

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Tânia Inácio de Oliveira

O ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO:
uma estratégia investigativa para a construção do conceito de densidade

Belo Horizonte

2014

Tânia Inácio de Oliveira

**O ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO:
uma estratégia investigativa para a construção do conceito de densidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lev Vertchenko

Área de Concentração: Física

**Belo Horizonte
2014**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

O48e

Oliveira, Tânia Inácio de

O ensino de física por investigação: uma estratégia investigativa para a construção do conceito de densidade / Tânia Inácio de Oliveira. Belo Horizonte, 2014.

106 f.:il.

Orientador: Lev Vertchenko

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Prática de ensino. 3. Laboratórios. 4. Densidade. 5. Sequências (Matemática). 6. Didática. 7. Conhecimento e aprendizagem. I. Vertchenko, Lev. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 53:373

Tânia Inácio de Oliveira

**ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO:
uma estratégia investigativa para a construção do conceito de densidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
Profissional em Ensino de Ciências e Matemática
da Pontifícia Universidade Católica de Minas
Gerais.

Lev Vertchenko (Orientador) - PUC Minas

Adriana Gomes Dickman - PUC Minas

Ana Lúcia Lopes Corrêa - CEFET-MG

Belo Horizonte, 30 de outubro de 2014.

Ao meu marido, Adilson, companheiro de todos os momentos, sempre estimulando os meus progressos e compartilhando as minhas conquistas.

Aos meus filhos, Fábio e Adriana, por serem minha motivação para buscar a realização dos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, que me ilumina e me dá força para seguir sempre em frente, apesar dos tropeços.

À minha mãe e meu pai, exemplo de ética, honestidade, fé e amor incondicional sempre presentes em meu coração.

A meu marido e meus filhos, agradeço o carinho, a paciência e a compreensão pelas ausências devido ao tempo dispensado nesse trabalho.

À minha irmã Sueli, que me encorajou e acreditou na minha capacidade e à minha cunhada Dulcinea, pela parceria nas disciplinas que cursamos juntas.

Ao professor Lev Vertchenko pela orientação, pela atenção nas reflexões fundantes do trabalho e pela compreensão diante das dificuldades de percurso.

Aos meus alunos que contribuíram generosamente com sua participação para a realização da pesquisa.

Ao amigo Ronaldo, agradeço a disponibilidade, a atenção, a generosidade. Agradeço por toda ajuda que me dispensou para realizar essa dissertação.

Ao amigo Pedro Paulo, muito obrigada pelas valiosas sugestões dadas para o desenvolvimento desse trabalho.

À minha amiga Inês, obrigada pelo companheirismo e pela paciência que só amigos de verdade dispensam; obrigada por todo o tempo que me deu para realizar esse trabalho e pelos preciosos ensinamentos.

Às colegas do mestrado, Nádia e Ívina, agradeço o companheirismo e apoio. Em especial, à Nádia, pelas contribuições que enriqueceram o referencial teórico da pesquisa. Obrigada por tudo que fez por mim e por todas as palavras amigas, quando o desânimo apontava.

Ao colega Barban agradeço todo o apoio e as palavras de incentivo. Muito obrigada pela força e pela torcida.

À minha amiga Fátima, pelos incentivos e pelo precioso trabalho de leitura compartilhada desta dissertação.

Aos funcionários do departamento de Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica, sempre solícitos e atenciosos.

O meu profundo agradecimento a todas as pessoas, e em especial aos amigos João Bosco Laudares e Fernando Amaral, que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

Para fazer o retrato de um pássaro

*Pinta, primeiro, uma gaiola com a porta aberta
pinta a seguir
qualquer coisa bonita
qualquer coisa simples
qualquer coisa bela
qualquer coisa útil para o pássaro.
Agora encosta a tela a uma árvore
num jardim, num bosque
ou até numa floresta.
Esconde-te atrás da árvore
sem dizeres nada sem te mexeres...
Às vezes o pássaro não demora
mas pode também levar anos
antes que se decida.
Não deves desanimar espera
espera anos se for preciso.
A rapidez ou a lentidão da chegada
do pássaro não tem qualquer relação
com o acabamento do quadro.
Quando o pássaro chegar, se chegar
mergulha no mais fundo silêncio
espera que o pássaro entre na gaiola
e quando tiver entrado, fecha a porta devagarinho com o pincel.
Depois apaga uma a uma todas as grades
com cuidado não vás tocar nalguma das penas
Faz a seguir o retrato da árvore
escolhendo o mais belo dos ramos
para o pássaro pinta também o verde da folhagem a frescura do vento
e agora espera que o pássaro se decida a cantar.
Se o pássaro não cantar é mau sinal
é sinal que o quadro não presta
mas se cantar é bom sinal, sinal de que podes assinar.
Então arranca com muito cuidado
uma das penas do pássaro
e escreve o teu nome num canto do quadro.*

Jacques Prévert (2011)

RESUMO

A dissertação apresentada a seguir é resultado da pesquisa realizada com discentes da 1ª série da Educação Profissional Técnica de Nível Médio, na disciplina de Física. Teve como objetivo que esses discentes construíssem o conceito de densidade e de massa específica dos objetos e das substâncias encontradas na natureza, ou mesmo preparadas tecnologicamente. Apresenta como resultado da referida pesquisa, uma *sequência didática* para atividade prática, direcionada aos docentes de Física do Ensino Médio. A *sequência didática* em questão tem como princípio a investigação com ênfase no ensino experimental, abordando aspectos do laboratório aberto e atividades de ensino por investigação. A pesquisa também utilizou, como referencial, a abordagem interacionista sócio-histórica de Vigotsky e realizou uma sondagem preliminar com intuito de identificar, através de teste específico, a zona de desenvolvimento do conhecimento na qual os discentes se encontravam, e um pós-teste para verificar se foi alcançado o nível de conhecimento pretendido no início da pesquisa. A pesquisa realizada também possibilitou concluir, que a criação e a aplicação da sequência didática favoreceram e estimularam a articulação entre a investigação, a experimentação e o desenvolvimento da expressão oral e escrita na construção do conceito físico, uma vez que os discentes conseguiram se organizar e trabalhar cooperativamente, adotando uma atitude mais participativa ao estabelecer entre si diálogo reflexivo e uma autonomia durante a realização das atividades.

Palavras-chave: Ensino por Investigação. Laboratório Aberto. Construção de Conhecimento. Construção de Metodologia e sequência Didática.

ABSTRACT

The dissertation presented below is the result of research conducted with students of physics from the 1st series of Technical Education Middle Level. The aim was that the students would construct the concept of density and density of objects and substances found in nature or technologically prepared. The results of that research consist of a didactic sequence for practical activity, directed to teachers of high school physics. The didactic sequence in question has as principle the emphasis on experimental learning, addressing aspects of the open laboratory and teaching activities through research. The research also used as a reference the socio-historical approach of Vygotsky interactionist and conducted a preliminary survey in order to identify, through specific testing, the level of development zone of knowledge of the students, and a post-test to verify if the desired level of knowledge was achieved. The research also led us to conclude that the creation and implementation of the didactic sequence stimulated the linkage between research, experimentation and the development of oral and written expression in the construction of the physical concept, since the students were able to organize and work cooperatively, adopting a more participatory approach to establish dialogue between themselves and a reflective autonomy in carrying out activities.

Keywords: Education for Research. Open Lab. Construction of Knowledge. Construction Methodology and Didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Diagrama do Movimento Processual da Pesquisa-Ação	29
FIGURA 2 - Frascos contendo esferas de Aço(esquerda) e Chumbo(direita)	53
FIGURA 3 - Esferas de Aço	63
FIGURA 4 - Esferas de Chumbo	63
FIGURA 5 - Recipiente com Esferas de aço e esferas de chumbo	64
Figura 6 - Balança eletrônica.....	64
FIGURA 7 - Becker e Prove	64
FIGURA 8 Cubo de silicone	70
FIGURA 9 - Materiais utilizados com os cubos de silicone	71
FIGURA 10 - Cubos de silicone com objetos em seu interior.....	72

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - Investigação e Compreensão	40
---	----

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Avaliação dos conhecimentos prévios sobre densidade a partir de pré-teste	51
--	----

LISTA DE SIGLAS

CEFET-MG - Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

DCNEM - Diretrizes Nacionais para o Ensino Médio

FAI - Física Auto-Instrutiva

PBEF - Projeto Brasileiro de Ensino de Física

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PEF - Projeto de Ensino de Física

PNLD - Programa Nacional do Livro Didático

PSSC - *Physical Science Study Committee*

SI - Sistema Internacional

USP - Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 A cartografia do trabalho.....	14
2 REFLEXÃO INICIAL, O CONTEXTO DA PESQUISA E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE DENSIDADE E MASSA ESPECÍFICA	18
3 ARCABOUÇO TEÓRICO E CONCEITUAL QUE SUSTENTA A PESQUISA, A PRÁTICA DOCENTE, A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	27
3.1 Conceitos e significados na construção do conhecimento	31
3.2 O ensino por investigação.....	36
3.3 O olhar avaliativo para a necessidade da pesquisa e seus resultados.....	41
3.4 O papel da escola na construção do conhecimento e o processo social e histórico do ensino de física	43
4 METODOLOGIA: DETALHANDO O UNIVERSO DA PESQUISA	46
4.1 Metodologia da pesquisa.....	46
4.1.1 Sistematizando a sequência da pesquisa	47
4.2 Caracterização do universo da pesquisa	47
4.3 O problema que levou à pesquisa	47
4.4 Procedimento preliminar: análise de livros didáticos.....	48
4.5 Questões da pesquisa	49
4.6 Colocando em prática a proposta didática	50
4.6.1 Aplicação do pré-teste	50
4.6.2 A investigação - 1ª etapa	52
4.6.3 O resultado da investigação - 2ª etapa.....	57
4.6.4 A realização dos procedimentos experimentais – 3ª etapa.....	65
4.6.4.1 Calculando a densidade do aço e do chumbo.....	65
4.6.4.2 Calculando a massa de aço e a massa de chumbo da mistura	67
4.6.4.3 Conferindo o resultados	68
4.6.5 Pós-teste: verificação da construção do conceito científico – 4ª etapa....	68
4.6.6 Analisando procedimentos e outros resultados da pesquisa.....	72
5 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICE A - Sequência didática para a construção do conceito de densidade e de massa específica.....	84
APÊNDICE B - Pré-teste.....	97
APÊNDICE C - Pós-teste	98
ANEXO A - Artigo publicado no periódico Caderno Catarinense de Ensino de	99

1 INTRODUÇÃO

[...] O problema de ensinar física na América Latina é apenas parte de um problema maior, que é o de ensinar física em qualquer lugar que, aliás, está incluído num problema mais amplo, que é o de ensinar qualquer coisa em qualquer lugar e para o qual não é conhecida uma solução satisfatória.

[...] o fato é que ninguém sabe bem como dizer aos outros como ensinar.

[...] Portanto quando tentamos pensar como ensinar física devemos ser bastante modestos, porque realmente ninguém sabe como fazê-lo. Este é ao mesmo tempo um problema sério e uma oportunidade para novas descobertas. (FEYNMAN, 2006)

O ensino de Física sempre foi um desafio tanto para docentes quanto para os discentes. Minha experiência em sala de aula tem me mostrado que ainda existe uma grande lacuna entre os conteúdos de Física ministrados e a aprendizagem desses conteúdos, em especial no estudo da Hidrostática, cujos conceitos se tornam bastantes abstratos para os discentes, quando tratados apenas teoricamente em aulas expositivas.

As dificuldades do discente na aprendizagem de Física dão a oportunidade para refletir sobre o significado de conhecer a Física, como ensiná-la e como participar do processo de construção dos conceitos científicos dessa ciência. De acordo com Munford e Lima (2007)

Na escola os conceitos são apresentados de forma abstrata e distanciados do contexto de origem. Ocorre assim a separação entre o que é aprendido do modo como esse conhecimento é aprendido e utilizado (Brawn et al., 1989: 32). Os mesmos autores descrevem as atividades dos discentes como centradas em uma forma de raciocínio estruturada a partir de leis, baseadas na manipulação de símbolos para resolver problemas bem definidos, produzindo significados fixos e conceitos imutáveis. (MUNFORD; LIMA, 2007, p. 75).

Esse fato faz com que os discentes memorizem temporariamente informações, e ao se verem fora da escola, não encontram significado nas mesmas informações e não conseguem estabelecer relação dessas informações com o seu cotidiano profissional e social. Outro fator relevante está relacionado a esse cotidiano que evolui e se modifica vertiginosamente em função das descobertas tecnológicas, às quais a escola não consegue acompanhar.

Esses aspectos levam a reflexões sobre o fato de que livros didáticos, materiais instrucionais, avaliações formais que não levam em conta realidades subjetivas e as evoluções tecnológicas, não devem ser o único caminho para

fundamentar o Ensino de Física.

1.1 A cartografia do trabalho

Considerando o contexto descrito acima, apresento a pesquisa desenvolvida com discentes do primeiro ano do ensino médio, que resultou em um material didático para o trabalho docente. Com esse material didático foi possível a construção do conhecimento sobre o conceito de densidade dos objetos e da massa específica das substâncias encontradas na natureza.

Apresento e analiso o resultado da referida pesquisa, que consiste em um material didático para atividade prática a partir da investigação, direcionado aos docentes de Física para o Ensino Médio. O referido material tem como princípio a investigação que culmina no ensino experimental, abordando aspectos do laboratório aberto e foi desenvolvido para o trabalho com duas turmas. O laboratório aberto busca, de acordo com Azevedo (2004, p. 27- 29) “como as outras atividades de ensino por investigação, a solução de uma questão, que no caso será respondida por uma experiência”. De acordo com a autora essa busca pode ser dividida basicamente em seis momentos. São eles: “proposta do problema, levantamento de hipóteses, elaboração do plano de trabalho, montagem do arranjo experimental, coleta de dados, análise dos dados e conclusão”. O trabalho constou de um teste inicial e após aplicação da proposta, um teste final que objetivou avaliar a efetiva construção de conhecimento relativo ao conceito de densidade e de massa específica.

A opção de trabalhar com o ensino por investigação foi considerada na pesquisa que gerou esta dissertação, por se tratar de uma abordagem que permite ao discente a construção de questões e de busca de respostas para as mesmas. Nesse processo o docente deve levar o discente a compreender a importância de aprender a investigar, a observar, a planejar, a levantar hipóteses, a interpretar dados e a elaborar explicações para suas investigações e seus resultados.

O ensino com a abordagem investigativa também promove a possibilidade da interação, de forma que os discentes nesse interim vivam a oportunidade de experimentar os diversos processos de aprendizagem, sem serem deixados à revelia, pois participam como protagonistas da sua construção de conhecimento. A metodologia de ensino possibilita diálogos entre os sujeitos e a informação, e a

intensa participação e intervenção dos discentes durante todo o processo de aprendizagem. Nessa abordagem o docente tem ainda, a oportunidade de propor situações-problemas planejadas para direcionar o discente, orientando-o em seu processo de investigação. Estas situações-problemas podem ser desenvolvidas de modo prático, através de um experimento onde o discente, ao desenvolver a atividade, terá a oportunidade de observar, de registrar e analisar dados e chegar a uma conclusão.

Para o trabalho docente as aulas experimentais, segundo Marchezini (2008) são importantes, pois favorecem a motivação e contribuem para a sedimentação dos conhecimentos construídos, diminuindo as dificuldades dos discentes. As atividades experimentais segundo Araújo e Abib (2003, p.177) podem ser usadas desde “situações que focalizam a mera verificação de leis e teorias, até situações que privilegiam as condições para os alunos refletirem e reverem suas ideias a respeito dos fenômenos e conceitos abordados”. Desta forma eles podem atingir um nível de aprendizado que lhes permita efetuar uma reestruturação de seus modelos explicativos dos fenômenos. Esses aspectos possibilitam ainda, segundo os autores, estratégias que minimizam as dificuldades e tornam o ensino significativo e consistente.

No capítulo 2 desta dissertação intitulado de *Reflexão inicial, o contexto da pesquisa e algumas considerações sobre densidade e massa específica*, é tratada a importância de refletir sobre práticas pedagógicas no ensino de Física, e a partir de um breve mapeamento do contexto histórico desse ensino no Brasil, discute-se sobre a construção do conceito de densidade dos objetos e do conceito de massa específica das substâncias encontradas na natureza. A importância dessa construção, pelos discentes, está relacionada à necessidade que os mesmos terão de fazer uso desse conhecimento nos estudos sobre hidrostática para o entendimento do fenômeno da flutuação, e também para o entendimento de alguns fenômenos naturais. Trata-se de uma situação bastante comum os discentes construírem assimilações equivocadas a respeito dos referidos conceitos.

No capítulo 3 intitulado de *Arcabouço teórico e conceitual que sustenta a pesquisa, a prática docente, a sequência didática e o processo de ensino e aprendizagem* os aspectos teóricos basilares da pesquisa são tratados na conceituação para o processo cognitivo de ensino e aprendizagem, inspirados nos estudos de Vigotsky (2010; 1998). Ainda, para a conceituação de ensino e

aprendizagem, a abordagem freiriana é a inspiração que aborda o ensino e aprendizagem e as relações entre docente e discente nesse processo. Quanto à prática docente e a sua sistematização transformada em metodologia de ensino, os estudos se fundam em Barbier (2007) e Thiollent (2002; 2006) com a pesquisa-ação, oferecendo ao docente a possibilidade de fazer com que sua prática possa ser a práxis que leva à construção de conhecimento sobre a docência.

O capítulo 3 apresenta ainda, a proposta do ensino por investigação, que fundamenta a pesquisa durante a prática docente, como estratégia didática importante para a prática no ensino de Física. Leva em conta nesse aspecto, as habilidades e competências para o ensino de Física, referentes aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Discute-se brevemente sobre questões do referido documento que não são muito claras em relação às informações fundamentais para o professor sobre o ensino por investigação, uma vez que ele não trata com clareza e não apresenta informações precisas sobre a abordagem do ensino nessa modalidade.

Considerando os Parâmetros Curriculares Nacionais, na presente pesquisa observou-se que, dentre os objetivos para o ensino de Física, é necessário que os discentes possam ser capazes de identificar informações e variáveis relevantes, fenômenos naturais, regularidades, invariantes e transformações em dada situação problema; selecionar, reconhecer, interpretar e propor modelos explicativos para os fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos. Abordando esses aspectos, com base nas aulas com as atividades envolvendo situações experimentais, foi construída uma metodologia de ensino, denominada de *sequência didática* que, após sua sistematização e utilização, foi possível efetivar a sua consistência quanto aos objetivos dessa pesquisa, o que pode ser verificado no pós-teste com as mudanças conceituais dos discentes participantes da mesma.

No capítulo 4 intitulado de *Metodologia: detalhando o universo da pesquisa*, está o processo da pesquisa detalhado e de forma reflexiva abordando tanto os procedimentos, estabelecendo relação com o referencial teórico, quanto considerações possibilitadas pela oportunidade do trabalho com a investigação no Ensino de Física. Discute-se sobre os encaminhamentos que levaram à construção dos conceitos realizados pelos discentes e que culminou na elaboração de uma sequência didática de ensino para o trabalho docente. Esta construção de conhecimento é o mote desta pesquisa e deve ser compreendida como um caminho

significativo para a prática docente com o ensino de Física para discentes do Ensino Médio, especificamente no que se refere à construção do conceito de densidade e de massa específica.

No processo de sistematização que foi utilizado na construção da *sequência didática*, objeto resultante desta pesquisa, tratou-se de compreender a importância de se ter um olhar ampliado para as questões que envolvem o referido ensino desta área de conhecimento. Detalha-se o processo vivido com a aplicação da proposta considerando que é importante que o docente compreenda que seu cotidiano é mais do que um dia de trabalho deixado para trás. E ainda, que suas ações documentadas e sistematizadas, podem se tornar conhecimento construído e disponibilizado para o uso de seus pares, em ações didáticas e metodologias construídas.

O processo de trabalho docente apresentado no capítulo 4, com a aplicação da proposta de *sequência didática*, visa oferecer também a possibilidade de visibilidade dos bastidores que compõem o processo vivido durante a construção do mesmo, com todos os procedimentos e reflexões procedentes. Neste detalhamento considerou-se os referenciais teóricos quanto ao processo pedagógico, a abordagem da atividade experimental e o conceito a ser construído pelos discentes. Neste capítulo também é apresentado organizadamente, o cotidiano da sala de aula com todas as suas nuances, além de questões que não cabem no corpo da *sequência didática* de trabalho (apresentada no Apêndice A) e que são, até certo ponto, carregadas da subjetividade do docente e dos discentes, que enriquecem o entendimento do processo de construção de conhecimento possibilitado pela pesquisa.

Nas conclusões são apresentadas as observações relativas às mudanças reveladoras da construção de conhecimento, que se objetivou no início da pesquisa e como elas puderam ser observadas durante o percurso de trabalho. Estas conclusões são colocadas também, como propostas para as reflexões de outros docentes e na expectativa de que possam contribuir para a continuidade e enriquecimento de outros trabalhos de mesmos jaez.

No Apêndice A está detalhada a *sequência didática* de trabalho resultante desta pesquisa, que é a base para o texto dissertativo. Em seguida, nos Apêndice B-C e Anexo A, estão os instrumentos de trabalho desenvolvidos para o uso durante os procedimentos de pesquisa.

