNCC a interdisciplinaridade é pouco discutida explicitamente, aparecendo apenas em uma discussão sobre a necessidade de adaptação dos currículos. No entanto, em nossa análise, percebemos que a própria estrutura da BNCC é interdisciplinar. Esta perspectiva encontra-se em consonância com a N&N, pois, tanto este documento, quanto esta área do conhecimento científico são essencialmente interdisciplinares.

Além desta perspectiva interdisciplinar, observamos que a BNCC se preocupa com a formação dos indivíduos, para que eles sejam capazes de estabelecer relações críticas acerca de seu mundo vivencial, a partir de conceitos relativos às ciências da natureza. Desta forma, concluímos que esta inquietação viabiliza a abordagem da N&N na educação básica, uma vez que esta temática já se insere na realidade dos estudantes e pode ser trabalhada a partir deste contexto, buscando promover assim a Alfabetização Científica dos discentes.

A BNCC é constituída por habilidades que devem ser desenvolvidas a partir do que chamamos de Saberes Científicos. Desta forma, identificamos seis habilidades, relacionadas às competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio, por meio das quais foi possível estabelecer um diálogo com a N&N, abordando questões como: as propriedades dos materiais, toxicidade, utilização de novas tecnologias, precauções com o meio ambiente, entre outras.

Com relação à análise referente aos Saberes Científicos, encontramos algumas dificuldades em identificar um diálogo entre as habilidades e os conceitos relativos à N&N, pois estes conceitos não aparecerem explicitamente no corpo do documento.

Isto nos trouxe uma certa dificuldade, uma vez que foi preciso analisar com muito cuidado o contexto dessas habilidades e, posteriormente, estabelecer alguma relação com o conteúdo relativo à N&N.

Como a N&N paulatinamente vem sendo implementada no contexto da educação básica, ainda existem poucos trabalhos que sirvam de referência para este tipo de discussão. Desta forma, almejamos que os resultados alcançados possam orientar investigações realizadas por outros pesquisadores e também por professores da educação básica, envolvendo a temática.

Os resultados obtidos através da análise ora realizada, especialmente no que diz respeito aos Saberes Científicos, mostram a possibilidade do desenvolvimento de novos estudos. Desta forma, futuramente pretendemos construir uma sequência didática, a partir das habilidades que identificamos, na qual apresentaremos uma proposta de abordagem para se trabalhar a N&N na educação básica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVEZ, O. Nanotecnologia, Nanociência e Nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Parcerias estratégicas**, agosto, n. 18, 23-40, 2004.

BASSALO, J. M. F. O Prêmio Nobel de Física de 2010. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 205–213, 2011.

BENETTI CLEBSCH, A.; WATANABE, M. Abordagem Da Nanociência E Nanotecnologia a Partir Da Escala. **Renote – Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 15, n. 1, p. 1–10, 2017.

BERNARDO, G. A. M. **A Ciência do surpreendente pequeno: uma sequência didática para a nanociência e nanotecnologia no ensino médio**. Trabalho de Conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Centro de Formação de Professores, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2019.

BERNARDO, G. A. M.; FIGUEIREDO, G. A.; LOPES, M. D. Nanociência e nanotecnologia no ensino de física: um diálogo possível. *In*: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 16; 2016, Natal/RN. **Anais...** Natal/RN, 2016.

BERNARDO, G. A. M; LOPES, M. D; AZEVEDO, S. A. F. Estudo teórico sobre as propriedades eletrônicas de nanoestruturas de carbono e h-BN. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**. p. 71-81, 2018.

BERTOLDI, A. “Alfabetização Científica” Versus “Letramento Científico”: um problema de denominação ou uma diferença conceitual? **Revista Brasileira de Educação**, v. 25, p. 1–17, 2020.

BONJORNO, J.R.; RAMOS, C.M.; PRADO.; BONJORNO, V.; BONJORNO, M.A.; CASEMIRO, R.; BONJORNO, R.F.S.A. **Física: Mecânica**. v. 1. São Paulo: FDT: 2016.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 13 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. MEC, 2018. Brasília, DF, 2018. Disponível em < <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>>.

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. 2. ed. Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2006. 135 p 56. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD 2018: física – guia de livros didáticos – ensino médio/ Ministério da Educação – Secretária de Educação Básica – SEB – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação**. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017, p. 111.