2 REFLEXÃO INICIAL, O CONTEXTO DA PESQUISA E ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE DENSIDADE E MASSA ESPECÍFICA

A reflexão é uma ordem de tal modo consecutiva que cada ideia engendra a seguinte com seu efeito natural e, ao mesmo tempo, apoia-se na antecessora ou a esta se refere. (DEWEY, 1959, p. 14)

As mudanças no ofício docente requerem a reflexão como processo constante, apoiando-se em aspectos que envolvem mais que unicamente o contexto interno da escola. Para Dewey, (1959) deve-se considerar ainda, o conhecimento que o discente possui e deve acompanhar a evolução e as mudanças sociais. Para Freire o ofício docente exige reflexão constante (FREIRE, 1996, p. 38), “é um movimento dinâmico, dialético, entre o fazer e o pensar sobre o fazer”, movimento que detecta a necessidade de mudanças na prática cotidiana do docente, que não deve ficar apenas no fazer, mas voltado também para o contexto onde o fazer se dá.

As reflexões sobre as necessidades de mudanças nas práticas pedagógicas para o ensino de Física, no Brasil, segundo Sá (2009) vêm aflorando no meio docente desde a década de 1970, quando foram desenvolvidos vários projetos nacionais de ensino de física, que buscavam discutir as mudanças contemporâneas dos processos de ensino e aprendizagem, como o Projeto de Ensino de Física (PEF)¹, o projeto Física Auto-Instrutiva (FAI)², e o Projeto Brasileiro para o Ensino de Física (PBEF)³, inspirados na linha construtivista do Physical Science Study Committee (PSSC)⁴. Estes projetos buscavam metodologias alternativas e inovadoras para o Ensino de Física que enfatizasse as atividades práticas; o professor como orientador; a compreensão dos conceitos e a física contemporânea. Imbuídos desse mesmo espírito, surge a necessidade na Coordenação de Ciências do Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais (CEFET-MG) de promover seminários para que se discuta sobre o Ensino de Física. Revela-se, a

¹ PEF- Projeto de Ensino de Física, editado pela Federação Nacional do Material Escolar (FENAME), órgão do Ministério da Educação e Cultura (MEC).

² FAI – Física Auto Instrutiva - desenvolvido em sua maioria por professores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), que formaram o Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física (GETEF).

³ PBEF- Projeto Brasileiro para o Ensino de Física - desenvolvido pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências (FUNBEC).

⁴ PSSC – Physical Science Study Committee - projeto curricular renovador desenvolvido nos EUA – Uma das primeiras iniciativas de pensar e efetivar um ensino de física atualizado, motivador e eficiente no ensino médio, em nível internacional. Baseia-se na participação ativa do discente através de uma ação pedagógica que promove discussões e experimentações.

partir de então, a consciência de que há a necessidade de mudanças das didáticas, que considerem o ensino desta ciência em relação a quem é o discente, o que é a ciência, qual é o papel da escola e a aplicabilidade prática do conhecimento a ser construído dentro dela para o discente e sua atuação profissional.

Segundo Hosoume e Kawamura (2003, p. 9-12), é fácil falar em mudanças, o difícil é realizar as mudanças, porque mudar implica buscar novas opções, implica mudanças de hábitos, implica sair da rotina, refletir e reavaliar a “forma de pensar o trabalho de ensinar”. Para isso, é preciso “um trabalho contínuo de discussão, de investigação e atuação, necessariamente permeado pelo diálogo constante entre os envolvidos”. O movimento de discussão sobre didáticas e currículos que se pode observar nos congressos e seminários dedicados ao ensino de física podem revelar que, algo nesse sentido, pode estar mudando.

Estas preocupações não são apenas do grupo de docentes do CEFET, mas de muitos outros docentes, o que pode ser verificado nas participações em congressos, encontros e seminários, além das publicações dessa área de conhecimento. Estas preocupações podem ser fundamentadas por teóricos das mais diversas áreas de conhecimento que estudaram, estudam e pesquisam sobre processos cognitivos, como Freire, Vigotsky e outros, ligados às diversas áreas de conhecimento, além dos que estudam métodos e técnicas de ensino. Assim, esses estudos e pesquisas diversificaram e influenciaram os métodos de ensino que não privilegiavam mais apenas a aula teórica expositiva, com o rigor das demonstrações e memorizações de conceitos físicos. De acordo com Costa (2013), a motivação do discente é fundamental para a construção do conhecimento, para a qualidade e êxito do processo de ensino e aprendizagem. Para a autora, a ausência de motivação “representa queda de investimento pessoal de qualidade nas tarefas de aprendizagem. Alunos desmotivados estudam muito pouco, caracterizando escassez de aprendizagem”. (COSTA, 2013, p. 1).

Os resultados insatisfatórios que os discentes apresentam nos processos avaliativos da disciplina de Física, levam a concluir que a motivação é importante, mas que ainda há um “grande distanciamento entre a ciência ensinada e a ciência praticada nas universidades, em laboratórios e outras instituições de pesquisa” (MUNFORD; LIMA, 2007, p. 72-89). Esses resultados podem revelar que o que foi *ensinado* não corresponde ao que realmente foi aprendido. O ensino de física contemporâneo nas escolas de ensino médio ainda se mantém de forma linear, ou

seja, os docentes usam a sequência determinada por livros didáticos sem considerar o processo que cada discente vive, mesmo sendo esta forma considerada ultrapassada, descontextualizada e ineficiente. Ainda funciona como o ensino bancário definido por Freire (1987, p.58) como aquele no qual o docente deposita o saber na cabeça do discente, reproduzindo no quadro o que se encontra no livro didático; trabalhando apenas com aulas teóricas e expositivas com mais ênfase nos cálculos matemáticos da física, em detrimento dos conceitos, ignorando qualquer conhecimento prévio que os discentes possuam, e como eles farão uso dessas informações para construção de conhecimento, quando houver necessidade.

Esta é uma prática bastante presente nas escolas do ensino médio. Os discentes, imobilizados e aprisionados nas carteiras, escutam passivamente os docentes que despejam conteúdos para serem memorizados e repetidos, apreendidos de forma fragmentada, descontextualizada e que devem ser devolvidos em forma de respostas às questões de prova. O discente não consegue relacionar os tópicos da ciência, ficando alienado, com atitude imediatista e com um saber superficial. O conhecimento torna-se o conteúdo de uma prova que será convertido em pontuação e nota, que servirá apenas para a progressão de períodos e anos escolares.

Passado esse momento o conhecimento deixa de ter utilidade e é esquecido, o que torna o aprendizado sem nenhum atrativo, causando desânimo, desestímulo e uma progressiva deterioração da autoestima dos discentes, fazendo com que estes assumam uma postura derrotista, desistindo de aprender sobre o conteúdo da disciplina Física.

Soma-se a esses fatores o excesso de estratégias de memorização para resolver as questões do Ensino de Física, ajudado pelos livros didáticos adotados, na medida em que predomina, na maioria deles, a resolução de exercícios pela aplicação de fórmulas, sem qualquer discussão conceitual dos princípios físicos envolvidos. Este fato é agravado por práticas pedagógicas que não se preocupam com a compreensão do fenômeno físico, e tratam os mesmos de forma desarticulada da realidade que os discentes enfrentarão no mundo do trabalho e na vida.

Há que se considerar que as formas de ensinar que usam apenas aulas expositivas e instrucionais revelam seu distanciamento da necessidade para os discentes, uma vez que a maioria dos mesmos, não consegue fazer nenhuma

associação dos conceitos físicos com o seu cotidiano, não percebendo a importância da disciplina, e contribuindo para a falta de motivação dos discentes com o processo de aprendizagem. Nesse contexto de ensino, a Física é um dos vilões dos discentes das escolas de ensino médio que, geralmente, apresentam um baixo nível de aprendizado.

No entanto, visto que a Física faz parte naturalmente do cotidiano dos sujeitos é da responsabilidade das instituições de ensino e de seus docentes, estimular o interesse dos discentes por essa área de conhecimento, fazendo-os compreender a importância de estudá-la e vendo-a como permeando os espaços à volta deles, fazendo parte da dinâmica da vida.

O desinteresse dos discentes em relação às aulas de Física, ou mesmo a dificuldade para entender a matéria da disciplina, deve ser um ponto de partida para determinar a necessidade de se repensar formas de ensinar Física. Reflexões estas que devem ter como premissa o reconhecimento do discente como sujeito que aprende, ou seja, o sujeito do processo de construção do conhecimento, admitindo a possibilidade de mudança nas relações do sujeito com o aprendizado. E também, é preciso que os docentes reflitam “sobre que tipo de ciência deve ser ensinada e de que forma”, tendo em vista a contemporaneidade com a informatização cada vez mais sofisticada, presente no cotidiano das pessoas, o que modifica as relações de ensino e aprendizagem “e que exigem novas habilidades a serem desenvolvidas” por essas pessoas. (MOREIRA, 2011, p. 14).

Nesta dissertação, a mudança na forma de ensinar está diretamente ligada ao trabalho que envolve os conceitos de densidade e massa específica. Os mesmos são pouco explorados nos livros didáticos e até mesmos pelos docentes, por serem considerados tópicos dos programas de fácil compreensão.

Observou-se assim, que estes conceitos não são tão simples para os discentes e o resultado da dificuldade de construção destes conceitos, acarreta problemas na compreensão dos fenômenos hidrostáticos. Embora possam ser considerados conceitos de simples construção para os discentes eles são abstratos. As informações sobre os mesmos estão presentes na escola desde o ensino fundamental, mas estão distantes da vivência prática.

Optar por trabalhar com esses conceitos de forma significativa, levou em consideração que as concepções iniciais dos discentes sobre estes conceitos são oriundas de informações que os mesmos usam de forma mecânica e superficial,

sem fundamentos ou associações com a aplicação prática. A ocorrência da excessiva valorização da equação matemática, em detrimento da construção e uso do conceito, não leva os discentes a uma reelaboração de suas concepções e nem a compreender a importância de como usar o conceito, uma vez que não é dada a devida importância ao fenômeno físico em que elas estão inseridas e nem às suas implicações (SMITH apud ROSSI et al., 2008). Não se discute, por exemplo: o grau de compactação da matéria, ou seja, o quanto as moléculas da matéria estão juntas; a quantidade de matéria que está presente em uma unidade de volume; a identificação das substâncias; a flutuação de objetos, entre outros aspectos.

Também não se discute o grau de aplicabilidade desses conceitos em várias situações técnicas, tais como:

- a) verificar o estado da bateria dos automóveis através da densidade do eletrólito;
- b) monitorar o teor de água misturada ao etanol distribuído nos postos de combustível, bem como a adição de etanol à gasolina, através da medida de sua densidade;
- c) avaliar a qualidade do petróleo, através da medida de sua densidade, seguindo uma determinada convenção;
- d) detectar anomalias na concentração de células vermelhas no sangue através da medida da densidade do sangue, podendo acusar uma provável anemia se esta medida estiver abaixo dos padrões normais;
- e) detectar a presença de excesso de sais minerais no organismo com o monitoramento da densidade da urina e, com isso, prevenindo o avanço de algumas doenças;
- f) determinar o grau de acidez de produtos alimentícios como o leite, vinhos, e licores, pela medida de densidade desses produtos;
- g) avaliar a qualidade de produtos, como por exemplo os ácidos, através da medida da densidade das substâncias que os compõem, indicando se houve adição de outras substâncias e se estas adições estão dentro das regras estabelecidas;
- h) medir a densidade mineral dos ossos através do exame de densitometria óssea, que objetiva avaliar os níveis de minerais nos ossos, principalmente o cálcio, e com isso diagnosticar quadros de osteopenia (baixa densidade

óssea) ou de osteoporose (baixíssima densidade óssea).

Assim, o que se tem observado é que o discente aprende a definição de densidade, e isso não implica, necessariamente, na aprendizagem do conceito de densidade, o que só se consegue quando este é aplicado a diferentes fenômenos, nos quais as relações entre densidade e outros conceitos vão se tornando explícitos (ROSSI, et al., 2008).

É necessário então, que os conceitos de densidade e massa específica sejam cientificamente introduzidos no ensino médio, de maneira que o discente possa correlacioná-los a fenômenos do seu cotidiano, nos conteúdos escolares, nas situações profissionais e na vida. É possível que o conhecimento desses conceitos torne o estudo de hidrostática mais eficaz e interessante, e que esse conhecimento possa ser alcançado no trabalho experimental e através de processo investigativo, ressaltando a distinção entre os dois conceitos.

A história da Física revela, segundo Baptista (2006), que o conceito de densidade vem desde a época de Arquimedes, muito antes do desenvolvimento da mecânica de Newton. Apesar de a história de Arquimedes e da coroa que o Rei Hierôn dedicou aos deuses ser uma lenda, e a forma com que ela é relatada e copiada por vários historiadores ser questionada como implausível e sem fundamentação histórica, não se pode questionar que a origem da descoberta dessa propriedade dos materiais partiu da solução que Arquimedes teria dado ao problema do Rei. Quem primeiro descreveu a história da coroa do rei, e que deu origem ao conceito de densidade foi *Marcus Vitruvius Pollio*, um arquiteto romano do século 1 a. C., em sua obra *De Architectura*. (MARIN, 2012).

Ao conceito de densidade deve ser dada a visibilidade e a importância demandada nos processos de ensino. A construção desse conceito, pelo discente, deve estar clara para o docente no sentido de que outras construções necessitarão da capacidade do discente, de fazer uso desse conhecimento construído. Da mesma forma, é fundamental que o discente não produza assimilações equivocadas sobre as informações que recebe a respeito da densidade e do seu uso, bem como, não confunda o conceito de densidade com o conceito de massa específica (ou densidade absoluta).

A distinção entre densidade e massa específica consiste em que a *densidade* é uma importante característica física dos objetos que nos rodeiam ou que

construímos tecnologicamente. Ela representa a medida de como a matéria está compactada em relação ao espaço que ocupa. Sua definição é dada pela razão entre a massa do objeto e o volume que ele ocupa. A densidade, então, depende das substâncias que compõem o objeto, que pode ser apenas uma ou a combinação de várias; depende de sua forma, e depende da condição de ser maciço ou se contém partes vazias. Desta maneira, um objeto pode ter várias densidades, basta moldá-lo de forma que seu volume seja diferente.

Já a *massa específica*, que também pode ser chamada de *densidade absoluta*, é uma das principais propriedades físicas das substâncias que permite identificá-las, e, por isso, é ela quem indica de que, ou de quais substâncias o objeto é constituído. A massa específica também é definida pela razão entre a massa de cada substância que constitui o objeto e o volume que essa massa ocupa. É através da massa específica que se pode classificar e/ou identificar as diversas substâncias encontradas na natureza.

Para que os discentes possam estabelecer a diferença entre densidade e massa específica, pode-se começar, primeiramente pela simbologia, definindo que densidade será representada pela letra “d” e que massa específica será representada, na maioria das vezes, pela letra grega “ρ” (rô). Então, por definição:

$$d = \frac{m}{V} \quad e \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

onde m é a massa do corpo ou da substância e V o volume que esse corpo ou substância ocupa.

Essas grandezas físicas podem ser expressas em quilograma por metro cúbico (kg/m^3), que é a unidade do Sistema Internacional de unidades (SI), mas também são muito usadas as unidades grama por centímetro cúbico (g/cm^3) e o quilograma por litro (kg/l) que são unidades equivalentes.

Pode-se observar que, por definição, em unidades métricas, d e ρ tem dimensões iguais, daí a importância dos conceitos estarem bem construídos para os discentes, pois é através dos conceitos que podemos distinguir densidade de massa específica.

Alguns livros didáticos promovem confusões com estes dois conceitos, chegando até mesmo a cometer erros quando generalizam dizendo que densidade é

o mesmo que massa específica. Apesar de o termo *densidade* ser usado indistintamente na maioria das vezes, é importante que os discentes saibam que a densidade de um objeto geralmente é diferente da densidade da substância que o compõe. Somente quando o objeto for compacto (sem partes vazias) e constituído de uma única substância, é que sua densidade coincide com a densidade absoluta da substância. Mas se o objeto tiver partes ocas, ou porosidades, mesmo que ele seja constituído de uma única substância, o volume ocupado por esse objeto não será equivalente ao volume ocupado pela substância que o constitui. Então os valores de densidade e massa específica para esse objeto serão diferentes. A densidade vai depender de sua forma e de seus espaços vazios.

No ensino da hidrostática, os conceitos de densidade e massa específica são bases fundamentais para o entendimento dos discentes em relação ao fenômeno da flutuação e à variação da pressão hidrostática. Também são importantes para explicar o comportamento anômalo da água em função da variação de temperatura, o que permite aos discentes entenderem, por exemplo, o perigo que os icebergs representam para a navegação, e a necessidade de aditivos na água do radiador dos automóveis e nos encanamentos de água residencial, em regiões de temperaturas abaixo de 0°C, para alterar o ponto de solidificação da água.

A compreensão desses conceitos é fundamental para entender alguns fenômenos da natureza como o ciclo da água, que consiste, resumidamente, no deslocamento do vapor d'água para cima, porque é menos denso, e quando a temperatura diminui ele condensa e fica mais denso, o que provoca sua queda na forma de chuva. Também as correntes de convecção são explicadas pela variação da densidade das camadas de ar ou de água, por exemplo. Outro fenômeno explicado por esses conceitos é o funcionamento dos balões de passeios aéreos, que consiste no aquecimento do ar contido dentro do balão que fica menos denso que o ar fora do balão, o que provoca sua subida.

São poucos os autores de livros didáticos que exploram situações simples do cotidiano que envolvem a interpretação do conceito de densidade ou de massa específica, como por exemplo, porque o gelo não afunda na água; porque um ovo boia em água destilada, mas afunda em água salgada; por que quando se nada na água do mar, boia-se mais facilmente do que em água doce, etc. Também, não se preocupam em comentar situações que vão além do dia-a-dia dos discentes como,

por exemplo, mostrar porque uma pessoa não consegue afogar-se no Mar Morto⁵, que na verdade é um grande lago de água muito salgada, o que a torna muito mais densa do que o corpo humano.

E também são poucos os autores que se preocupam em estabelecer a diferença entre os conceitos de densidade e massa específica. Mas esta diferenciação é importante até mesmo para que o discente perceba se determinada situação está se referindo a um objeto ou à substância que compõe o objeto. Esta diferenciação se aplica, por exemplo, quando se vai produzir uma liga metálica, material amplamente usado nas indústrias em geral. As ligas metálicas são o resultado de misturas de substâncias cujo principal elemento é um metal puro. Nem sempre se encontra um metal que, na sua forma pura, apresente as características exatas pretendidas para uma determinada aplicação na construção de seus produtos. Dependendo da utilidade dessa liga, ela deverá ter uma densidade apropriada e, nesse caso, as porcentagens das substâncias que a compõem são de suma importância, daí a necessidade de se conhecer a massa específica das substâncias para fazer as escolhas conforme seu objetivo.

O conhecimento da densidade de um objeto ou da massa específica de uma substância pode fornecer diversas informações sobre o comportamento dos mesmos. Por isso, são consideradas como os principais parâmetros na seleção de materiais para os meios de transporte, para os equipamentos de desporto, para a indústria, para as engenharias e também favorece os processos de controle de qualidade na concentração de soluções, assim sendo, é primordial o trabalho com esses conhecimentos no Ensino de Física.

⁵ O Mar Morto situa-se no Oriente Médio, na região interior da Palestina, banhando a Jordânia, Israel e Cisjordânia. Sua principal característica é a alta concentração de sal em suas águas. Estas chegam a ser até dez vezes mais salgadas que as águas dos oceanos. Essa característica impossibilita o desenvolvimento da vida nele, por isso, ele é chamado de Mar Morto. (MAIO, 2013).

3 ARCABOUÇO TEÓRICO E CONCEITUAL QUE SUSTENTA A PESQUISA, A PRÁTICA DOCENTE, A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Ensinar inexistiu sem aprender e vice-versa e foi aprendendo socialmente que, historicamente, mulheres e homens descobriram que era possível ensinar. Foi assim, socialmente aprendendo, que ao longo dos tempos mulheres e homens perceberam que era possível – depois, preciso – trabalhar maneiras, caminhos, métodos de ensinar.
(FREIRE, 1996, p. 98)

De acordo com Freire (1996, p. 98), o termo *ensino* aponta para a construção ou produção de conhecimento. Para o autor, “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para sua produção ou a sua construção”. A construção ou produção de conhecimento para esse autor se dá na interação dos sujeitos, dos objetos e contexto envolvidos no processo.

Desta forma, a interação entre docente e discente deve ser construída e o docente é o maior responsável para que essa interação seja harmônica e produtiva. Assim, optou-se na pesquisa que resultou nesta dissertação, pelo uso do ensino por investigação, por levar em conta a participação ativa do discente, permitindo a construção de conhecimento, a partir das possibilidades que seu contexto interativo oferece.

O conceito de Freire (1996) para *ensino*, como a construção ou produção de conhecimento, é a base desta dissertação. Considera-se também, de acordo com o autor, que não se transfere ou transmite conhecimento, mas o conhecimento é construído pelo sujeito em sua relação com o outro e com o mundo.

A expressão ensino e aprendizagem adotada nesta dissertação, parte do princípio de que a relação entre os dois termos é de ligação dependente. Trata-se de um processo dinâmico e que segundo Freire (1996), não pode ocorrer em separado, pois

não há docência sem discência, as duas se explicam, e seus sujeitos, apesar das diferenças que os conotam, não se reduzem à condição de objeto um do outro. Quem ensina aprende ao ensinar, e quem aprende ensina ao aprender. Quem ensina ensina alguma coisa a alguém. Por isso é que, do ponto de vista gramatical, o verbo ensinar é um verbo transitivo-relativo. Verbo que pede um objeto direto – alguma coisa – e um objeto indireto – a alguém. (FREIRE, 1996, p. 23).

Ensino e aprendizagem é também parte da dinâmica da pesquisa-ação (BARBIER, 2007; THIOLENT, 2002; 2006), pois no percurso da prática, o docente ao ensinar, reflete sobre sua prática e se reinventa construindo seu conhecimento, sistematizando métodos e desenvolvendo metodologias para seu ofício e de maneira significativa, aprendendo sobre a docência. A reflexão direta e registrada da prática docente, que permite uma descrição detalhada do comportamento e uma reconstrução das intenções, estratégias e pressupostos, muitas vezes provoca um choque educacional à medida que os docentes vão descobrindo que atuam segundo teorias de ação diferentes daquelas que professam (SCHÖN; NÓVOA, 1992, p.90-91).

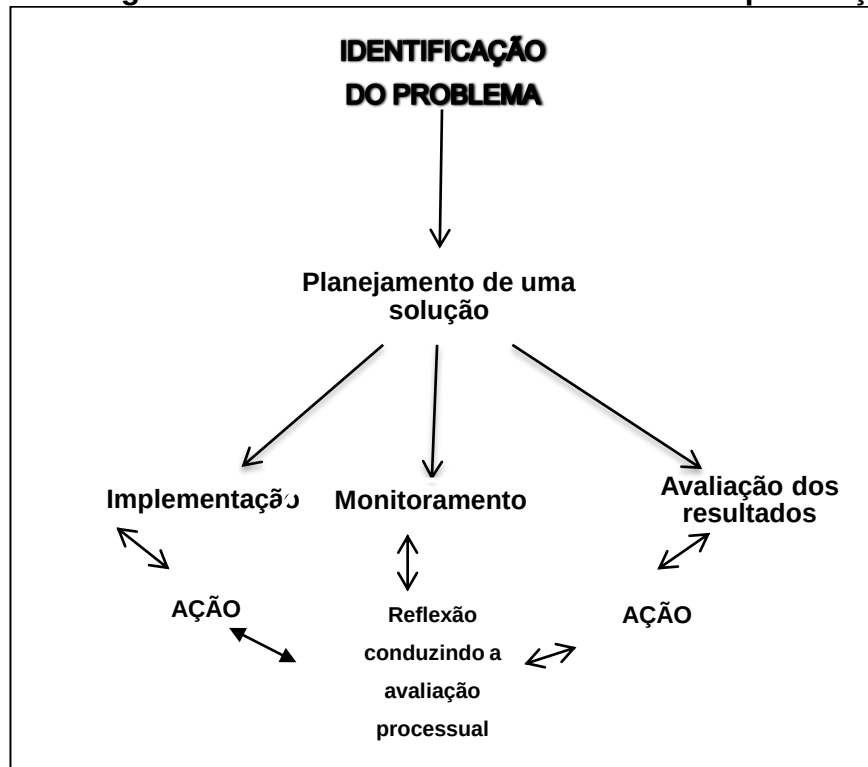
A metodologia de pesquisa utilizada nesta dissertação objetivou qualitativamente também, realizar a transformação do contexto de construção de conhecimento onde a mesma foi realizada. Assim, optou-se pela pesquisa-ação, na qual o processo de trabalho funciona em estreita relação com todos os aspectos do trabalho do docente, ou seja, identificação do problema, o planejamento, as ações didáticas, a metodologia, o monitoramento, a avaliação e as mudanças necessárias. De acordo com Tripp (2005)

é importante que se reconheça a pesquisa-ação como um dos inúmeros tipos de investigação-ação [...] na qual se aprimora a prática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para a melhora de sua prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação. (TRIPP, 2005, p. 445).

Não estão explícitas na dinâmica apresentada aqui sobre a pesquisa-ação as questões cotidianas do docente como turmas com muitos discentes, carga horária reduzida e grande volume de conteúdo para trabalhar. Nesse embate a prática cotidiana se torna espaço de atuação do docente como um *pesquisador* que busca resolver seu cotidiano de forma que seus discentes construam conhecimento. Assim, é preciso saber o quê ensinar, para quê ensinar, quando e como ensinar.

A dinâmica da metodologia de pesquisa da pesquisa-ação pode ser representada como na Figura 1 a seguir, construído para essa pesquisa.

Figura 1- Diagrama do Movimento Processual da Pesquisa-Ação



Fonte: Elaborada pela autora

Se o docente estiver imbuído e comprometido com sua missão, terá em seu cotidiano questões para o delineamento dos procedimentos e planejamento de seu trabalho docente, tanto quanto para realização de pesquisa utilizando a metodologia da pesquisa-ação. Como modalidade acadêmica de metodologia de pesquisa a pesquisa-ação é um caminho para a transformação do cotidiano docente em práxis, que sistematizada e documentada é a materialização da construção do conhecimento do docente. Trata-se de procedimentos dinâmicos, que muitas vezes os docentes constroem em seu dia-a-dia, mas que não o fazem com o olhar aberto à reflexão e pesquisa, e à aplicação para uma formação acadêmica.

O trabalho possibilitado e resultante do uso da metodologia da pesquisa-ação, nesta pesquisa, compõe uma *sequência didática* que, do ponto de vista pedagógico, também pode ser denominada *metodologia de ensino*.

De acordo com Barbier (2007, p. 59), a pesquisa-ação é “a ciência da práxis exercida no âmago de seu local de investimento. O objeto da pesquisa é a elaboração da dialética da ação num processo pessoal e único de reconstrução racional pelo ator social”. Dessa forma o docente constrói seu conhecimento e tem a possibilidade de transformar sua prática, tornando-a um conhecimento que pode ser

usado por seus pares.

Segundo Tripp (2005) a pesquisa-ação busca a solução de problemas e começa com a identificação dos mesmos, se houver necessidade, também aborda o levantamento de hipóteses. Deve levar em seguida, ao planejamento de uma solução, sua implementação, monitoramento, avaliação de seus resultados e conclusão dos procedimentos. O autor lembra ainda, que ela pode ou não, envolver todos os aspectos observados na representação gráfica da página anterior desta dissertação e na sua gênese ela é reflexiva e transformadora.

Este é um dos propósitos desta pesquisa, e que foi possível durante a realização das aulas, ou seja, observar, refletir e estimular a participação dos discentes como protagonistas na construção de seu conhecimento. Além de revelar aos docentes a necessidade de mudanças conceituais, com relação a sua atuação, e a oportunidade de evidenciar essa atuação como mediador e estimulador dos processos de ensino e aprendizagem.

O propósito de desenvolvimento de uma *sequência didática* que auxilie o docente em seu fazer e permite a construção e reconstrução de conhecimento esteve presente durante toda a pesquisa. Ainda, objetivou-se que os discentes vivenciassem a construção de conhecimento, relativo ao conceito de densidade dos objetos e de massa específica das substâncias encontradas na natureza. A pesquisa apresentada nesta dissertação discute a mudança de paradigma para as tradicionais aulas teóricas e expositivas, que pouco contribuem para os avanços cognitivos dos discentes, buscando a transformação de uma situação encontrada e estabelecida. Trata-se de uma *sequência didática* que leva em consideração a necessidade da reflexão como condutora do processo. Muitas vezes os docentes constroem planejamentos de trabalho, ou planos de aula, que são seguidos e repetidos ano a ano, como receitas que não podem carecer de nenhum ingrediente preestabelecido. Planos de aulas que não oferecem abertura para o questionamento, mas que determinam a resposta que se deseja para determinada questão.

A referida *sequência didática* pode ser adaptada à realidade e contextos diversos, de acordo com as necessidades identificadas pelo docente. Também pode auxiliar na reflexão sobre a didática para o Ensino de Física e nesse sentido, pode ser uma possibilidade para a mesma.

De acordo com Freire (1996, p. 29), “não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino”. Para o autor estes são “que-fazerem que se encontram um no corpo do

outro.” Esse é o contexto da pesquisa-ação, que promove a construção de um conhecimento que deve contribuir para responder às demandas da prática docente.

A pesquisa-ação é integrante da prática docente mesmo que o docente não faça sua sistematização. Nela o docente faz continuamente uma reflexão e uma avaliação do seu trabalho e leva em conta as suas ações passadas, as ações presentes e planeja suas ações subsequentes, numa dinâmica denominada simplesmente de aula.

Pode-se considerar que, mesmo que o docente não esteja intencionado em sistematizar uma pesquisa, a sua prática leva-o continuamente à oportunidade de buscar recursos para que o discente construa conhecimento. Esses são aspectos de base para a pesquisa-ação. Para Freire (2001, p. 259), essa é a dinâmica do conhecimento que se processa nas relações docentes cotidianas, as quais “vão se dando” quase imperceptivelmente, na construção de conhecimento.

3.1 Conceitos e significados na construção do conhecimento

Nos textos de justificativa das matrizes curriculares e seus parâmetros é usual a apresentação do papel do docente como aquele sujeito que é o ator que fará a mediação entre o conhecimento e o discente. Esse docente vive assim, a dicotomia entre a necessidade de atender à demanda do currículo e preparar o discente para a realidade do mundo do trabalho, para a atuação como cidadão que deve conhecer e exercer seus deveres e direitos de forma crítica e reflexiva.

Para Vigotsky (2010), dentre as funções dos instrumentos criados pelo homem, está a capacidade de que esses instrumentos possam influenciar seus pares e servir como mediadores entre o sujeito e o seu meio. As contribuições de Vigotsky são decorrentes da psicologia cognitivista na perspectiva da teoria histórico-cultural. Nesse contexto, o conhecimento construído pelo docente, sobre seu ofício, é também instrumento que possibilita ampliar suas ações sobre os objetos e seu contexto histórico, social e cultural.

Considerando o exercício da docência como construção de conhecimento e que se fundamenta em concepções teórico-metodológicas, o desenvolvimento de uma metodologia voltada para resolver questões do dia-a-dia da sala de aula é um desses instrumentos de intervenção. O docente, nessa construção, é também um sujeito que influencia seus discentes e é, muitas vezes, modelo e exemplo de

relações com o conhecimento, de seu interesse pelo mesmo, e de seu investimento como pesquisador da sua prática.

Segundo Barbier (2007, p. 54) esse processo de relações entre docente, discente e o conhecimento, nada mais é do que “a pesquisa-ação que reconhece que o problema nasce num contexto preciso de um grupo”. Assim, o docente, em sua práxis constata inicialmente o problema, analisa a situação, deve expô-la ao grupo e sugerir a participação de todos sobre os encaminhamentos didáticos necessários. O docente pode delegar tarefas e funções, mas também deve promover a autonomia de seus discentes, de forma que estes possam ser atores de seu processo de construção de conhecimento. Seu papel é, nesse sentido, acompanhar seu discente, ou seja, ser o orientador para que este possa construir seu conhecimento.

Na teoria sociointeracionista de Vigotsky, o docente precisa ter conhecimento de quando e como agir. Vigotsky (1998, p. 94) apresenta as *zonas de desenvolvimento* que mostram o terreno onde o docente precisará desenvolver sua dinâmica didática. O autor lembra que “o aprendizado das crianças começa muito antes delas frequentarem a escola”, dessa forma qualquer ação do docente deve considerar o conhecimento que o discente possua e também o seu grau de desenvolvimento.

Esse grau de desenvolvimento, que é fundamental no planejamento de ações didáticas do docente, é tratado por Vigotsky como as *zonas de desenvolvimento*. De acordo com o autor (1998, p. 96), “o primeiro nível de desenvolvimento pode ser chamado de *zona de desenvolvimento real*”. Na *zona de desenvolvimento real*, considera-se que o sujeito já tenha completado certos ciclos de desenvolvimento que estão relacionados à sua capacidade mental, ligados àquilo que o mesmo consegue resolver sozinho, por si mesmo. Esse é um período que pode ocorrer com variações que envolvem a idade e as interações que o sujeito viveu, construindo suas experiências e bagagem, portanto apresenta característica de retrospectão, ou seja, o sujeito volta às suas experiências passadas buscando instrumentos que o auxiliem na construção de novos conhecimentos.

Outro nível que Vigotsky (1998, p. 97) apresenta em sua teoria é a *zona de desenvolvimento proximal ou iminente* que ele define como sendo “a distância entre o nível real (da criança) de desenvolvimento determinado pela resolução de problemas independentemente e o nível de desenvolvimento potencial”. É uma zona

em que as funções ainda estão em processo de maturação. Essa é uma zona de desenvolvimento que apresenta características de prospecção. Já “o nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente”.

A *zona de desenvolvimento potencial* é explicada por Vigotsky (1998, p. 97) como aquela na qual o sujeito consegue solucionar problemas com a ajuda de um adulto ou a colaboração de pares mais capazes. Este é um aspecto importante para que o docente conheça seus discentes e possa desenvolver estratégias de trabalho, que efetivamente possibilitem a construção de conhecimento.

Outro aspecto fundamental dos estudos de Vigotsky está relacionado à como os sujeitos desenvolvem suas funções cognitivas com relação à construção de conceitos. De acordo com Vigotsky (2010), as estruturas psíquicas humanas se desenvolvem a partir das interações culturais e sociais que apresentam sistemas simbólicos, nos quais o sujeito está inserido, e dessa forma ele pode interpretar a realidade, formando-se e modificando-se. Esse processo confere ao sujeito a capacidade da construção, no dia-a-dia, de conceitos espontâneos fora da escola. Estes conceitos, portanto, provem de origens diversas, emocional, sensorial, afetiva e até moral, em função das relações de amizades, grupos significativos, religião, família. A escola como instituição de uma sociedade, interfere nos processos mentais do sujeito como agente mediador em interação cognitiva e psicológica com essa sociedade. E nem sempre essa intervenção consegue atuar satisfatoriamente. O papel do docente é fundamental no sentido de trabalhar reflexivamente possibilitando a atuação e participação autônoma do discente, guiando-o para que reveja seus conceitos espontâneos à luz dos conhecimentos acadêmico-científicos. Ou seja, a aprendizagem trilha o caminho das vivências sociais, para em seguida tornar-se individual.

Assim, o desenvolvimento cognitivo deve ser considerado como um processo que perpassa a questão histórica e social, mediada pelo contexto. No Ensino de Física que utiliza atividades experimentais, esses aspectos são preponderantes por “favorecerem a apropriação dos conceitos e fenômenos abordados na atividade realizada” (ROSA, 2003, p. 17).

Para Vigotsky (2010) o processo de construção de conceitos está voltado para o pensamento por complexos. No pensamento por complexos o sujeito associa

objetos isolados, influenciado pelas relações que possam existir entre esses objetos. Há nesse contexto uma evolução do processo subjetivo que passa a considerar objetividade nas relações e impressões sobre os objetos constituintes do sistema em questão. Segundo Vigotsky (2010) essa fase é a mais importante na trajetória de formação do pensamento conceitual do sujeito. Este é um nível mais elevado de pensamento, pois nele o sujeito já analisa objetivamente as relações que possam existir entre os objetos de conhecimento que lhe são apresentados.

Vigotsky (2010) considera que o pensamento por complexo ou o pseudoconceito é coerente e objetivo. Nessa fase o sujeito já consegue organizar seu pensamento de forma que haja objetividade relacional entre objetos e fatos. O sujeito faz uso, nesse momento, do raciocínio, considerando as ligações entre os componentes do processo, como concretos e factuais e não mais como abstratos e lógicos. As ligações, nesse sentido, acontecem em função de experiências concretas e imediatas, que o sujeito vive e que possam estar conectadas a fatos presentes no processo, que levem à união de elementos relacionados aos fatos que podem ou não, ser diferentes.

O pensamento por complexo ou o pseudoconceito é fundamental na construção de conceitos pelo sujeito, por ser a ponte de ligação evolutiva na construção de conhecimento. Para que o sujeito possa construir conceitos ele precisa ser capaz de abstrair, isolar elementos, examinar elementos abstratos separadamente da totalidade da experiência concreta da qual fazem parte (VIGOTSKY, 2010). De acordo com o autor, a fase de pensamento por complexo mais avançada é que levará o sujeito a evoluir para a construção de conceitos. Ao discente deve ser possibilitada a oportunidade de realizar “o confronto entre seus conhecimentos espontâneos e os científicos. Estes dois conhecimentos se relacionam e se influenciam constantemente, fazendo parte de um único processo: o desenvolvimento da formação dos conceitos” (ROSA, 2003, p. 18). Nesse contexto a escola deve exercer sua função como instituição socialmente constituída para validação do saber, e promover a construção do conhecimento necessário à atuação cidadã dos sujeitos.

O planejamento do trabalho docente deve considerar o quê o discente já conhece, o quê é capaz de realizar sem auxílio, o quê ele pode aprender com auxílio de seus pares e do docente, observando que o conhecimento construído demanda relações significativas. Uma estratégia para se atingir os objetivos didático-

pedagógicos é mapear situações nos limites da *zona de desenvolvimento proximal*, pois, “Ensinar uma criança o que ela não é capaz de aprender é tão estéril quanto ensiná-la a fazer o que ela já faz sozinha.” (VIGOTSKY, 2010, p. 336-337).

Para a pesquisa que resultou nesta dissertação, a discussão acalorada que foi planejada a partir de uma pergunta colocada em determinado momento na sala de aula, pretendeu levar os discentes a vivenciar situações complexas, abstratas e generalizantes, mediadas pela linguagem e em parceria com o adulto, ou seja, o docente direcionando a interação para a zona de desenvolvimento potencial. Para Vigotsky (2010, p. 155) “começam a desenvolver-se na criança os processos que levam à formação dos conceitos e ao pensamento abstrato” apenas no início da puberdade (depois dos doze anos de idade). Ainda informa que, na construção de conceitos, “os processos são produtivos e não reprodutivos, que um conceito surge e se configura no curso de uma operação complexa voltada para a solução de algum problema”, o que levou neste trabalho, à interação entre docente e discente com um problema a ser solucionado de forma significativa e participativa. Os discentes foram estimulados, através de um processo orientado, a um objetivo com uma série de operações, a contribuir para a solução de um problema central. (VIGOTSKY, 2010).

Vigotsky (2010, p. 246) alerta para o fato de que o processo de construção de conceitos “é mais do que a soma de certos vínculos associativos formados pela memória, é mais do que um simples hábito mental; é um ato real e complexo do pensamento que não pode ser aprendido por meio de simples memorização”. Nesse sentido, memorizar fórmulas pouco ou nada contribui para que ocorra a construção de conhecimento, mas sim, pode atender aos docentes que esperam que seus discentes apenas consigam resolver exercícios e problemas de atividades e de livros didáticos, como os que o docente usa em sala de aula para expor o conteúdo programático da disciplina.

Vigotsky (2010) ressalta que, o mais importante de sua investigação, foi a possibilidade de estabelecer que “só na adolescência a criança chega ao pensamento por conceitos e conclui o terceiro estágio da evolução do seu intelecto”. O autor informa ainda, que

com o avanço da adolescência, as formas primitivas de pensamento – sincréticas e por complexos – vão sendo gradualmente relegadas a segundo plano, o emprego dos conceitos potenciais vai sendo cada vez mais raro e se torna cada vez mais frequente o uso dos verdadeiros conceitos, que no início apareciam esporadicamente. (VIGOTSKY, 2010, p. 228).

De acordo com Vigotsky (2010), a construção de conceitos científicos pelo sujeito, demanda a capacidade de pensamento arbitrário e da capacidade de abstração, aspectos encontrados na *zona de desenvolvimento proximal*. Esse fato leva à compreensão da necessidade de que o sujeito já possua o desenvolvimento dos conceitos espontâneos, aspecto marcante da referida zona de desenvolvimento.

Um fato importante que deve ser considerado pelos docentes ao realizarem seu trabalho na construção de conceitos é lembrado na pesquisa de Vigotsky (2010, p. 229). Trata-se da “profunda discrepância que, no experimento, se manifesta entre a formação do conceito e a sua definição verbal”. Segundo o autor, “essa discrepância se mantém em vigor não só no pensamento do adolescente, mas também do adulto, mesmo em um pensamento às vezes sumamente evoluído”. Para Vigotsky, “a existência de um conceito e consciência desse conceito não coincidem quanto ao momento do seu surgimento, nem quanto ao seu funcionamento”. O autor informa, ainda, que “a análise da realidade fundada em conceitos surge bem antes que a análise dos próprios conceitos”. Os experimentos de Vigotsky alertam para o trabalho do docente que demanda de seus discentes a participação como sujeitos na construção de conceitos, e o que esperar quanto aos conteúdos a serem trabalhados, quanto a possibilidade da construção de conhecimento e os processos avaliativos sobre os mesmos.