CAMAS, N. P. V.; LAMBACH, M.; SOUZA, F. R. A. Interdisciplinaridade e Alfabetização Científica: um ensaio sobre os dois lados da mesma moeda. **Ensino em Re-Vista**, v. 28, p. 1-23, 2021.

CARDOSO, V. M. O; MOREIRA B. J; COMPARETTI, SAMPAIO, I; FERRIERA L, M, B, F; PINCELA, P, M; ZUCOLOTTI, V. Nanotechnology Helping in the Fight Against COVID-19? **Frontiers in Nanotechnology**, v. 2, n. November, 2020.

CARVALHO, A.M.P. As práticas experimentais no ensino de física. In CARVALHO, A.M.P (org.). **Ensino de Física. Coleção Ideias em ação**. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 53-78.

CHASSOT, A. Alfabetização Científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, p. 89–100, 2003.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. Aique:Argentina, 1991.

CUNHA, R. B. O que significa alfabetização ou letramento para os pesquisadores da educação científica e qual o impacto desses conceitos no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 24, n. 1, p. 27–41, 2018.

DIAS, J. H. **Síntese e caracterização de nanopartículas de carbono**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ELLWANGER, A. L.; ROSSATO, J.; GRANADA, M.; BORTOLUZZI, V.I.; FAGAN, S.B. O Ensino De Nanociências. Por Meio De Objetos De Aprendizagem. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2012.

FAGAN, S.B.; FILHO, A.G.S. Funcionalização de nanotubos de carbono. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1695–1703, 2007.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. **Integração e interdisciplinaridade no ensino Brasileiro: efetividade ou ideologia**. 6.ed. São Paulo: Loyola, 1979.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. D. C. Nanotecnologia: Aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1860–1870, 2009.

FEYNMAN, R. P. **There's Plenty of Room at the bottom**, An Invitation to Enter a New Field of Physics, 1959. Disponível em:
<<https://authors.library.caltech.edu/53057/>> Acesso em: 09 ago. 2021.

FILHO, P.N.; MONTEIRO, M.A. Nanotecnologia e Nanociência em livros didáticos de física do nível médio: discussão sobre a tecnologia e a educação científica e tecnológica. **Revista de Física**, n. 46, p.126-142, 2013.

FURIÓ-MAS, C.; VILCHES, A.; GUIASILA, J.; ROMO, V. Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la Secundaria obligatoria. Alfabetización científica o preparación propedéutica? Enseñanza de las Ciencias. **Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 19, n. 3, p. 365, 2001.

GOMES, V.; SANTOS, A. C. Perspectivas da alfabetização e letramento científico no Brasil: levantamento bibliométrico e opinião de profissionais da educação do ensino fundamental I. **Scientia Plena**, v. 14, n. 5, p. 1–18, 2018.

GUAZZELLI, M. J.; PEREZ, J. **Nanotecnologia: A manipulação do invisível**. Nanotecnologia. Produção: Centro Ecológico, 2009. Disponível em: <http://www.centroecologico.org.br/novastecnologias/novastecnologias_1.pdf>. Acesso em: 22 de set. de 2021.

GUILHERME, S.; RICARDO, P. Nanociência, Nanotecnologia e Ensino de Ciências: um tema a ser discutido na formação de professores. **Ciência & Educação (Bauru)**, p. 1–8, 2015.

HERBST, M. H.; MACEDO, I. F.; ROCCO, A. M. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 986–992, 2004.

LEONEL, A.A.; SOUZA, C.A. Nanociência e Nanotecnologia para o ensino de física moderna e contemporânea na perspectiva da Alfabetização Científica e técnica. *In: Encontro Nacional de Pesquisas em educação em ciências*, 7; 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis. 2009.

LIMA, M. C. A.; DE ALMEIDA, M. J. P. M. Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 2012.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científica no contexto das séries iniciais. **Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 1–17, 2001.

MAIS UNIFRA. Espaço virtual de aprendizagem Mais Unifra, 2011. Disponível em: <http://maisunifra.com.br/category/objeto/objeto-curso/objeto-nanociencias/> Acesso em: 21 de set. de 2021.