A compreensão desses aspectos do desenvolvimento cognoscitivo⁶ do sujeito é preponderante para os objetivos desta pesquisa: a construção do conceito científico de densidade dos objetos e de massa específica das substâncias encontradas na natureza, como agentes principais dessa construção.

3.2 O ensino por investigação

Anualmente os encontros e congressos sobre Ensino de Física mostram que é relevante a necessidade de se discutir as dificuldades, tanto para quem ensina, quanto para quem aprende Física nos mais variados níveis de ensino. A didática para o Ensino de Física tem sido destacada como a responsável pela dificuldade de aprendizagem dos discentes. Esse fato acontece em função do trabalho docente se pautar em aulas expositivas, nas quais estes apresentam conceitos, leis e fórmulas

⁶ De acordo com Freire (1987) Cognoscitivo é a capacidade do sujeito de aprender como o sujeito de seu processo de aprendizagem.

de forma desconectada da realidade e da necessidade prática que o discente irá enfrentar. Essa maneira de lidar com a docência tem também dificultado a compreensão da Física como área de conhecimento, possível de ser trabalhada de forma significativa e próxima da realidade do discente.

Uma variante para o trabalho com o Ensino de Física que já é discutida em outros países da América do Norte e Europa, para minimizar as dificuldades de aprendizagem e proporcionar ao discente o entendimento sobre os aspectos do fazer científico, é o ensino de ciências por investigação. Munford e Lima (2007, p. 77) informam que alguns autores defendem que “a curiosidade é uma característica natural (e essencial) do ser humano e que, conseqüentemente, todas as atividades humanas deveriam ser guiadas pela curiosidade e pela investigação.” As autoras abordam que esse processo não é tão natural assim, e que educadores do âmbito da filosofia, sociologia, história da ciência e estudos de currículos discutem profundamente sobre essa questão e sendo assim a mesma não é tão natural. De acordo com Munford e Lima (2007, p. 77), “na década de 1960 essas ideias começaram a ter repercussões no campo da educação em ciências”.

A Física, como algumas outras áreas de conhecimento, possuem em sua evolução histórica, a concepção de área de conhecimento caracteristicamente ligada a laboratórios, instrumentos e experimentos. Segundo Rosa (2003).

a experimentação sempre esteve presente como coadjuvante no processo evolutivo da Física, mostrando ao longo da história o seu *status* de ciência da experiência. [...]. Sem querer entrar no âmbito da discussão do processo evolutivo e histórico desta ciência, cabe apenas destacar que a Física se vincula a experiências e que, portanto, se para fazer Física é preciso laboratório, então, para aprender Física, ele também é necessário. (ROSA, 2003, p. 15).

Mas, as dificuldades de aprendizagens têm levado muitos pesquisadores a pensar maneiras de dar novo sentido e nova orientação às práticas de laboratório, procurando mostrar que as atividades práticas podem assumir uma nova vertente e serem tratadas de forma mais aberta, mais indagadora e mais investigativa, contribuindo para que o discente estabeleça conexões entre a natureza da ciência e seus conceitos.

Entretanto, é importante ressaltar que o ensino por Investigação não pressupõe necessariamente que ocorram aulas experimentais. Uma pesquisa bibliográfica ou na Internet também configura uma investigação.

Várias são as abordagens didáticas para o uso do ensino por investigação e pela experimentação em Física. Interessa a esta dissertação abordar alguns aspectos relacionados ao desenvolvimento da autonomia do estudante, de forma que este possa participar de seu processo de construção de conhecimento, a partir da interação com o docente e com seus pares, se envolvendo com a própria aprendizagem. Nesse processo o docente, mediador entre o conhecimento e o discente, planeja sua abordagem didática, para que o discente se sinta instigado a pesquisar e desenvolver estratégias investigativas, com objetivo de construir conhecimento relativo a determinado conteúdo.

Nesta dissertação o uso de experimento foi planejado como complemento das dinâmicas investigativas e dinâmicas em sala de aula. Dinâmicas estas, que objetivaram desenvolver nos discentes a possibilidade de vivenciar conflitos cognitivos e desenvolver estratégias para resolvê-los, de forma interativa e participativa conjugando pensamento e ação. Nesse sentido é relevante lembrar que, como abordagens metodológicas para o ensino que integram a aula expositiva dialogada, a teoria e a prática compartilhada, levam à compreensão da complexidade que envolve o processo de ensino e aprendizagem, e a importância de que o resultado positivo desse processo depende também das relações históricas e sociais de docentes e discentes, com o conhecimento.

De acordo com Sá (2009, p. 42), uma abordagem investigativa “pressupõe o envolvimento dos discentes em uma tarefa cuja finalidade e sentido estejam claros para eles”. A autora lembra ainda, que o discente deve ser solicitado à atuação mais do que se lembrar de uma fórmula, ou repetir uma solução usada em situação semelhante à que lhe está sendo proposta. Para que possa ser caracterizada como atividade de investigação, a mesma deve fazer sentido para o discente, possuir características de um trabalho científico e o discente não deve ser um mero manipulador e observador da situação. O docente deve apresentar problemas abertos como ponto de partida que ofereçam a possibilidade da construção de conhecimento. Segundo Pérez e Castro, deve-se considerar dez aspectos que podem tornar uma atividade experimental em uma investigação:

1. apresentar situações problemáticas abertas com um nível de dificuldade adequado, com o objetivo de que os discentes possam tomar decisões, transformando-as em problemas precisos;
2. favorecer a reflexão dos discentes sobre a relevância e os objetivos das situações propostas que dão sentido ao seu estudo (considerando as

- implicações na Ciência, Tecnologia e Sociedade –CTS);
3. enfatizar as análises qualitativas, significativas, que ajudem a compreender e a limitar as situações planejadas e a formular perguntas operativas sobre o que se busca;
 4. propor a emissão de hipóteses como parte central da atividade de investigação suscetível de orientar o tratamento das situações surgidas e de tornar explícitas as concepções prévias dos discentes;
 5. permitir aos discentes o reconhecimento da importância da elaboração do projeto e da planificação da atividade experimental por eles próprios;
 6. propor a análise dos resultados à luz do corpo de conhecimentos disponíveis, das hipóteses levantadas e dos resultados dos outros grupos;
 7. propor considerações de possíveis perspectivas (reelaboração do estudo com outro nível de complexidade, problema ou modificações na montagem do experimento) e contemplar, em particular, as possíveis implicações CTS do estudo realizado;
 8. pedir um esforço de integração que considere a contribuição do estudo realizado na construção de um corpo coerente de conhecimento, assim como as possíveis implicações em outros campos de conhecimentos;
 9. conceder uma importância especial na elaboração de memórias científicas que reflitam o trabalho realizado e possam servir de base para ressaltar o papel da comunicação e do debate na atividade científica;
 10. potencializar a dimensão coletiva do trabalho científico organizando equipes de trabalho e facilitando a interação entre cada equipe e a comunidade científica, representada na sala de aula pelo resto das equipes e pelo corpo de conhecimento já construído. (PÉREZ; CASTRO apud SÁ, 2009, p. 44).

Mesmo com os parâmetros bem detalhados acima, Sá (2009, p. 48) não encontrou, em sua pesquisa em documentos oficiais estrangeiros e nacionais, uma definição precisa e operacional para o termo *ensino por investigação* e que pesquisadores diferentes “nomeiam com termos diferentes aquilo que outros identificam como sendo ensino ou *aprendizagem por investigação*”. Da mesma forma a autora informa que há equívocos quanto ao termo *investigação* e os mesmos documentos foram analisados não se encontrando esclarecimento sobre essa questão.

A falta de definições precisas também ocorre com relação às dinâmicas utilizadas com o uso de procedimentos de laboratório aberto. Dentro da abordagem do ensino por investigação, o laboratório aberto também busca a solução de uma ou mais questões. Para se chegar a uma resposta para as questões colocadas com os procedimentos de laboratório aberto, há a necessidade da realização de pesquisas e experiências. Para Azevedo (2004) as questões abertas devem estar relacionadas a fatos do cotidiano dos discentes e os mesmos devem fundamentar suas explicações em conhecimento construído nos processos de ensino. Nesse procedimento os discentes devem revelar a capacidade para elaborar relatórios e, mesmo que simples, mostrem o domínio da estrutura que os trabalhos acadêmicos demandam

para a comunicação dos procedimentos e descobertas. Nesse sentido é importante que os discentes possam aplicar conceitos para a compreensão de fenômenos naturais, selecionar e organizar informações e conhecimento, e ainda construir argumentação consistente.

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2002) Quadro 1 a seguir) é possível perceber que não se tem uma definição precisa e até há a introdução do termo *competência*, para definir as atividades para a *investigação*, o que gera dificuldades na objetividade da abordagem e no entendimento do termo *investigação*.

Quadro 1 - Investigação e compreensão

Estratégias para enfrentamento de situações-problema	Competência para identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la.
Interações, relações e funções: invariantes e transformações	Identificar fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecer relações; identificar regularidades, invariantes e transformações.
Medidas, quantificações, grandezas e escalas	Selecionar e utilizar instrumentos de medição e de cálculo, representar dados e utilizar escalas, fazer estimativas, elaborar hipóteses e interpretar resultados.
Modelos explicativos e representativos	Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos.
Relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas.	Articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro de uma ciência, entre as várias ciências e áreas de conhecimento.

Fonte: BRASIL, 2002, p. 65-67

Os Parâmetros Curriculares Nacionais, embora sejam um auxílio na condução do trabalho do docente, desde o seu planejamento até os processos avaliativos, não apresentam orientações específicas sobre o desenvolvimento de atividades investigativas em sala de aula.

Sá (2009) informa que a partir de sua pesquisa observou que o termo ensino por investigação é de natureza polissêmica e que se torna um signo com muitos referentes. Na pesquisa geradora desta dissertação a opção pelo ensino por investigação levou em conta a possibilidade de trabalhar com situações “problematizadoras, questionadoras e de diálogo, envolvendo a resolução de problemas e levando à introdução de conceitos para que os alunos possam construir conhecimento” (AZEVEDO, 2004, p. 22). O autor informa ainda, que é também objetivo do ensino por investigação “proporcionar a participação do aluno de modo que ele comece a produzir seu conhecimento por meio da interação entre pensar,

sentir e fazer” (AZEVEDO, 2004, p. 22). Esse fato levou à escolha, nesta dissertação, por narrar no capítulo 4, no item 4.6 intitulado: *Colocando em prática a proposta didática*, o processo vivido durante o desenvolvimento da atividade realizada na pesquisa, uma vez que a mesma abarca os aspectos citados por Azevedo (2004) como pertencentes ao ensino por investigação.

Outro aspecto relevante do ensino por investigação é que esta pesquisa possibilitou, está ligado diretamente ao laboratório aberto, que por ser uma modalidade do ensino por investigação, trabalha com a solução de uma ou mais questões que podem ser respondidas por uma experiência. Nesta dissertação, no capítulo 4 é possível observar que houve a proposição de um problema. Em diálogo, os discentes foram estimulados a levantar hipóteses sobre soluções desse problema e à elaboração de um plano de trabalho para a realização do experimento. Os discentes também trabalharam com os materiais, manipulando-os com liberdade e autonomia, coletando os dados que necessitavam, analisando os mesmos e elaborando conclusões. Pode-se dizer a partir de então, que foi utilizado neste trabalho, o ensino por investigação com abordagem também para o laboratório aberto.

3.3 O olhar avaliativo para a necessidade da pesquisa e seus resultados.

Como determinante para a realização da pesquisa-ação, a avaliação inicial do contexto que apresenta a necessidade da ação, consiste, de acordo com Bardin, (2011, p. 126), “em estabelecer contato e em conhecer o contexto, deixando-se invadir por impressões e orientações”. Refletir sobre o contato com o problema da sala de aula, foi a ação que levou a decisões e, em seguida à definição dos primeiros passos do caminho da pesquisa.

Esse primeiro impacto, segundo o autor, é natural e pouco a pouco, com outras observações e reflexões, o olhar do pesquisador vai se tornando mais preciso em função da experiência construída no campo no qual investiga, e da possível projeção de teorias, que adaptadas sobre o contexto, levam ao delineamento de ações possíveis.

Na pré-análise situacional da pesquisa que levou a esta dissertação, diante do problema a ser resolvido, não foi objetivo inicial levantar hipóteses e se debruçar sobre a causa do problema, pois nesse contexto a ação a ser aplicada estava

intencionada, desde o conhecimento do contexto, a modificá-lo, respeitando todos os envolvidos. Esse respeito considerou a possibilidade de manter a participação, as escolhas e as decisões dos discentes sempre que possível. Esse aspecto é perfeitamente plausível no plano do rigor da pesquisa, segundo Bardin (2011).

Respeitando as regras de representatividade, não houve nesta pesquisa uma escolha por amostragem ou consideração do *corpus* nesse sentido. Para Bardin (2011, p. 127) “nem todo material de análise é suscetível de dar lugar a uma amostragem e, nesse caso, mais vale o próprio universo (e, portanto, o alcance da análise) se esse for demasiado importante”, o que ocorreu com o referido contexto que determinou a pesquisa-ação desta dissertação.

Também não se pautou para análise, em regra de homogeneidade, uma vez que na pesquisa foi considerada a impossibilidade de que, numa sala de aula possam ser encontrados discentes homogêneos do ponto de vista cognitivo, para a construção do conhecimento, o que estabelece relação com a incompletude do sujeito, tratada por Freire (1996).

A determinação da pertinência da pesquisa-ação centrou-se no fato de os docentes possuírem a condição de se relacionarem com a informação de forma a utilizá-la na construção de conhecimento, fundamentado por Vigotsky, no que se refere à evolução do pensamento complexo para o pensamento por conceitos e as zonas de desenvolvimento. Assim, o contexto oferece o *corpus* “adequado, enquanto fonte de informação, de modo a corresponder ao objetivo da pesquisa” (BARDIN, 2011, p. 126). Estabelecendo comparação com a pesquisa científica noutros campos de conhecimento, Tripp (2005, p. 448) esclarece que “a pesquisa-ação ocorre em cenários sociais não manipulados” e por isso, “ela não segue os cânones de variáveis controladas comuns à pesquisa científica”.

Pretendeu-se verificar se seria possível, pela análise *a priori* do problema e do conhecimento construído pela pesquisadora sobre o contexto, e com uso de metodologia e instrumentos didáticos, proceder à intervenção que levasse à construção pelos discentes, do conhecimento sobre densidade e massa específica.

3.4 O papel da escola na construção do conhecimento e o processo social e histórico do ensino de física

A escola tem a prerrogativa da construção e socialização do conhecimento instituído, por esse motivo deve ser também espaço de pesquisa, investigação e construção de conhecimento que possa ser disponibilizado socialmente. As instituições, seus docentes e o projeto político pedagógico das mesmas formam, ou interferem na formação dos discentes como cidadãos e como profissionais que atuarão no mercado de trabalho.

Como espaço de pesquisa e exercício da prática de ensinar e aprender, a escola acolhe teorias, didáticas e as mudanças sociais e tecnológicas de seu contexto, demandando o investimento na formação docente. De acordo com Kenski (2007),

as mudanças contemporâneas advindas do uso das redes transformam as relações com o saber. As pessoas precisam atualizar seus conhecimentos e competências periodicamente, para que possam manter qualidade em seu desempenho profissional. Em uma sociedade em que os conhecimentos não param de crescer, surge uma nova natureza para o trabalho. (KENSKI, 2007, p. 47).

Segundo a autora, nessa nova configuração social, os sujeitos envolvidos com a escola estão em um momento educacional em conexão. Estabelecem-se, assim, oportunidades de aprender junto, discutindo em igualdade de condições, uma vez que todas as áreas do conhecimento também estão envolvidas na realidade tecnológica.

Nesse sentido é importante que os docentes discutam sobre sua práxis e sobre as oportunidades de uma relação dialética entre os saberes construídos em suas práticas docentes. A busca por uma formação continuada que envolve cursos de especialização e os cursos *stricto sensu* são fundamentais, nesse sentido, por possibilitar a sistematização e a validação dos conhecimentos construídos a partir de práticas docentes, que ocorrem no cotidiano de muitas instituições. Assim, analisar historicamente os processos sociais, culturais, tecnológicos e políticos em percursos de ensino, auxilia na compreensão de aspectos que influenciam as didáticas e as concepções de ensino e aprendizagem nas práticas docentes.

Para que o sujeito construa novos conhecimentos precisa de conhecimentos construídos anteriormente. Segundo Demo (2002), a mente humana possui dinâmica autoreferente e autopoietica e no processo de ensino e aprendizagem ela não funciona como reprodutora ou transmissora. Ela não copia o conhecimento, mas desconstrói e reconstrói, interminavelmente. Nessa construção e desconstrução, tanto o erro como o acerto são partes integrantes do processo de autoregulação que, segundo Macedo (1996), é a busca de sintonia, é a percepção de que há algo no processo que precisa ser corrigido. Os dois, erro e acerto, como partes integrantes do processo de construção de conhecimento, levam à definição e redefinição de caminhos e objetivos também na prática docente. Dias (2001) afirma que

a História é o foro, onde a análise conceitual pode ser feita; ela permite rever conceitos, criticá-los, recupera significados e os entende à luz de novas descobertas. Ela é, pois, o instrumento da formação intelectual e da construção de conceitos. Consequentemente, a História de uma ciência é essencial à heurística da descoberta científica. Ela é o instrumento de formação de pensadores. Na medida em que critica, ela subverte, mas dentro de métodos e categorias do pensamento. Portanto, a História é o instrumento da formação de uma mente disciplinadamente indisciplinada na crítica dos conceitos científicos. (DIAS, 2001).⁷

No ensino de Física as influências da evolução histórica, social e tecnológica nas comunicações e acesso às informações, interferem diretamente nas formas de ensinar e aprender e na possibilidade de construção de conhecimento. Pode-se dizer que a Física, como objeto de estudo e pesquisa, chegou ao Brasil com a criação das escolas de ensino superior e em 1823 foi construído o primeiro laboratório de Física, que servia para uso dos acadêmicos da escola militar e de medicina (MOREIRA, 2011). Cientistas que vinham da Europa, refugiados da primeira guerra mundial atuaram nesse laboratório iniciando, com os brasileiros, grupos de experimentação em função dos conhecimentos matemáticos que possuíam. Faltava naquele momento condições para as pesquisas teóricas. De acordo com Costa (2007, p. 21) as pesquisas teóricas em Física só vieram a ocorrer “com a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP) em 1934, porém havia falta de pessoas qualificadas para trabalhar com essa Ciência”. Somente a partir da década de 1940 ocorreu a implantação no país,

⁷ Penha Maria Cardoso Dias, professora Doutora do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ.

dos primeiros aceleradores de partículas com grupos experimentais da USP.

O ensino de Física esteve, nesse período, fundamentado na didática de instruções mecânicas, na memorização e na precariedade da aprendizagem dos conteúdos (COSTA, 2007). A evolução desse processo para condições mais democráticas com a participação dos discentes no processo de ensino e aprendizagem em práticas com laboratórios, somente veio a ocorrer após a década de 1960. Nesse contexto, surge o movimento *Ciência, Tecnologia e Sociedade* (CTS), que se mantém até os dias atuais por possuir uma estreita relação da Ciência com a Tecnologia e a Sociedade. (SÁ, 2009).

Mudanças curriculares se fizeram necessárias uma vez que, para formar cidadãos críticos e reflexivos, currículos pautados em conceitos ultrapassados não surtem resultados e havia a necessidade de acompanhar a sociedade e seu processo evolutivo. Na contemporaneidade, uma sociedade em constante transformação, demandando um cidadão atuante, participativo, com capacidade reflexiva e crítica para intervir, compreender e modificar o seu contexto social, requer que a escola consiga lidar com o conhecimento, de forma a possibilitar que seus discentes possam processá-lo e organizá-lo para, a partir de então, utilizarem-se dele para construir outros conhecimentos.

O docente é o sujeito que tem nas mãos a oportunidade de, a partir de sua orientação pedagógica, concepções relativas à construção do conhecimento e processos de ensino e aprendizagem, atuar de maneira transformadora na vida de seus discentes, contribuindo para que, de forma participativa, o discente possa atuar nos espaços de ensino e aprendizagem. A experiência vivida com a pesquisa realizada para essa dissertação buscou investir na participação dos discentes como sujeitos da construção autônoma de conhecimento.

4 METODOLOGIA: DETALHANDO O UNIVERSO DA PESQUISA

*Todas as metodologias, até mesmo as mais óbvias, têm seus limites.
(FEYERABEND, 2007, p. 49)*

No ofício docente a pesquisa pressupõe mais do que sistematizar a construção de didáticas e estratégias de ensino e aprendizagem. O docente precisa estar cotidianamente diante de indagações, que tornem seu fazer eficiente para que seus discentes construam conhecimento. A sala de aula é, nesse sentido, o ambiente privilegiado para investigação, estudo e reflexões da prática docente. Segundo Ferreira (1986, p. 1320) pesquisa também significa “investigação e estudo, minudentes e sistemáticos, com o fim de descobrir ou estabelecer fatos ou princípios relativos a um campo qualquer do conhecimento”. Dessa forma, pode-se considerar que a pesquisa docente busca conhecer uma realidade ainda desconhecida e que essa busca alimenta a construção de conhecimento, tanto do docente quanto de seus discentes.

Como o discente aprende? Que instrumentos o docente precisa construir para dinamizar a didática? Quais conhecimentos são importantes abordar nas aulas? Estas são algumas das inquietações de docentes comprometidos com seu ofício. Nesse comprometimento, sistematizar, refletir, documentar, analisar e compartilhar, são ações que permeiam a pesquisa e levam à busca de pressupostos epistemológicos para fundamentar a metodologia necessária para que o conhecimento construído na prática da sala de aula possa ser reconhecido e validado pelo meio acadêmico.

4.1 Metodologia da pesquisa

Para a pesquisa que resultou nesta dissertação os passos seguidos foram: a identificação do problema, o planejamento da pesquisa, a pesquisa propriamente dita. Como primeira ação, foi “levantado” o conceito de densidade e de massa específica em livros didáticos, para verificar o estado da arte para esse recurso (os livros), que fundamentam a prática docente no ensino de Física. Como segunda ação foi realizado um pré-teste com os discentes sujeitos da pesquisa. Nas demais ações foram realizados os procedimentos com a aplicação da sequência didática e avaliação processual, depois foi feita a análise dos dados - particularmente nesta

pesquisa: análise dos resultados da abordagem investigativa de laboratório aberto. Posteriormente foi realizada a avaliação final e a conclusão.

4.1.1 Sistematizando a sequência da pesquisa

- a) aplicação de pré-teste com conteúdo relativo ao conceito científico de densidade e de massa específica das substâncias encontradas na natureza ou mesmo, preparadas tecnologicamente, com duas turmas de 35 discentes da 1ª série da Educação Profissional Técnica de Nível Médio;
- b) realização da proposta em uma sequência didática;
- c) realização de pós-testes algumas semanas após a aplicação da proposta para verificação da efetiva construção do conceito científico de densidade e de massa específica.

4.2 Caracterização do universo da pesquisa

A pesquisa para o desenvolvimento dessa proposta de trabalho, apresentada como *sequência didática* nos Apêndices desta dissertação, foi realizada com discentes de duas turmas da 1ª série do Curso Técnico em Eletrônica da Educação Profissional Técnica de Nível Médio na forma integrada do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG).

A *sequência didática* foi planejada para acontecer em quatro etapas, com duração de seis aulas, em turmas de 35 discentes cada uma, com idade entre 15 e 16 anos. As referidas turmas tinham quatro aulas de física semanais distribuídas em dois dias por semana, com 50 minutos de duração cada uma. Considerando que nem todas as escolas dispõem de salas de laboratórios, a pesquisa foi planejada para ser realizada em sala de aula.

4.3 O problema que levou à pesquisa

O problema identificado estava em os discentes não conseguirem realizar as atividades programadas para a disciplina de Física na referida série, que demandassem a construção do conceito de densidade e de massa específica dos

objetos e das substâncias encontradas na natureza, ou mesmo preparadas tecnologicamente.

4.4 Procedimento preliminar: análise de livros didáticos

Foi realizada uma sondagem em alguns livros didáticos adotados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) para verificar o acervo de informações disponíveis aos discentes da pesquisa. Analisar livros didáticos com objetivo de utilizá-los no trabalho docente é fundamental e deve ser observado pelos docentes. Buscou-se avaliar os recursos que os mesmos oferecem para o trabalho com os conceitos. Segundo Gasparin (2009) trata-se de verificar o conteúdo dos manuais didáticos, pois neles

encontram-se os conceitos que são assumidos e expressos por seus autores. Ao professor cabe o dever, como mediador do processo de ensino e de aprendizagem, apropriar-se, através de análise criteriosa, do conteúdo dos manuais. Analisando as concepções que são apresentadas terá oportunidade de verificar se estão de acordo com os conhecimentos científicos-culturais que deseja que seus alunos aprendam. (GASPARIN 2009, p. 16).

Na sondagem prévia desses livros didáticos observou-se que a maioria das publicações define densidade simplesmente como sendo *a razão entre a massa do corpo e o seu volume*, sem trazer essa definição para uma situação real que poderia ser observada pelos discentes, considerando-os apenas como meros receptores de definições. Nos livros consultados há ainda a informação de que a unidade de densidade é kg/m^3 , podendo ser usado g/m^3 , como é usualmente expresso nas tabelas que informam o valor dessa grandeza, sem nenhuma preocupação de explorar o significado dessa unidade.

Segundo Dias (2001, p. 226-227), “as dificuldades conceituais são banalizadas, conceitos são tratados como *óbvios*. Isso deixa a desagradável sensação de que os conceitos são *mágicos*”. Assim, não se destaca como deveria ser feita, a distinção entre densidade e massa específica. Elas são grandezas que usam a mesma expressão matemática para o seu cálculo ($d=m/v$), mas que tem significados diferentes, representando condições específicas das substâncias.

Nesse sentido, levou-se em conta na pesquisa desta dissertação, que a referida distinção entre densidade e massa específica tem sua importância, além de

que o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) é uma escola técnica, na qual os discentes estão sendo preparados para atuarem no mercado de trabalho ao término do curso, e em algum momento, poderão ter que solucionar problemas que envolvam esses conceitos, como por exemplo, determinar a porcentagem de álcool misturada à gasolina. Outro exemplo está no fato do Brasil, com extensa malha rodoviária que possui, necessitar de profissionais capazes de decidir sobre a dosagem dos agregados de uma mistura asfáltica, a partir da melhor escolha desses agregados, considerando suas propriedades físicas, garantindo assim o resultado necessário à pavimentação de rodovias de acordo com a qualidade exigida. Esse fato é revelador da importância do trabalho com o conceito de massa específica.

4.5 Questões da pesquisa

Algumas questões permearam a prática docente que levou a realização dessa pesquisa:

- a) como utilizar as contribuições didáticas da atividade baseada na investigação e nos pressupostos da teoria sóciointeracionista (VIGOTSKY, 2010), para que discentes de 1ª série do Ensino Médio construam o conceito científico de densidade e de massa específica?
- b) uma atividade investigativa dessa natureza contribui para desenvolvimento do conceito científico de densidade e de massa específica das substâncias encontradas na natureza ou mesmo, preparadas tecnologicamente?

O objetivo principal da pesquisa foi verificar a construção do conceito de densidade dos objetos e de massa específica das substâncias encontradas na natureza ou mesmo preparadas tecnologicamente. Para atingir esse objetivo buscou-se planejar, executar e avaliar os resultados de uma sequência didática de cunho investigativo para a construção, pelos discentes, dos referidos conceitos.

Os objetivos secundários foram:

- a) investigar a construção, pelos discentes, do conhecimento do conceito científico de densidade e de massa específica por meio da investigação e da experimentação, como protagonistas do próprio processo;
- b) possibilitar que esses discentes pudessem desenvolver a habilidade de pesquisar e de sistematizar a pesquisa, propondo a análise dos resultados à luz do corpo de conhecimentos existentes e à luz dos resultados dos seus pares;
- c) desenvolver o senso crítico, a curiosidade científica reflexiva, a habilidade de pesquisar e de construir seu próprio conhecimento; desenvolver a capacidade do trabalho coletivo, cooperativo e interativo potencializando a organização da construção do conhecimento científico acadêmico.

4.6 Colocando em prática a proposta didática

A metodologia da pesquisa foi sistematizada através da realização da proposta didática, denominada de *sequência didática*, constituída de seis etapas descritas a seguir.

4.6.1 Aplicação do pré-teste

O pré-teste utilizado na pesquisa (Apêndice B) foi composto de questões abertas, para que fossem levantadas as concepções espontâneas dos discentes sobre densidade, e quais eram os erros conceituais que traziam com essas concepções. De acordo com Gasparin (2009, p. 16-17), “a primeira tarefa do professor deveria ser definir o limiar inferior da aprendizagem - o nível atual de conhecimento que os educandos já possuem sobre o tema a ser estudado”. Essa proposta de Gasparin encontra correspondência nos pressupostos teóricos de Vigotsky (1998; 2010), com as zonas de desenvolvimento e a abordagem sociointeracionista, da mesma forma que em Freire (1987; 1996) com a herança e o contexto sociocultural interferindo nos processo de ensino e aprendizagem.

Gasparin (2009, p. 17) nomeia essa situação de *conceito inicial do aluno*, no qual se conhece a concepção que o aluno possui sobre determinado assunto ou tema. Esse conhecimento pode ter sido construído antes da escola, ou na sua vivência escolar anterior. Para o autor (2009, p. 17) esse conhecimento é importante, pois é com ele que o discente se “comunica com as demais pessoas em sua vida cotidiana e que por meio dele estabelece as relações sociais necessárias para a solução dos problemas que se apresentam”.

A realização do pré-teste ocorreu na finalização de uma aula anterior à aplicação da proposta, uma vez que é uma tarefa rápida. Foram utilizados vinte minutos para início e finalização da mesma. A análise dos dados (Tabela 1) confirmou o que se observava anteriormente, ou seja: a maioria dos discentes investigados (84,3%) possuía um conhecimento prévio sobre a equação de densidade. Provavelmente adquirido no ensino fundamental ou em cursinho preparatório para ingressar no CEFET-MG. Entretanto os discentes não possuíam conhecimento construído sobre o conceito de densidade, uma vez que não sabiam fazer mudança de unidade e nem interpretar o seu significado. Revelou-se assim, que o uso da equação foi puramente mecânico. Em relação à densidade de uma substância composta (ligas metálicas), quase todos os discentes (86,2%) não possuíam nenhum conhecimento construído de como calcular a densidade das respectivas substâncias.

Tabela 1 - valiação dos conhecimentos prévios sobre densidade a partir de pré-teste

Principais conhecimentos prévios trazidos pelos discentes	Porcentagem de acertos
Conhecimento e aplicação da equação de densidade	84%
Mudança de unidade de densidade e seu significado (interpretação da unidade)	4%
Cálculo da densidade de substâncias compostas	4%

Fonte: Dados da pesquisa

Isso pode revelar que os discentes se encontravam no estágio do pensamento por complexo, ou seja, estavam no estágio do pseudoconceito.

Segundo Vigotsky (2010), o pseudoconceito é uma fase na qual o discente já consegue organizar o pensamento bem próximo do conceito científico, considerando as ligações entre os componentes do processo e revelando a evolução do seu pensamento.

A realização do pós-teste foi para que se verificasse a evolução sobre a construção dos conceitos de densidade e massa específica. Para Vigotsky (2010) esse aspecto comunicativo está relacionado ao conhecimento espontâneo que é construído a partir do desenvolvimento humano e suas relações simbólicas, nas suas relações sociais, nas suas relações com a natureza e com a cultura. Vigotsky considera ainda, que o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores dos sujeitos devem receber atenção especial com relação aos estímulos que buscam atingir a *zona de desenvolvimento potencial*, mas que não se deve perder de vista os conceitos espontâneos que ainda precisam ser dominados no percurso escolar.

4.6.2 A investigação - 1ª etapa

Na aula seguinte ao pré-teste, iniciou-se os procedimentos para motivar uma investigação. Primeiramente os discentes se organizaram em círculo, dentro da sala de aula, de tal forma que todos pudessem se ver uns aos outros de frente. Logo após a formação do círculo foi apresentado aos discentes dois recipientes iguais, de plástico transparente, contendo substâncias diferentes em cada um deles. Um recipiente com pequenas esferas de aço e o outro recipiente com pequenas esferas de chumbo. As esferas de aço e de chumbo tinham, aproximadamente, o mesmo diâmetro e ocupavam volumes aparentemente iguais nos frascos (apresentavam o mesmo nível de preenchimento nos frascos). Entretanto, não foi informado aos discentes, de início, que se tratava de aço e de chumbo.

Figura 2 - Frascos contendo esferas de Aço(esquerda) e Chumbo(direita)



Fonte: Fotos da autora

Os recipientes foram entregues aos discentes e circularam entre eles, passando de mão em mão. Os discentes foram orientados de forma que deveriam segurar os dois recipientes simultaneamente, sendo um em cada mão, para que pudessem perceber as diferenças entre eles, se houvesse. Para isso, os discentes deveriam balançar os frascos para ouvir o barulho que produziam; deveriam colocá-los sobre a carteira para comparar os níveis nos dois recipientes, e poderiam, até mesmo, abrir os recipientes para tocar nas substâncias (sem deixar cair) e foram questionados pela docente sobre o que observavam.

A intenção, com esse procedimento, foi fazer com que os discentes concluíssem, através do tato e da visão, que as substâncias que se encontravam nos recipientes eram substâncias diferentes, não só pelo brilho, mas também pelo seu peso.

Assim, para a atividade investigativa foi utilizada aula dialogada, com a contextualização das diferenças entre as substâncias, a partir de questionamentos e reflexões que surgiram durante toda a discussão. Dessa forma foi possível à docente, no diálogo, um diagnóstico sobre o conhecimento que os discentes possuíam em relação a essas diferenças.

Foi solicitado aos discentes que relatassem quais as sensações que os recipientes lhes causavam e o que percebiam em relação às substâncias que estavam nos recipientes, fazendo-lhes algumas perguntas: O que há dentro dos recipientes? Os discentes responderam: “são esferas de metal”. “Qual a sensação que os recipientes lhes transmitem, quando comparados, um com o outro?”.

A maioria afirmou que um recipiente estava mais pesado que o outro. Alguns disseram que as esferas de um dos recipientes pareciam ser maiores que as do outro recipiente, por isso pesavam mais. Outros observaram que as esferas de um dos recipientes brilhavam e as do outro recipiente eram foscas. Os discentes foram, então, instigados com novas perguntas: “Conseguem identificar de que são feitas as esferas?”.

Os discentes não souberam responder de imediato, o que era esperado, pois nem sempre é simples identificar as substâncias apenas através do tato e da visão. Os frascos circulavam entre os discentes e a curiosidade dos mesmos ia sendo aguçada. Alguns discentes arriscavam palpites: uns disseram que eram do mesmo material, outro colega contestava dizendo que não podiam ser iguais porque as esferas de um dos frascos brilhavam e do outro não. O colega justificou dizendo “um é novo e o outro é velho”; outros disseram que um frasco era mais pesado que o outro; outros afirmaram que o peso dos frascos era o mesmo, o que foi contestado pela maioria, porque seus pesos eram realmente diferentes.

Depois de algum tempo um discente arriscou o palpite de que em um dos frascos havia aço por conta do brilho das esferas, mas ele não sabia o que tinha no outro frasco, onde as esferas eram opacas.

Para explorar mais a percepção dos discentes sobre as diferenças das substâncias que estavam nos recipientes, foi feita a seguinte pergunta: “Já pararam para pensar porque umas substâncias são mais pesadas que outras quando comparadas em quantidades iguais?”.

Alguns discentes disseram que, como o tamanho das esferas era diferente então, naquele recipiente em que as esferas eram um pouco menores, havia mais esferas e, por isso, o recipiente estava mais pesado. Outros afirmavam que as esferas possuíam massas diferentes, mas não sabiam justificar porque, apesar de ocuparem, aparentemente, o mesmo volume, possuíam pesos diferentes. Em um determinado momento alguém disse: “Há, isso tem alguma coisa a ver com a densidade. Eu já estudei isso”.

Após explorar a oralidade dos discentes com argumentos que levavam a promover o conflito cognitivo, permitindo que debatessem suas opiniões baseadas nas sensações que os frascos lhes transmitiam através do tato e da visão, a docente informou aos discentes que os conteúdos dos recipientes eram chumbo e aço.

Buscou-se, dessa forma, a participação de todos no diálogo, verificando a percepção que eles possuíam em relação ao conceito de densidade. De acordo com Vigotsky (2010) o diálogo é considerado fundamental, pois é através dele que os sujeitos se sentem integrantes de uma sociedade, expressam seus pensamentos e encontram acolhidas às suas manifestações.

Os discentes foram novamente instigados com outras perguntas: Qual recipiente é mais pesado, o que contém aço ou o que contém chumbo? E, depois de *balancear* os dois recipientes novamente, eles afirmaram que era o que continha chumbo. Então foi perguntado pela docente: Porque vocês acham que o chumbo é mais pesado do que o aço? A resposta obtida foi: é porque são substâncias diferentes, disse um discente. Outro discente afirmou: É porque eles possuem densidades diferentes.

Essa resposta vem ao encontro do resultado mostrado no pré-teste, de que os discentes sabem da existência da grandeza densidade, mesmo sem entender o seu significado. Associam a palavra *pesado* com a palavra *densidade* sem se referir ao volume ocupado pelas esferas, o que demonstra a fragilidade na construção do conceito.

A informação sobre o quê os discentes já conheciam sobre densidade é uma informação adquirida anteriormente na escola, portanto já é, para eles, um conceito formal, pois este não é um conceito que faz parte da vida das pessoas de forma natural no seu cotidiano.

Em seguida, a docente misturou parte das esferas dos dois frascos em um terceiro frasco e perguntou aos discentes: Qual a massa de aço e qual a massa de chumbo presentes na mistura?

Nesse momento a docente apresentou um problema para ser investigado: *Como fazer para descobrir a massa de cada substância que compõe uma mistura?* A intenção, com a apresentação de um problema sobre o que seria estudado, foi fazer com que os discentes se sentissem motivados a investigar, o que os levaria a refletir, discutir, explicar e relatar sobre suas investigações construindo nesse processo, um novo conhecimento (VIGOTSKY, 2010).

De imediato os discentes sugeriram separar as esferas e pesar. Foi, então, colocado para os discentes que aquela mistura estava simulando uma *liga metálica* e que nem sempre é possível, ou tão simples separar as partes que constituem essa liga, ou as substâncias de uma composição como, por exemplo, a gasolina

misturada ao álcool nas bombas de combustível e o ferro do latão de uma lâmina bimetálica, muito usada para abrir e fechar circuitos elétricos como os dos semáforos e do pisca-pisca de natal e em ferros elétricos, funcionando como um termostato.

A docente explicou que as ligas metálicas são o resultado de misturas de substâncias cujo principal elemento é um metal puro. Essas ligas são largamente usadas nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas, navais, bélicas e na construção civil, que nem sempre encontram um metal que, na sua forma pura, apresente as características exatas pretendidas para uma determinada aplicação na construção de seus produtos. Também, explicou que a fabricação de ligas metálicas visa uma utilização racional e sustentável dos recursos naturais que o homem tem à sua disposição. Como exemplos de ligas metálicas podem ser citados:

- a) o bronze;
- b) o latão;
- c) o cobre;
- d) o amálgama dental;
- e) a prata, etc. (SILVERIO et al., 2010).

Voltando ao diálogo, a docente tornou a perguntar aos discentes como eles poderiam determinar a massa de aço e a massa de chumbo presentes na mistura das esferas sem, entretanto, separá-las. A docente ressaltou que a questão era saber qual a massa de cada parte da mistura.

Resgatou-se, então, um pouco da história da ciência sobre Arquimedes e a coroa do Rei de Siracusa. A docente comentou que o Rei Hierôn havia dado ouro a um ourives para que ele lhe fizesse uma coroa. Desconfiado de que o ourives o tivesse enganado, o Rei chamou Arquimedes e determinou que ele verificasse se sua coroa era somente de ouro ou se o ourives havia misturado outro metal menos nobre ao ouro dado a ele, porém o Rei não queria que a coroa fosse destruída. Segundo a história, Arquimedes teria encontrado a forma de resolver o problema da coroa do rei durante o banho de imersão, que, naquela época eram tomados em casas de banho.

Foi, então, apresentado aos discentes o desafio para que eles investigassem como poderiam determinar a massa de aço e a massa de chumbo da mistura das

esferas, inspirados na solução que Arquimedes deu ao problema do Rei, além de pesquisarem sobre quem foi Arquimedes.

Os discentes ficaram com a incumbência de pesquisar sobre quem foi Arquimedes e qual a solução que ele encontrou para resolver o problema da coroa do rei. Nesse momento, em que se propõe que os discentes pesquisem sobre a história de Arquimedes e a coroa do Rei iniciou-se uma investigação. De acordo com Santos e Cardoso (2007, p. 2), “a História da Ciência possibilita ao aluno o desenvolvimento de um espírito crítico sobre o conhecimento científico”. Para os autores, trabalhar com o contexto histórico sobre a área de conhecimento auxilia na compreensão do universo científico e suas especificidades.

Resgatar a história de Arquimedes e a coroa do Rei Hierôn teve como fundamento o fato de que

a História da descoberta de um conceito mostra não somente *como* o conceito foi criado, mas, sobretudo, seu *porquê*; a História mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido, revela o *quê* o conceito faz na teoria, sua função e seu significado. [...] Ela desvenda a lógica da construção conceitual; nesse esforço, ela revela, também, os ‘buracos lógicos’ que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica. (DIAS, 2001, p. 227).

A autora afirma ainda, que “A História coloca em evidência a ‘operação mental’ que leva do ‘Laboratório da Natureza’ à lei geral” (DIAS, 2001, p. 232). Discutir com os discentes sobre aspectos históricos foi mais do que uma abordagem discursiva, uma vez que considerou que os discentes poderiam, também, exercitar a autonomia na busca de informações relevantes a ponto de serem selecionadas criticamente, para serem coletivizadas durante a aula. A partir de então, deu-se início às tarefas para a aula seguinte. As turmas foram divididas em grupos de cinco discentes, que ficaram encarregados de fazer a pesquisa e trazer por escrito na próxima aula. Todo esse debate foi realizado durante uma aula.