MARTINI, G.; SPINELLI, G.; REIS, H.C.; ANNA, B.S. **Conexões com a Física: Eletricidade Física do século XXI**. v. 3. São Paulo: Moderna, 2016.

MAXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES. **Física & Aplicações**. v. 1. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

OLIVEIRA, M.M.; ZARBIN, A.J.G. NANOESTRUTURA DE CARBONO (NANOTUBOS, GRAFENO): QUO VADIS?. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1533–1539, 2013.

PIMENTA, M. A.; MELO, C. P. Nanociências E Nanotecnologia. **Ciência e Natura**, v. 29, p. 9–20, 2004.

PISTOIA, R. P.; ELLAWANGER, A. L. FAGAN, S.B. O Ensino de Nanociências via Hidrofobicidade por meio de Módulo Didático Pedagógico. *In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências 17; 2017, Florianópolis/SC. Anais...* Florianópolis/SC, 2017.

RIBEIRO, T. R.; BEZERRA JÚNIOR, A.G.; ALVES, J.A.P. Inserção de tópico de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de uma unidade didática com foco em nanociência. *In: X ENPEC – X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências 15; 2015, Águas de Lindóia/SP. Anais...* Águas de Lindóia/SP, 2015.

ROSA, C. T. W. Interdisciplinaridade: Concepção e aplicações no ensino de ciências. *In: ROSA, C. T. W. (Org.). Educação científica e tecnológica reflexões e investigações.* Passo Fundo: UPF Editora, 2015. cap. 3, p. 57-78.

SANTOS, C. R. G. **Análise do princípio básico de funcionamento do STM.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2010.

SANTOS, W. L. P. DOS. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474–492, 2007.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: Uma revisão bibliográfica. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SCHULZ, P. A. B. O que é Nanociência e para que serve a Nanotecnologia? **Física na Escola**, v. 66, p. 2–6, 2005.

_____, P. A. B.; CAMPINAS, U. E. DE. Nanociência de baixo custo em casa e na escola. **Física na escola**. p. 4–9, 2007.

_____, P. A. B. Há mais história lá embaixo - um convite para rever uma palestra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, 2018.

_____, P. A. B. Nanomateriais e a interface entre nanotecnologia e ambiente. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia – Visa em Debate**, v. 1, n. 4, p. 53–58, 2013.

SEGUNDO, J.E.D.; VILAR, E.O. Grafeno: Uma Revisão Sobre Propriedades, Mecanismos de Produção e Potenciais Aplicações em Sistemas Energéticos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 2, p. 54–57, 2016.

SILVA, C. B.; DE ANDRADE, N. F.; BARBOZA, F. M. Objetos de Aprendizagem Aplicados ao Ensino da Nanociência. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 4, p. 108–119, 2016.

SILVA, D.G.; TOMA, H.E. **Nanotecnologia para todos**: Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002942261>> Acesso em: 21 de set. de 2021.

SILVA, P.R.; LOPES, J.G.S. Nanociência, Nanotecnologia e Ensino de Ciências: um tema a ser discutido na formação de professores. *In*: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC; 2015, Águas de Lindóia/SP. **Anais...** Águas de Lindóia/SP, 2015.

TOMKESKI, M.L.; SCREMIN, G.; FAGAN, S. B. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciênc. Educ., Bauru**, v. 25, n.3, p. 665–683, 2019.

TONET, M. D.; LEONEL, A. A. Nanociência e Nanotecnologia: uma revisão bibliográfica acerca das contribuições e desafios para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 431–456, 2019.

TORRES, C.M.A.; FERRARO, N.G.F.; SOARES, P.A.T.; PENTEADO, P.C.M. **Física Ciência e Tecnologia: Eletromagnetismo, Física Moderna**. v. 3. São Paulo: Moderna: 2016.

TOSIN, G. Nanopoema Infinitozinho: Relato e Reflexões sobre uma experiência de poesia experimental brasileira. **Revista técnico- Científica das Faculdades Atibaia**, p.1-16, 2017.

ZANELLA, I.; FAGAN, S. B.; BISOGNIN, V. Abordagens em Nanociência e Nanotecnologia Para o Ensino Médio. *In*: XVIII SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física; 2009, Vitória/ES. **Anais...** Vitória/ES, 2009.