4.6.3 O resultado da investigação - 2ª etapa

Esta etapa foi iniciada com a docente perguntando aos discentes qual grupo gostaria de começar a aula apresentando sua pesquisa sobre a solução que Arquimedes encontrou para resolver a questão da coroa do Rei.

Um dos grupos da primeira turma se apresentou e um dos discentes desse grupo foi à frente para fazer sua explanação sobre a pesquisa. A explanação do estudante foi satisfatória e seus colegas complementaram algumas falas e mostraram a solução que Arquimedes deu para resolver o problema do Rei.

Na outra turma foi realizado o mesmo procedimento e o discente que fez a apresentação da pesquisa superou nossas expectativas. O seu grupo fez uma pesquisa completa sobre a vida de Arquimedes, sobre seus pais e como ele morreu. O discente relatou como Arquimedes encontrou a solução para o problema do Rei durante seu banho, quando observou o volume de água que transbordava da banheira ao se mergulhar nela. Disse que Arquimedes percebeu que esse volume de água deslocada, quando entrava na banheira, só podia ser igual ao volume de seu corpo e, então, concluiu que o volume de água deslocada pela coroa de ouro seria menor do que o volume de água deslocada se a coroa fosse feita de ouro misturado com outro metal, que poderia ser a prata, uma vez que a coroa tinha o mesmo peso do ouro que o Rei deu ao ourives. Arquimedes, percebendo que massas iguais de diferentes metais deslocavam volumes diferentes de água, usou a relação de massa $\times$ volume, para descobrir se a coroa era de ouro puro ou não. A partir da densidade da coroa e do ouro Arquimedes descobriu que a coroa do rei era uma mistura de ouro com prata. Esse discente estava tão envolvido com sua pesquisa que ao final de sua explanação arrancou aplausos de seus colegas.

Após a apresentação dos grupos a docente promoveu um debate com a turma com objetivo de consolidar os conhecimentos construídos sobre densidade, a partir da investigação sobre a solução de Arquimedes, para descobrir se a coroa do Rei era de ouro puro ou não. Os conhecimentos anteriores que os discentes tinham sobre densidade foram ampliados e a equação matemática para calcular a densidade que alguns dos discentes já possuíam foi reafirmada ($d = \frac{m}{v}$). Segundo Vigotsky (2010), a atividade investigativa provoca uma mudança no nível do conceito do discente.

A partir da explanação dos discentes sobre a solução que Arquimedes encontrou para o problema do Rei, discutiu-se se a solução dada por ele serviria para resolvermos o problema colocado para a classe. Como poderiam, então, descobrir a massa de aço e a massa de chumbo da mistura apresentada?

As discussões evoluíram, até que os discentes perceberam que poderiam seguir os mesmos caminhos que Arquimedes trilhou para resolver o problema do Rei.

Segundo a abordagem sociointeracionista (Vigotsky, 2010) a relação dialética entre os discentes promove, através da mediação com os instrumentos de linguagem, a socialização de informações e processos cognitivos. Assim, ocorre a ruptura da individualidade fazendo com que os discentes se vejam como parceiros da aprendizagem. Nesta abordagem o docente deve mediar, mas não deve conduzir o processo, deixando que os discentes o conduzam.

As participações no processo, durante as aulas representaram um dos momentos mais importantes, pois os discentes tentavam buscar uma solução para o problema proposto. Em debate, muitas vezes demonstravam seus conhecimentos anteriores, mesmo que equivocados, o que pode ser observado na subseção 4.6 Colocando em prática a proposta didática. Os discentes, antes de entrar para a escola, ainda não haviam construído o conceito científico de densidade. Em geral, ao entrar nessa fase escolar do Ensino Médio, os discentes chegam com um pensamento por complexo ou pseudoconceito sobre densidade, construído em outras etapas de sua vida escolar.

Eles conhecem a definição de densidade, mas confundem-na com o peso do corpo. Isso mostra que eles usam o conceito de peso que já conhecem, e associam-no ao conceito de densidade, ou seja, eles estão com o pensamento por complexo quando começam a identificar características comuns. No momento em que eles conseguirem relacionar densidade com o número de moléculas que constituem o corpo, e o volume que elas ocupam, inferindo que um corpo mais denso é, também, mais pesado, eles terão chegado ao conceito científico de densidade, atingindo um nível potencial.

Outro fator relevante desse momento de debate é que os discentes deixam o individualismo de lado para atuarem num contexto interpessoal que envolve docente e discentes. De acordo com Costa (2007) esses são momentos pontuais, pois os discentes ao participarem ativamente e refletirem sobre a situação, vivem a oportunidade da construção do conhecimento.

Desta forma, os discentes tiveram a oportunidade de refletir e discutir sobre as ações a serem adotadas para a solução do problema proposto, traçando caminhos, através da utilização de conhecimentos construídos com a investigação.

A docente, por sua vez, observava o contexto, conduzindo o grupo com questionamentos que demandavam do discente a busca de outras formas de pensar direcionada para a solução do problema. De acordo com Vigotsky (2010) a orientação do adulto ou a colaboração de companheiros mais capazes é fator determinante para a construção do conhecimento e desenvolvimento da autonomia.

Também definiram, nessa aula, quais os materiais, recipientes e equipamentos seriam necessários para auxiliar na solução do problema e como seria executado cada passo, para a experimentação da aula seguinte.

Várias sugestões foram dadas e discutidas entre eles com o intuito de se chegar a um roteiro de uma prática, que os permitisse calcular a massa de aço e a massa de chumbo da mistura do aço com o chumbo. Um discente sugeriu que se colocassem as esferas na água como fez Arquimedes, para se determinar o volume das esferas através do volume do líquido deslocado.

Outro discente sugeriu que o volume poderia ser calculado pela equação matemática de volume de uma esfera ($V=4/3\pi r^3$). A docente concordou com ele e discutiu-se a regularidade da forma das esferas de aço, em contrapartida com a irregularidade da forma das esferas de chumbo. Os discentes, então, poderiam optar em calcular o volume das esferas de aço pela equação matemática. Nesse caso, teriam que determinar a massa de cada esfera a partir da massa total da amostra de esferas de aço disponível para eles, e medir o diâmetro de uma esfera (as esferas eram idênticas). Para essa ação foi preciso a interferência do docente no sentido de sugerir o instrumento de medida para determinar esse diâmetro, para o qual foi indicado o paquímetro.

Para o volume das esferas de chumbo e o volume da mistura das esferas ficou decidido que eles seriam determinados pelo processo de Arquimedes, ou seja, medindo o volume do líquido deslocado por elas. Esta opção foi feita para diversificar o processo.

Durante esse processo, um dos discentes foi convidado pela docente para ir ao quadro para anotar todas as sugestões dadas pela turma e, à medida que as ideias iam surgindo e sendo anotadas no quadro, era feita uma avaliação dessa ideia, para julgar se seria válida ou não e, caso positivo, ela era sistematizada no roteiro do experimento.

Desta forma, inspirados na experiência de Arquimedes, os discentes foram elaborando o roteiro para o procedimento experimental e, a partir desse roteiro,

definiram quais os equipamentos, materiais e recipientes seriam necessários para executar a experiência que os levaria a encontrar a solução do problema proposto a eles, que é determinar a massa de cada parte da mistura de esferas. Esta etapa teve duração de uma aula e, ao final dessa aula, o roteiro sistematizado pela turma ficou da seguinte forma:

a) Determinar a densidade do chumbo

- Utilizar um recipiente graduado contendo água;
- Colocar a amostra de chumbo disponibilizada nesse recipiente;
- Observar qual foi a quantidade de água deslocada no recipiente;
- Colocar o chumbo numa balança para que seja medida sua massa;
- Já com o conhecimento das duas grandezas, massa e volume, determinar a densidade pela equação $d = m/v$.

b) Determinar a densidade do aço

- Calcular a massa de cada esfera a partir da massa total da amostra de esferas de aço disponibilizada;
- Medir o diâmetro de uma esfera de aço usando um paquímetro;
- Usar a equação de volume de uma esfera ($V = \frac{4}{3}\pi R^3$), para determinar o volume de cada esfera;
- Com os resultados das letras a e c, usar a equação de densidade para calcular a densidade do aço.

c) Determinar a densidade da mistura

- Reproduzir todo o procedimento descrito no item I, substituindo as esferas de chumbo pelas esferas da mistura.

d) Com os valores descobertos nos itens I, II e III, montar um sistema de equações:

$$m_{\text{aço mistura}} + m_{\text{Pb mistura}} = m_{\text{total mistura}} \quad (2)$$

$$V_{\text{aço mistura}} + V_{\text{chumbo mistura}} = V_{\text{mistura}} \Rightarrow \frac{m_{\text{aço mist}}}{d_{\text{aço}}} + \frac{m_{\text{pb mistura}}}{d_{\text{pb}}} = V_{\text{mistura}} \quad (3)$$

A partir do sistema de equações, calcular a massa de aço e a massa de chumbo que compõem a mistura.

e) Verificação dos resultados

- Utilizar um ímã para separar as substâncias da mistura;
- Pesar as duas substâncias separadamente;
- Comparar com o resultado do experimento;
- Justificar possíveis discrepâncias.

A utilização do ímã para separar as esferas que compunham a mistura foi proposição da docente uma vez que os discentes não conheciam as propriedades magnéticas do aço e do chumbo.

Os equipamentos, recipientes e materiais solicitados e disponibilizados para os discentes foram os listados abaixo e as imagens de alguns deles estão a seguir:

- a) amostra de esferas de aço;
- b) amostra de esferas de chumbo;
- c) recipiente contendo a mistura de esferas de aço e de chumbo;
- d) balança;
- e) Becker;
- f) garrafa com água;
- g) ímã;
- h) paquímetro;
- i) proveta.

4.6.3.1 A escolha do recipiente adequado

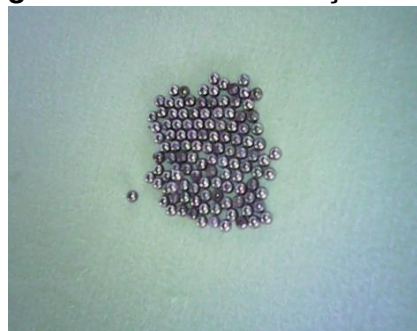
Foi levado para a sala de aula um Becker e uma proveta para que os discentes escolhessem o equipamento mais adequado para a leitura do volume do líquido deslocado. Ao observarem os dois recipientes, os discentes perceberam, com a ajuda da docente, que o Becker oferece pouca precisão de leitura, o que pode aumentar a margem de *erro* do experimento consideravelmente. Optaram, então, pela proveta, que foi disponibilizada para os grupos. Os discentes, também, foram alertados para que, ao ler a graduação da proveta, optassem pela leitura do

menisco⁸ inferior na escala devido à tensão superficial dos líquidos e à aderência da água ao vidro. Como os discentes ainda não tinham nenhum conhecimento sobre esse fato, a docente explanou sobre a relação da densidade com a tensão superficial, explicando sobre esta outra propriedade dos líquidos relacionada à densidade, ou seja, quanto maior a densidade do líquido, maior será a tensão superficial. Um bom exemplo é o mercúrio que tem uma densidade alta e, por isso, oferece uma forte tensão superficial. Por esta razão ele forma bolinhas quando colocados nas palmas das mãos.

Discutiu-se, também, com os discentes sobre a quantidade de esferas de aço e de chumbo que deveria ser entregue a cada grupo. Eles concluíram que essa quantidade não poderia ser muito pequena para que a variação do volume da água na proveta não fosse, também, muito pequena aumentando o erro da leitura.

4.6.3.2 Fotos dos equipamentos e dos materiais usados nas aulas

Figura 3 - Esferas de Aço



Fonte: Foto da autora

Figura 4 - Esferas de Chumbo



Fonte: Foto da autora

⁸Dentro da proveta, a superfície do líquido assume uma forma curva denominado menisco.

Figura 5 - Recipiente com Esferas de aço e esferas de chumbo



Fonte: Foto da autora

Figura 6 - Balança eletrônica



Fonte: Foto da autora

Figura 7 - Becker e Prove



Fonte: Foto da autora

4.6.4 A realização dos procedimentos experimentais – 3ª etapa

Nessa etapa, que teve duração de duas aulas, foi disponibilizado aos discentes todo o material solicitado para a realização do procedimento experimental que os mesmos traçaram na aula anterior. E, sem falar quais os passos que os discentes deveriam seguir durante a execução da atividade experimental, a docente acompanhou de perto cada grupo e somente orientou/interferiu quando o *caminho* seguido por eles não era o que havia sido estabelecido anteriormente e que não os levaria à solução do problema proposto.

4.6.4.1 Calculando a densidade do aço e do chumbo

Utilizando o roteiro sistematizado na aula anterior, que foi inspirado em Arquimedes, os discentes iniciaram os procedimentos experimentais para resolver o problema colocado para os mesmos, ou seja, responder à pergunta: Qual a massa de aço e qual a massa de chumbo presentes na mistura em questão?

Os procedimentos realizados foram:

- a) Determinaram as massas das amostras das esferas de aço e de chumbo, separadamente, utilizando a balança que lhes foi disponibilizada;
- b) Dividiram a massa das esferas de aço pelo número de esferas da amostra para determinar a massa de cada esfera (cada grupo com sua amostra).
- c) Determinaram o volume de uma esfera de aço, medindo seu diâmetro com o paquímetro e aplicando a equação matemática de volume de uma esfera ($V = \frac{4}{3} \pi R^3$).
- d) Usando a proveta contendo água até um determinado nível mergulharam, totalmente, a amostra de esferas de chumbo, de tal forma que a água não derramou e, em seguida, mediram o volume de água que as esferas deslocaram. Assim determinaram o volume da amostra das esferas de chumbo, lembrando que o volume do líquido deslocado é igual ao volume das esferas (inspirados em Arquimedes).
 - Os discentes não puderam determinar a massa de cada esfera de chumbo como fizeram com as esferas de aço devido às suas

irregularidades (superfícies não muito lisas e tamanhos ligeiramente diferentes).

- e) De posse dos dados de massa e volume de cada amostra, os discentes aplicaram a equação $d = m/v$ e determinaram as densidades do aço e do chumbo e compararam com os valores tabelados.

Ao comparar os valores encontrados com os valores tabelados os discentes perceberam que na tabela existe somente um valor de densidade para o chumbo, mas para o aço tem mais de um valor para expressar a grandeza, e mesmo entre os grupos da sala foram encontrados valores diferentes para a densidade do aço, pois lhes foram disponibilizados esferas de diferentes composições do aço (aço inox e aço cromo).

Surgiu, então, a pergunta: Professora, a tabela de densidade tem vários valores para a densidade do aço? Qual deles vamos usar?

Nesse momento surgiu uma nova demanda, momento certo para introduzir a concepção do conceito de *massa específica*. A demanda não foi imposta pelo docente, foi o aluno que percebeu a necessidade do uso do conceito. Vigotsky informa que a melhor hora de discutir a concepção e construção de um conceito é quando existe a demanda para esse conceito. Os discentes fizeram uma pausa nos procedimentos que estavam executando para ouvir a explicação sobre a concepção científica para a construção do conceito de massa específica.

A docente explicou que o aço tem vários valores para densidade porque ele não é uma substância pura encontrada na natureza e sim uma liga e, portanto, o valor da densidade depende da composição de substâncias presentes na liga. Explicou ainda, que o aço é composto principalmente, de ferro e carbono, podendo ter pequenas quantidades de outras substâncias. Esta composição pode ter várias combinações. Já o chumbo, que é uma substância pura, só tem um valor para expressar a sua densidade, que nesse caso é denominada *densidade absoluta* ou *massa específica*.

Esse momento foi propício para que os conceitos de densidade e massa específica fossem construídos pelos discentes, uma vez que a demanda da explicação partiu de uma necessidade deles de esclarecimento. Foi o momento, também ideal para mostrar que a importância em diferenciar esses dois conceitos está no fato de que, ao se depararem com esses termos (densidade ou massa

específica), terão condições de distinguir se uma substância analisada é pura ou não, e, com isso, poderão fazer escolhas conforme os interesses de aplicação dessa substância. No momento em que os discentes tiverem clareza de que massa específica e densidade são grandezas diferentes, terão condições de resolver problemas que envolvam os referidos conceitos.

Outro ponto que foi esclarecido aos discentes, nessa oportunidade, diz respeito à nomenclatura desses dois conceitos, ou seja, o que diferencia uma substância pura de uma substância composta (uma liga). A nomenclatura define que o termo *massa específica* seja usado para as substâncias puras e que o termo *densidade* seja usado para as substâncias compostas como, por exemplo, as ligas metálicas e objetos constituídos por mais de uma substância ou não maciços.

Comentou-se, também, que um objeto pode assumir várias formas, ou mesmo, conter partes ocas no seu formato alterando, com isso, seu volume, e assim, tendo valores diferenciados para sua densidade conforme for o caso. Entretanto, foi chamada a atenção para o fato de que, quando o objeto é maciço e composto de uma única substância, o valor de sua densidade coincide com o valor da massa específica da substância que o compõe. Portanto, a densidade depende da composição e da forma dos objetos, ao contrário da massa específica que caracteriza cada substância que compõe os objetos, as ligas metálicas ou as misturas químicas.

Aproveitou-se, também, a oportunidade para discutir com os discentes a questão do erro encontrado no resultado da densidade do aço e do chumbo que os discentes calcularam, em relação aos valores tabelados mostrando que esses pequenos erros são comuns em função, por exemplo, da leitura da proveta, da aferição da balança, e da imperícia do discente.

4.6.4.2 Calculando a massa de aço e a massa de chumbo da mistura

Após os esclarecimentos acima, os discentes deram continuidade aos procedimentos práticos para a solução do problema proposto, ou seja, determinar a massa de aço e a massa de chumbo da mistura que simula uma liga metálica, realizando os procedimentos descritos abaixo.

- a) Determinaram a massa e o volume da mistura de esferas (liga metálica simulada) repetindo os procedimentos descritos na subseção 4.6.4.1, alíneas a e d;
- b) De posse desses valores, os discentes estabeleceram as igualdades matemáticas que os levaram ao sistema de equações abaixo:

$$m_{\text{aço mistura}} + m_{\text{Pb mistura}} = m_{\text{total mistura}} \quad (4)$$

$$V_{\text{aço mistura}} + V_{\text{chumbo mistura}} = V_{\text{mistura}} \Rightarrow$$

$$\frac{m_{\text{aço mist}}}{d_{\text{aço}}} + \frac{m_{\text{pb mistura}}}{d_{\text{pb}}} = V_{\text{mistura}} \quad (5)$$

- c) A partir desse sistema de equações, os discentes calcularam a massa de aço e a massa de chumbo da mistura, achando, com isso, a solução ao problema proposto.

4.6.4.3 Conferindo o resultados

Depois de solucionar o problema proposto calculando a massa de aço e a massa de chumbo da mistura de esferas, a docente perguntou aos discentes como eles poderiam verificar se os resultados estavam certos. Alguns sugeriram separar as esferas manualmente e, usando a balança verificar se os resultados estavam satisfatórios. Essa não deixa de ser uma boa alternativa, mas o tempo era pouco. A docente sugeriu que usassem um ímã para separar as esferas. Os discentes perceberam, então, que o aço era atraído pelo ímã, mas o chumbo não.

Esse foi mais um momento enriquecedor da aula, quando foi explicado que o aço tem outra característica que o diferencia do chumbo, além da densidade. Ele é uma substância ferromagnética, por isso é atraído pelo ímã. Os discentes mostraram que já tinham um conhecimento prévio sobre ímãs. Ressaltamos que esse tema seria discutido com mais profundidade nas séries seguintes.

4.6.5 Pós-teste: verificação da construção do conceito científico – 4ª etapa

Segundo Vigotsky, só se verifica se o conceito foi desenvolvido, ou construído pelo discente quando se coloca o mesmo em uma situação nova na qual há a

necessidade do uso desse conceito construído, e o discente consegue resolver a situação colocada. O pós-teste realizou neste momento o papel de verificador para avaliação do trabalho realizado. Buscou-se verificar a construção dos conceitos pretendidos com a pesquisa.

Para a verificação do conceito construído foram usados dois pós-testes nos quais os discentes poderiam apresentar uma evolução da concepção dos conhecimentos prévios anteriores. O pós-teste teve o objetivo de avaliar o quê os discentes apreenderam sobre procedimentos científicos de pesquisa e se o conceito de densidade havia sido realmente construído. De acordo com Gasparin (2009), esse é o momento em que o docente pode verificar o conceito final que o discente conseguiu construir. O autor esclarece que

Se o conceito científico-cultural é o limite máximo que deve ser estabelecido no trabalho escolar, o conceito final dos alunos é o limite provável a que eles chegam por seu trabalho, juntamente com seus colegas e a mediação do professor. A determinação do nível de conhecimento a ser atingido pelos educandos não significa a falsificação ou a diminuição do grau de conhecimento científico. Trata-se apenas de respeitar o grau de desenvolvimento deles. Se o conhecimento científico não possui graus, a sua apreensão, porém, deve dar-se gradativamente, por aproximações sucessivas, em círculos concêntricos. (GASPARIN, 2009, p. 17).

O primeiro pós-teste foi realizado duas semanas após as atividades didáticas experimentais quando os discentes foram submetidos a uma nova situação desafiadora, cuja solução era obtida através do uso do conceito de densidade.

Os discentes se organizaram em grupos, na própria sala de aula, e cada grupo recebeu um cubo de silicone que continha em seu interior um objeto. Eles foram informados da massa do objeto e, também, que o objeto não tinha partes ocas. O desafio dos discentes era descobrir de que era feito o objeto que estava no interior do cubo de silicone sem destruir o cubo. Esta situação era nova, diferente, e necessitava do mesmo conceito, porém numa condição totalmente diferente da outra.

Figura 8 Cubo de silicone

Fonte: Foto da autora

Com a apresentação do cubo de silicone observou-se que a maioria dos discentes (80%), sabia que a questão colocada poderia ser respondida a partir de descoberta da densidade do objeto, o que demonstrou que o conceito de densidade foi construído, uma vez que essa maioria vislumbrava uma aplicação desse conceito como solução de um problema.

Foi disponibilizado para os discentes todo o material que solicitaram e não houve interferência, por parte da docente nos procedimentos que os discentes adotaram para resolver a questão. Adotando os mesmos princípios da experiência anterior, os discentes perceberam que, como não seria possível mergulhar o cubo dentro da proveta por causa da diferença de tamanho dos dois, eles usaram o vaso de Pisani, que estava disponível para eles e que permitia coletar a água deslocada diretamente na proveta para, então, medir o volume dessa água deslocada.

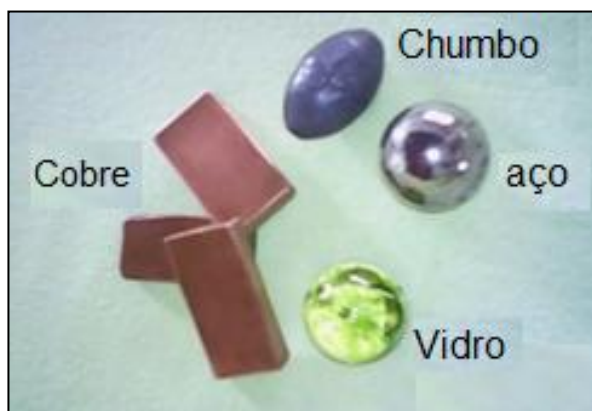
Para achar a solução do novo problema dado a eles, começaram por determinar a densidade de uma amostra de silicone; em seguida calcularam o volume do cubo de silicone com o objeto em seu interior medindo o volume do líquido deslocado e a massa do cubo através da balança.

De posse desses dados estabeleceram as relações matemáticas entre as grandezas:

$$\begin{aligned} m_{\text{obj}} &= m_{\text{cubo}} - m_{\text{silicone}} \\ V_{\text{obj}} &= V_{\text{cubo}} - m_{\text{silicone}}/d_{\text{silicone}} \end{aligned} \quad (6)$$

Medindo a massa do cubo usando a balança eletrônica e o volume do objeto através do volume do líquido deslocado, os discentes calcularam sua densidade e consultando uma tabela de densidade, puderam identificar de que era feito o objeto que estava no interior do cubo de silicone. Diversificamos as substâncias no interior do cubo de silicone colocando objetos feitos de cobre, de vidro, de aço e de chumbo, conforme imagem abaixo.

Figura 9 - Materiais utilizados com os cubos de silicone



Fonte: Foto da autora

Para verificar o resultado obtido os discentes puderam abrir o cubo e muitos grupos acertaram a substância. Os grupos que não chegaram ao valor esperado da densidade, por erro de cálculo ou medidas imprecisas, informaram uma substância bem diferente daquela que estava no bloco de silicone, como por exemplo, uns informaram que era estanho quando era aço, outros informaram que era prata quando era chumbo. Essas confusões se deram pela proximidade dos valores tabelados dessas substâncias e aí, qualquer descuido ou imprecisão nos procedimentos práticos gera esse tipo de erro.

Figura 10 - Cubos de silicone com objetos em seu interior



Fonte: Foto da autora

Os discentes puderam perceber, então, a responsabilidade dos cientistas e importância de um trabalho criterioso, para não incidirem em erros que possam comprometer a eficiência de suas pesquisas e levar à conclusões que não representem a realidade.

O segundo pós-teste foi realizado na aplicação da prova de final de bimestre denominada *Avaliação Formativa*, constituída de questões abertas sobre todo o conteúdo do bimestre, sendo uma delas sobre densidade e que se encontra nos Apêndices B e C. Essa prova foi aplicada para as duas turmas que participaram da pesquisa.

4.6.6 Analisando procedimentos e outros resultados da pesquisa

Dos 66 discentes que participaram da pesquisa e que fizeram a prova bimestral 58% acertaram integralmente a questão relativa ao tema pesquisado, 24% acertaram parcialmente a questão, ou seja, aplicaram a equação de densidade, desenvolveram alguns cálculos, mas não conseguiram chegar à resposta correta ora porque erraram unidades, ora porque erraram a operação matemática; e apenas 18% não acertaram nada, sendo que muitos desses deixaram a questão em branco. Esses resultados revelaram que o conceito de densidade foi construído pela maioria dos discentes, uma vez que os mesmos foram capazes de utilizar esse conceito para dar resposta a uma indagação, que no caso era a descoberta da substância que compunha um objeto oculto num bloco de silicone e também a questão

apresentada na prova. Outro fato relevante está relacionado à questão sobre densidade ter sido apresentada numa Avaliação Formativa, onde havia outras questões sobre outros conteúdos, além de se tratar de uma situação de avaliação de final de bimestre, o que causa certa ansiedade nos discentes. Mesmo assim a porcentagem de acertos foi relevante para a pesquisa.

Construir uma didática para o trabalho do docente no ensino de Física, utilizando a abordagem investigativa no laboratório aberto, abre caminho para que se reflita sobre a necessidade de que esse trabalho busque dinâmicas mais democráticas na construção do conhecimento, e que o docente repense seu papel como alguém que também constrói conhecimento na sua prática. Esse conhecimento construído demanda sua validação através dos órgãos acadêmicos que acolhem docentes em seu processo de evolução profissional.

A opção de trabalhar o ensino de Física por investigação é uma estratégia dentre outras, que pode ser usada para que os docentes diversifiquem seu trabalho, de forma que sua prática seja consonante e mais próxima aos objetivos do ensino técnico. Para Mounford e Lima (2007, p. 74) é preciso “reconhecer que há um grande distanciamento entre a ciência ensinada nas escolas e a ciência praticada nas universidades, em laboratórios e outras instituições”. Entre essas instituições estão as que no futuro poderão se tornar o campo de trabalho de alguns de nossos discentes. Esse fato foi relevante para a opção de trabalho.

Assim, na formação escolar, o discente deve ter oportunidade de exercitar a prática da investigação, da experimentação e da pesquisa. Os mesmos podem se tornar profissionais com capacidade reflexiva autônoma, voltada para a orientação científica, objetivando responder às questões advindas de sua prática profissional, formulando explicações a partir de evidências. Nesse sentido Borges (2002, p. 295) argumenta que “o importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento”. Esse é o comprometimento do discente com seu processo de aprendizagem e do docente construindo um ambiente de reflexão no processo de ensino. O discente deve desenvolver a capacidade de avaliar suas descobertas à luz do conhecimento científico, e assim, de forma adequada, fazer uso desse conhecimento construído, comunicando-o e aplicando-o às instâncias de sua demanda, como por exemplo, em aprendizagens mais avançadas.

Considerando o contexto de aplicação da proposta, o ensino por investigação é uma estratégia didática que vem ganhando terreno no processo de ensino e aprendizagem, pois possibilita associar a teoria aos conhecimentos que os discentes já possuem, construídos a partir da interação com o mundo físico e com suas capacidades de fazer generalizações empíricas.

Essa modalidade de ensino viabilizou a possibilidade do trabalho com a pesquisa e a investigação, levando os discentes a refletirem, de forma interativa e também autônoma, apoiados pelo contexto da sala de aula, mediados pelo docente. Considerou-se também, na aplicação da proposta, que a realização do trabalho docente numa abordagem investigativa e exploratória no ensino de Física para o Ensino Médio não ficou na dependência exclusiva de laboratórios ou ambientes especializados. Segundo Borges (2002).

é um equívoco corriqueiro confundir atividades práticas com a necessidade de um ambiente com equipamentos especiais para a realização de trabalhos experimentais, uma vez que podem ser desenvolvidas em qualquer sala de aula, sem a necessidade de instrumentos ou aparelhos sofisticados. (BORGES, 2002, p. 294).

Dessa forma, não cabem justificativas da impossibilidade de um trabalho voltado para a realidade prática do uso dos conceitos da Física no cotidiano da sala de aula. Poder oferecer todas as condições materiais e técnicas para o trabalho docente é importante, mas o fato de ainda se viver no Brasil sem as condições ideais para a realidade do ensino, não inviabiliza todas as situações de ensino e aprendizagem. O trabalho docente com o ensino por investigação e o laboratório aberto, nas condições apresentadas nesta dissertação, revelam que os mesmos contribuem para a construção do pensamento crítico e para o próprio projeto pessoal dos sujeitos, conforme orientações presentes nas Diretrizes Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) (BRASIL, 2010) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (2002), que apontam para a “visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” (BRASIL, 2002, p. 10).

Questionar os discentes em determinado momento, com a pergunta desafiadora: *Como fazer para descobrir a massa de cada substância que compõe uma mistura?* possibilitou promover uma discussão acalorada em torno da questão, seguida por uma investigação teórica fundamentada em um fato histórico

semelhante, conduzindo ao seu esclarecimento.

O procedimento de investigação realizado pelos discentes e o debate em sala de aula, conduziram ao compartilhamento e sistematização das ideias sob a forma de um roteiro experimental, no qual os discentes buscaram a solução do problema proposto. Nesse sentido, o uso da sequência didática favoreceu e estimulou a articulação entre a investigação, a experimentação e o desenvolvimento da expressão oral e escrita na construção do conceito físico.

Buscou-se posteriormente, com a atividade investigativa estabelecer uma sequência didática de ensino que propiciasse o desenvolvimento do conceito científico sobre densidade e massa específica, no qual o discente pudesse atuar como o agente principal da construção de novos conhecimentos, motivado por uma aula mais participativa, que despertasse sua curiosidade e levasse-o a pesquisar, a descrever e a refletir sobre um determinado problema.

Esta sequência didática se fundamentou na problematização, na investigação, na experimentação e na construção coletiva, e não na memorização de conceitos e definições. Nesse sentido, a proposta de investigação dialoga com a teoria de Vigotsky (2010), que considera que o conceito se constrói a partir de uma investigação. Assim, o discente tem um problema e vai à busca da solução para este problema e, a partir da busca pela solução do problema, ele pode construir o conceito.

Esta sequência didática também mostrou que é possível deixar de ministrar aulas que apenas reproduzem no quadro o que se encontra no livro didático, e aulas puramente expositivas onde a participação do discente se restringe a acompanhar o livro didático e a resolver seus exercícios propostos, o que torna o aprendizado desprovido de significado para o desenvolvimento autônomo da construção de conhecimento.

Considerando a relevância dos conceitos de densidade e de massa específica, já discutido no capítulo 2 desta dissertação, é importante motivar seu aprendizado, através de uma atividade investigativa, por exemplo, tornando tal conteúdo mais interessante e agradável, predispondo o discente à aprendizagem.

Pretendeu-se, com a *sequência didática*, estimular o discente para a capacidade de observação e de reflexão, proporcionando momentos de aprendizagem diferentes das aulas nas quais eles são meros expectadores, para se tornarem parte integrante do processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma a

aprendizagem pode se tornar significativa para o discente, e assim, estabelecer sentidos e correlações com o conhecimento que deve ser construído.

5 CONCLUSÕES

A educação geral deve preparar os cidadãos para escolher entre os padrões, ou achar seu caminho em uma sociedade que contém grupos comprometidos com vários padrões, mas não deve em condição alguma subjugar a mente deles de modo que se conformem aos padrões de algum grupo particular.
(FEYERABEND, 2007, p. 224)

Com a elaboração deste trabalho foi possível concluir que métodos e didáticas podem auxiliar o docente em seu ofício, mas nada resolvem sem que o docente esteja imbuído do propósito de rever sua prática e se dispor a mudanças que vão além de uma aula diferente. O docente precisa ter clareza dos objetivos educacionais que pretende atingir. Segundo Driver et al., o docente precisa estar envolvido com objetivos que levem seus discentes a

uma forma diferente de pensar sobre o mundo natural e explicá-lo; tornando-se socializado, em maior ou menor grau, nas práticas da comunidade científica, com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento.
(DRIVER, 1999, p. 36).

Assim, os objetivos de ensino que irão fazer parte do ofício docente devem fazer parte do contexto da prática, além dos planejamentos e conteúdos programáticos das ementas obrigatórias. Considerando esses aspectos, ensinar deixa de ser transmissão de conhecimento e passa a ser também um compromisso. Deve-se considerar ainda, que o conhecimento é uma construção e que o mesmo deve ser compartilhado e refletido por docentes e discentes.

Avaliando os resultados da pesquisa com a análise dos resultados obtidos durante as atividades realizadas, foi possível observar que os discentes conseguiram atingir os objetivos colocados para a pesquisa, conseguindo desenvolver a autonomia para sua atuação durante as atividades propostas nas aulas; se organizaram, trabalharam cooperativamente, estabelecendo entre si diálogo reflexivo, base para a construção cognitiva de conhecimento. Esse aspecto é esclarecido por Vigotsky na definição de *zona de desenvolvimento proximal*.

Dessa forma, a pesquisa possibilitou a criação e a aplicação da sequência didática desenvolvida com a mesma, favorecendo e estimulando a articulação entre a investigação, a experimentação e o desenvolvimento da expressão oral e escrita na construção do conceito físico. Foi também objetivo deste trabalho, que algumas aulas de Física fossem mais atrativas, indo além dos textos dos livros didáticos para

promover um trabalho provido de sentido e significado. Foi importante nesse processo o conhecimento que os discentes já tinham construído a respeito do tema, e a fundamentação do trabalho com a problematização, a investigação, a experimentação e a construção coletiva, e não apenas na memorização de conceitos e definições. De acordo com Gasparin (2009)

Para que o educando reflita e passe a construir os conceitos científicos é necessário apresentar-lhe situações-problema que o desafiem a ir além do que já domina. Por isso, o ponto de partida da aula não é o currículo, ou a explicação da unidade de conteúdo do programa da disciplina, mas são os conhecimentos prévios que o educando leva para a escola dentro da área de conhecimento sobre a qual o professor trabalhará. Em consequência, antes de ensinar é necessário ouvir, aprender com os alunos. (GASPARIN 2009, p. 2).

Como avaliação da pesquisa observou-se que os discentes venceram os desafios propostos durante as aulas, nas relações com seus pares, adotando uma atitude mais participativa, revelando interesse genuíno pelo conhecimento. Planejaram, aplicaram e avaliaram os resultados de uma sequência didática de cunho investigativo, decidindo o melhor caminho para efetivação das atividades, revelando que apreenderam sobre procedimentos científicos de pesquisa e construíram o conceito de densidade, o que havia sido colocado como objetivo do trabalho.

Verificou-se que o índice de acertos para o valor esperado da densidade durante os experimentos foram satisfatórios e os poucos erros estavam ligados às confusões causadas pela proximidade dos valores tabelados de substâncias e aí, qualquer descuido ou imprecisão nos procedimentos práticos gera erro.

Este fato resultou também positivamente, uma vez, que os discentes compreenderam a responsabilidade dos cientistas e a importância de um trabalho criterioso, para não incidirem em erros comprometedores da eficiência de suas pesquisas e levar à conclusões que não representem a realidade.

No segundo pós-teste, instrumento de avaliação da pesquisa, foi verificado que a maioria dos discentes que participaram da pesquisa acertaram as questões da prova relativas ao tema pesquisado, o que é revelador do fato de os discentes terem sido capazes de utilizar o conceito adequadamente, para responderem à questão proposta sobre o tema pesquisado.

O trabalho baseado na investigação e na experimentação, no qual os discentes atuaram como protagonistas do próprio processo de ensino e aprendizagem possibilitou a eles desenvolverem a habilidade de pesquisar e de sistematizar a pesquisa, chegando ao ápice de propor a análise dos resultados obtidos tanto à luz do corpo de conhecimentos existentes quanto à luz dos resultados dos seus pares. Este fato é revelador do desenvolvimento do senso crítico, da curiosidade científica reflexiva, da habilidade de pesquisar e de construir seu próprio conhecimento. Os discentes, também, desenvolveram a capacidade do trabalho coletivo, cooperativo e interativo, potencializando assim, a organização na construção do conhecimento científico acadêmico.

Também podemos dizer que a metodologia apresentada nesta proposta didática propiciou momentos e experiências que contribuíram para a formação dos discentes como cidadãos, na medida em que permitiu a convivência e a troca de experiências entre pessoas com formações diferentes. Permitiu o exercício da parceria, respeito a regras de funcionamento da dinâmica e à participação coletiva.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v.25, n.2, p.176-194, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2>>. Acesso em: 12 jan.2014.
- AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2004. Capítulo 2.
- BAPTISTA, José Plínio. Os princípios fundamentais ao longo da história da física. **Revista Brasileira do Ensino Física**, v.28, n.4, p. 541-553, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a17v28n4.pdf>>. Acesso em: 12 jan.2014.
- BARBIER, René. **A pesquisa-ação**. Brasília: Liber Livro, 2007.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BORGES, Antônio Tarcísio. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.3, p.291-313, dez. 2002.
- BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio em Debate. **Texto para discussão**. Brasília: MEC. SETEC, 2010.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN + Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. p.65-67. Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=859&id=12598%3Apublicacoes&option=com_content&view=article>. Acessado em: 15/12/2013.
- COSTA, Alice Scherer da. **Desenvolvimento de uma proposta para o ensino de hidrostática voltada para a aprendizagem significativa**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Educação, Ciências e Matemática)- Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Porto Alegre.
- DEMO, Pedro. **Complexidade e aprendizagem: a dinâmica não linear do conhecimento**. São Paulo: Atlas, 2002.
- DEWEY, John. **Democracia e educação**. 3.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.
- DIAS, Penha Maria Cardoso. A (im)pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso). **Revista Brasileira de Ensino Física**. [online]. v.23, n.2, p. 226-235, 2001.
- DRIVER, Rosalind. et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. SBQ. **Química Nova na Escola**, n. 9, p. 33-40, maio, 1999. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc09/discente.pdf>>. Acesso em: 12 out.2013.

FERREIRA, Aurélio B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FEYERABEND, Paul K. **Contra o método**. São Paulo: Ed. UNESP, 2007.

FEYNMAN, Richard. **O senhor está brincando, Sr. Feynman?**: as estranhas aventuras de um físico excêntrico. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**. Saberes necessários à prática educativa. 12. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 26. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, Paulo. ***Carta de Paulo Freire aos professores***. 2001, p. 259-258. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v15n42/v15n42a13.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2001.

GASPARIN, João Luiz. **A construção dos conceitos científicos na teoria histórico-cultural e as implicações pedagógicas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Educação)- Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://www.portalanpedsul.com.br/admin/uploads/1999/Historia_Da_Educacao/Trabalho/05_20_09_A_CONSTRUCAO_DOS_CONCEITOS_CIENTIFICOS_NA_TEORIA_HISTORICO-CULTURAL_E_AS_IMPLICACOES_PEDAGOGICAS.pdf>. Acessado em: 10 set.2013.

HOSOUME, Yassuko; KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. **A contribuição da Física para um novo ensino médio**. São Paulo: Escola de Física do Instituto de Física Universidade de São Paulo, 2003.

KENSKI, Vani Moreira. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. São Paulo: Papirus, 2007.

MACEDO, Lino de. **Ensaio construtivistas**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1996.

MARCHEZINI, Ronaldo. **O uso de aulas experimentais**: mudanças conceituais no ensino de momento de força. 2008. 78f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática)- Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MARIN, Luiz Carlos Pizarro. **Gênios da ciência**: Arquimedes, pioneiro da matemática. 2. ed. São Paulo: Duetto Editorial, 2012.

MAR morto: características, onde fica, quantidade de sal, impossibilidade de vida, foto, curiosidades. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/pesquisa/mar_morto.htm>. Acesso em: 20 maio 2013.

MARTINS, Roberto de Andrade. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.17, n.2, p.115-121, ago. 2000. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6769/6238>>. Acessado em: 12 fev.2012.

MOREIRA, Ana Cláudia Souza. **Uma visão vygotskyana das atividades experimentais de física publicadas em revistas de ensino de ciências**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências)- Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, Instituto de Física. Salvador.

MOREIRA, Marco Antônio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, p. 94-99, 2000.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista Ensaio: pesquisa em educação em ciência**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1., p. 72-89, jun., 2007.

ROSA, Cleci Werner da. Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de Física na Universidade de Passo Fundo. **Ensaio**, v. 5, n. 2, out., 2003.

ROSSI, Adriana Vitorino et al. Reflexão sobre o que se ensina e o que se aprende sobre densidade a partir da escolarização. **Química Nova Escola**, nº 30, p. 55-60, nov., 2008. Disponível em: <<http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/sbq/QNEsc30/10-AF-5208.pdf>>. Acessado em: 10 fev.2013.

SÁ, Eliane Ferreira de. **Discurso de docentes sobre ensino de ciências por investigação**. Orientadora: Maria Emília Caixeta de Castro Lima. 2009. 203f. Tese (Doutorado em Educação)- Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte.

SANTOS, Alexssandro Ferraz dos; CARDOSO, Tereza Fachada Levy. Uma proposta para ensinar os conceitos de hidrostática: Santos Dumont e a história da ciência. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, Rio de Janeiro, CEFET/RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2007.

SCHÖN, Donald A.; NÓVOA, Antônio. **Formar professores como profissionais reflexivos: os professores e sua formação**. Lisboa: Dom Quixote, 1992.

SILVERIO, Ana Paula et al. Ligas metálicas: composição e aplicações. 2 dez. 2010. Disponível em; <<http://pt.scribd.com/doc/63652847/Apresentacao-Ligas-Metalicas>> Acesso em: 12 jan. 2014.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 11. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

THIOLLENT, Michel. (Org.). **Pesquisa-ação e projeto cooperativo na perspectiva de Henri Desroche**. São Carlos: EDUFSCAR, 2006.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e**

Pesquisa. São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez., 2005.

VIGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 2010.

VIGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes, 1998.

APÊNDICE A - Sequência didática para a construção do conceito de densidade e de massa específica

1 Introdução

Ensinar e aprender são ações que estão no cotidiano escolar, local específico do conhecimento sistematizado socialmente, mesmo que os atos de ensinar e aprender estejam em várias situações, na relação com o outro, com instrumentos das tecnologias informatizadas; aprende-se sozinho no processo reflexivo advindo da intervenção no mundo. Quando o ato de ensinar estabelece relação dialógica com a aprendizagem e se torna ensino e aprendizagem é possível sistematizar o conhecimento que se constrói e transformar esse conhecimento em práxis reflexiva. Esta práxis sistematizada pode se transformar em conhecimento a serviço do outro. Este foi o mote para a elaboração de uma *sequência didática* que serve de auxílio para a prática docente no Ensino de Física, especificamente para que os discentes construam os conceitos de densidade e massa específica das substâncias encontradas na natureza ou produzidas tecnologicamente.

A *sequência didática* possui um planejamento pedagógico para que outros docentes possam usá-la e está aberta à adequação do contexto no qual for utilizado. Ela é composta de ações e procedimentos, com atividades investigativas e experimentais, em contexto de sala de aula, contando com aulas dialogadas e participativas de cunho problematizador.

O uso da abordagem dialógica e problematizadora teve como objetivo que os discentes se tornassem os sujeitos construtores do conhecimento relativo aos conceitos de densidade e massa específica, fundamental para o trabalho com Hidrostática.

2 Objetivo Geral

Construção pelo grupo de discentes, dos conceitos de densidade e de massa específica dos objetos e das substâncias encontradas na natureza através da investigação e experimentação em trabalho coletivo e interativo em sala de aula.

3 Objetivos Específicos

A *sequência didática* objetiva trabalhar nos discentes a capacidade de desenvolver:

- a) A construção do conceito científico de densidade e de massa específica por meio da investigação e da experimentação, como protagonistas do próprio processo;
- b) O senso crítico, a curiosidade científica reflexiva;
- c) A habilidade de pesquisar e de sistematizar a pesquisa propondo a análise dos resultados da mesma à luz do corpo de conhecimentos existentes e à luz dos resultados dos seus pares;
- d) A capacidade do trabalho coletivo, cooperativo e interativo potencializando a organização da construção do conhecimento científico acadêmico.

4 Planejamento das aulas

Esta sequência didática foi planejada para acontecer em quatro etapas, totalizando seis aulas.

Na aula anterior ao do início da sequência didática, aplicar um pequeno pré-teste de questões abertas para levantar os conhecimentos que os discentes trazem sobre densidade e tabular seus dados antes de dar início às atividades. Deixar que os discentes resolvam as questões livremente, sem responder a possíveis perguntas. Tempo máximo da atividade: 20 minutos.

4.1 Primeira etapa (uma aula)

Proposição do problema a ser investigado

Explorar as concepções prévias que os discentes trazem sobre densidade e massa específica através do debate de questões colocadas pelo docente com a apresentação de dois frascos de plástico transparentes contendo substâncias diferentes.

Comece organizando os discentes em círculo, dentro da sala de aula, de tal forma que todos pudessem se ver uns aos outros de frente. Logo após a formação do círculo apresente a eles dois frascos iguais, de plástico transparente, contendo substâncias diferentes em cada um deles. Em um dos frascos coloque pequenas esferas de chumbo. No outro frasco coloque pequenas esferas de aço. As esferas de aço e de chumbo devem ter aproximadamente, o mesmo diâmetro e ocupar volumes aparentemente iguais nos frascos (apresentar o mesmo nível de preenchimento).

Frascos contendo esferas de aço (esquerda) e chumbo (Chumbo)



Fonte: Foto da Autora

Deixe os frascos circularem entre os discentes, passando de mão em mão. Oriente os alunos a segurar os dois frascos simultaneamente, um em cada mão; a balançar os frascos prestando atenção no barulho do chacoalhar das esferas; e também para comparar os níveis de preenchimento, para que possam perceber as diferenças entre eles através do tato, da audição e da visão.

Se os discentes quiserem, permita que eles abram os frascos e toquem nas esferas, sem deixa-las cair, naturalmente.

Instigar os discentes a se manifestarem sobre as diferenças das substâncias.

Permitir aos discentes falarem livremente sobre suas sensações ao pegar nos frascos e manuseá-los, sem, entretanto, corrigí-los e sim direcionando-os para o foco da questão, o que pode ser da seguinte forma:

1º) Perguntar aos discentes:

- a) O que observam ao manusear os frascos?
- b) Podem dizer o que temos dentro dos frascos?
- c) Qual a sensação que os frascos lhes transmitem, quando sacudidos? E qual a impressão que as esferas lhes transmitem quando comparadas umas com as outras?
- d) Conseguem identificar de que são feitas as esferas que estão dentro dos frascos?

Provavelmente os discentes não saberão responder de imediato, pois nem sempre é simples identificar as substâncias apenas através do tato e da visão. Alguns discentes vão arriscar palpites como, por exemplo: as esferas são do mesmo material, o que pode ser contestado por outros colegas porque as esferas de aço brilham e as de chumbo são foscas.

2º) Estimular o debate: promover o conflito cognitivo com atenção às respostas. Se concluírem que um frasco é mais pesado que o outro, perguntar se sabem por quê?

Alguns discentes podem justificar dizendo que, como o tamanho das esferas são diferentes, naquele recipiente em que as esferas são um pouco menores, haverá mais esferas e, por isso, o recipiente é mais pesado. Outros podem afirmar que as esferas possuíam massas diferentes apesar de ocuparem, aparentemente, o mesmo volume, logo tem pesos diferentes. Em algum momento pode ser que algum discente lembra que já estudou a relação entre massa e volume e mencione que diferença de peso tem alguma coisa a ver com a densidade.

3º) Informar aos discentes:

Após explorar a oralidade dos discentes, promovendo o conflito cognitivo os discentes, dizer que em um dos frascos as esferas são de chumbo e em outro frasco as esferas são de aço.

4º) Perguntar aos discentes:

Qual dos frascos é mais pesado, o que contém aço ou o que contém chumbo? O que eles vão responder que é o chumbo, pela percepção através do tato. Pergunte novamente: Porque acham que o chumbo é mais pesado que o aço?

Dentre as várias opiniões, provavelmente algum discente irá dizer que é porque possuem densidades diferentes, ao se lembrar de algum ensinamento da série anterior, mesmo não sabendo explicar o fato.

5º) Provocar uma situação problematizadora:

Após explorar e confrontar as ideias dos discentes sobre as substâncias contidas nos frascos e, depois de ouvir suas manifestações, misture parte das substâncias em um terceiro frasco e lance o problema para a turma: Qual o valor da massa de aço e da massa de chumbo presentes na mistura?

De imediato os discentes vão sugerir separar as esferas e pesar, o que não deve ser permitido. Os discentes deverão ser informados que a mistura das esferas simula uma *liga metálica* e que nem sempre é possível, ou tão simples separar as partes que constituem uma liga, ou as substâncias de uma composição como, por exemplo, a gasolina misturada ao álcool nas bombas de combustível e o ferro do latão de uma lâmina bimetálica, muito usada para abrir e fechar circuitos elétricos como os dos semáforos e do pisca-pisca de natal e em ferros elétricos, funcionando como um termostato.

6º) Informar aos discentes:

A partir do momento que as esferas estão misturadas, elas representam uma liga metálica, e nessa condição não podem ser separadas. Esclarecer que as ligas metálicas são o resultado de misturas de substâncias cujo principal elemento é um metal puro. Que são largamente usadas nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas, navais, bélicas e na construção civil, que nem sempre encontram um metal que, na sua forma pura, apresente as características exatas pretendidas para uma determinada aplicação na construção de seus produtos. Informar ainda, que a fabricação de ligas metálicas visa uma utilização racional e sustentável dos recursos

naturais que o homem tem à sua disposição. Como exemplos de ligas metálicas podem ser citados: o bronze, o latão, o cobre, o amálgama dental, a prata, etc.

7º) Perguntar aos discentes:

Como fazer para determinar o valor da massa de aço e de chumbo presentes na mistura das esferas sem, entretanto, separá-las. Ressaltar que a questão é saber qual a massa de cada parte da mistura.

8º) Resgatar a história:

Contar aos discentes sobre a fábula de Arquimedes e a coroa do Rei de Siracusa. Comentar que o Rei Hierôn havia dado ouro a um ourives para que ele fizesse uma coroa. Desconfiado de que o ourives o tivesse enganado, o Rei chamou Arquimedes e determinou que ele verificasse se sua coroa era somente de ouro ou se o ourives havia misturado outro metal menos nobre ao ouro dado a ele. Porém o Rei não queria que a coroa fosse destruída. Segundo a lenda, Arquimedes teria encontrado a forma de resolver o problema da coroa do rei durante o banho de imersão, que, naquela época eram tomados em casas de banho.

9º) Lançar o desafio aos discentes:

Pedir aos discentes para investigar como poderíamos determinar a massa de aço e a massa de chumbo da mistura, inspirados na solução que Arquimedes deu ao problema do Rei de Siracusa, além de pesquisar sobre quem foi Arquimedes. Dividir a turma em grupos de cinco discentes para a pesquisa. Pedir para trazer por escrito para próxima aula e preparar uma apresentação da pesquisa.

4.2 2ª Etapa (uma aula)

Apresentação dos resultados da investigação e proposições para a solução do problema.

Passos:

1º) Apresentação da pesquisa feita pelos grupos – para a dinâmica da apresentação perguntar à turma se algum dos grupos quer fazer a apresentação voluntariamente. Se nenhum grupo se apresentar, poderá ser feito um sorteio para eleger o apresentador. Os demais colegas deverão contribuir com a apresentação com informações adicionais ao que foi dito.

2º) Após a apresentação, promover debate para consolidar os conhecimentos construídos sobre densidade e sobre os caminhos para resolver o problema proposto na aula anterior, a partir da investigação sobre a solução que Arquimedes deu para o problema da coroa do rei. Perguntar aos discentes se a solução dada por Arquimedes poderá ajudar para resolver a questão proposta: como descobrir qual a massa de aço e qual a massa de chumbo da nossa mistura?

3º) Sistematizar as sugestões dadas e discutidas entre os discentes até chegar a um roteiro de uma prática que os permita calcular a massa de aço e a massa de chumbo da mistura do aço com o chumbo. Convidar um estudante para ir ao quadro para anotar todas as ideias dos colegas. À medida que as ideias forem surgindo e sendo anotadas no quadro, os discentes devem fazer uma última avaliação da proposta para julgar se é válida ou não para fazer parte do procedimento experimental para encontrar a solução do problema proposto.

Observação .1- Cabe aos discentes descobrir, durante as discussões, como resolver o problema e cabe ao docente conduzir o debate até mesmo através de perguntas diretas que os conduzam ao objetivo da investigação, tais como: Quais passos serão necessários para chegar à solução do problema? Quais os equipamentos e materiais vocês acham que serão necessários para essa busca?

4º) No final dessa aula os discentes deverão ter concluído o roteiro da atividade experimental que os levarão à solução do problema.

Esta etapa deverá ter duração de uma aula e, ao final dessa aula, o roteiro sistematizado pela turma pode ficar da seguinte forma:

a) Determinar a densidade do chumbo

- Utilizar um recipiente graduado contendo água;
- Colocar a amostra de chumbo disponibilizada nesse recipiente;
- Observar qual foi a quantidade de água deslocada no recipiente;

- Colocar o chumbo numa balança para que seja medida sua massa;
- Já com o conhecimento das duas grandezas, massa e volume, determinar a densidade pela equação $d = m/v$.

b) Determinar a densidade do aço

- Calcular a massa de cada esfera a partir da massa total da amostra de esferas de aço disponibilizada;
- Medir o diâmetro de uma esfera de aço usando um paquímetro;
- Usar a equação de volume de uma esfera ($V = \frac{4}{3}\pi R^3$), para determinar o volume de cada esfera.
- Com os resultados das letras a e c, usar a equação de densidade e calcular a densidade do aço.

c) Determinar a densidade da mistura

Reproduzir todo o procedimento descrito no item I, substituindo as esferas de chumbo pelas esferas da mistura.

d) Com os valores descobertos nos itens I, II e III, montar um sistema de equações:

$$m_{\text{aço mistura}} + m_{\text{Pb mistura}} = m_{\text{total mistura}} \quad (1)$$

$$V_{\text{aço mistura}} + V_{\text{chumbo mistura}} = V_{\text{mistura}} \Rightarrow \frac{m_{\text{aço mist}}}{d_{\text{aço}}} + \frac{m_{\text{pb mistura}}}{d_{\text{pb}}} = V_{\text{mistura}} \quad (2)$$

A partir do sistema de equações, calcular a massa de aço e a massa de chumbo que compõem a mistura.

Provavelmente os equipamentos, recipientes e materiais solicitados serão:

- amostra de esferas de aço;
- amostra de esferas de chumbo;
- a liga metálica (mistura de esferas de aço e de chumbo);
- balança;
- Becker;
- garrafa com água;

- g) ímã;
- h) paquímetro;
- i) proveta.

Observação. 2: É interessante levar os equipamentos e materiais nessa aula, para o caso das discussões avançarem com mais rapidez, permitindo adiantar algum procedimento prático nessa aula.

4.3 3ª Etapa (duas aulas):

Realização da experiência para solucionar o problema proposto:

- a) Disponibilizar os equipamentos e os materiais solicitados pelos discentes para a realização do procedimento experimental definidos na aula anterior para resolver o problema colocado.

Observação: É interessante lembrar os discentes da equação de volume de uma esfera, uma vez que esse pode ser um caminho para calcular o volume das esferas de aço, pois elas têm uma forma bem regular, mas ressaltar que ela não se aplica às esferas de chumbo, porque são de formato irregular.

Levar para a sala de aula um Becker e uma proveta para que os discentes escolham o equipamento mais adequado para a leitura do volume do líquido deslocado. Eles devem perceber, com a ajuda da docente, que o Becker oferece pouca precisão de leitura, o que pode aumentar a margem de *erro* do experimento consideravelmente. Orientar, então, pela escolha da proveta e chamar a atenção para a leitura do menisco inferior na escala, devido à tensão superficial dos líquidos e à aderência da água ao vidro. Como os discentes ainda não tem nenhum conhecimento sobre esse fato, explicar sobre a relação da densidade com a tensão superficial, que é outra propriedade dos líquidos relacionada à densidade. Citar, como exemplo, o mercúrio que tem uma densidade alta e, por isso, oferece uma forte tensão superficial. Por esta razão ele forma bolinhas quando colocado na palma da mão.

Discutir, também, com os discentes que a quantidade de esferas de aço e de chumbo não deve ser muito pequena para que a variação do volume da água na

proveta não seja, também, muito pequena aumentando o erro da leitura.

- b) De posse dos valores da densidade do aço e do chumbo, solicitar ao discentes para comparar com os valores tabelados.
- c) Esperar a indagação sobre os vários valores da densidade do aço encontrados nas tabelas oficiais, enquanto para o chumbo só tem um valor. Aproveitar a demanda para introduzir o conceito de *massa específica*. Explicar que o aço tem vários valores para densidade porque ele não é uma substância pura e sim uma liga e, portanto, o valor da densidade depende das substâncias que o compõe. Explicar que o chumbo só tem um valor para expressar a sua densidade por que é uma substância pura. Nesse caso a densidade é denominada como *densidade absoluta* ou *massa específica*.
- d) Discutir com os discentes a questão do “erro” encontrado no resultado da densidade do aço e do chumbo que eles calcularam comparado com os valores tabelados. Mostrar que esses pequenos erros são comuns em função, por exemplo, da leitura da proveta, da balança, da imperícia do pesquisador, etc.
- e) Após o término dos procedimentos discutir uma maneira de se verificar se os resultados estavam certos. Esperar pela sugestão dos discentes e, caso ela não venha, sugerir o uso de um ímã para separar as esferas e falar um pouco sobre as propriedades ferromagnéticas do aço.

Discutir com os discentes os procedimentos para verificar os resultados:

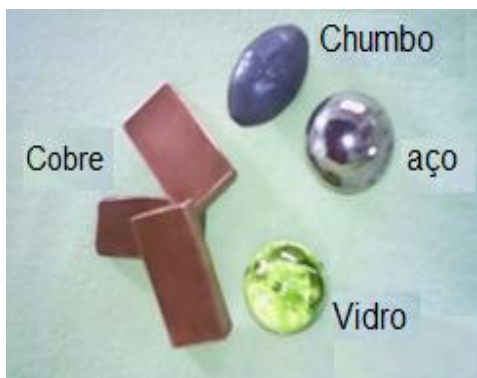
- a) Utilizar um ímã para separar as substâncias da mistura;
- b) Pesar as duas substâncias separadamente;
- c) Comparar com o resultado do experimento;
- d) Justificar possíveis discrepâncias.

4.4 4ª Etapa (duas aulas)

PÓS-TESTE - Aplicar pós-teste, pelo menos duas semanas após a última atividade, para verificar se os alunos tiveram uma evolução na concepção dos

conhecimentos apresentados antes da investigação ou mesmo se os conceitos de densidade e massa específica foram realmente construídos.

Para o pós-teste entregar aos grupos de discentes cubos de silicone contendo em seu interior objetos distintos de substâncias diferentes. Como sugestão, pode ser usado: esferas de aço, de chumbo e de vidro; pequenas barras de cobre; ou qualquer outro material disponível. Para o cubo de silicone, comprar o silicone líquido e o reagente em casas comerciais que ofereçam o produto. Fazer um molde para a confecção dos cubos. Encher a metade do molde com o silicone, esperar endurecer um pouco, colocar o objeto no centro e completar o molde com mais silicone e esperar endurecer.



Fonte: Fotos da autora

Informar a massa do objeto e lançar o desafio para os discentes descobrirem de que é feito esse objeto que se encontra dentro do bloco de silicone, sem destruir o cubo.

Disponibilizar os equipamentos solicitados pelos discentes, os cubos com os objetos no interior e um cubo só de silicone e deixar que eles mesmos descubram os procedimentos necessários para resolver a questão proposta, que é diferente da anterior, mas necessita do mesmo conceito, porém numa condição totalmente diferente.

Ao final dos procedimentos, permitir aos discentes abrir o cubo para verificar se o resultado obtido confere com a substância do interior do cubo de silicone. Alguns grupos vão acertar ou chegar a um valor bem próximo do esperado devido à proximidade dos valores tabelados dessas substâncias, mas, provavelmente outros não chegarão ao valor esperado da densidade, por erro de cálculo ou por medidas imprecisas. Essas discrepâncias nos resultados são importantes no sentido de que

os discentes podem perceber a responsabilidade dos cientistas e importância de um trabalho criterioso, para não incidirem em erros que possam comprometer a eficiência de suas pesquisas e levar à conclusões que não representem a realidade.

Cubos de silicone com objetos em seu interior



Fonte: Foto da autora

Após o término da atividade de pós-teste, avaliar se os conceitos científicos de densidade e massa específica foram construídos pelos discentes, através da capacidade deles de resolver o desafio proposto usando o referido conceito.

4.5 Algumas considerações:

A opção de trabalhar com atividades por investigação levou em consideração o fato de a mesma proporcionar uma evolução para um pseudoconceito ou para um conceito científico propriamente dito. Portanto, a construção conceitual que a investigação promove em todas as fases, tem sempre ganho para o discente.

Assim, a conduta do docente deve ser a de observador e pesquisador de seus discentes, investigando quais as informações e conhecimentos os mesmos já construíram e o entendimento que os mesmos possuem sobre conteúdos trabalhados em anos anteriores.

Como observador e pesquisador de seu fazer o docente pode evitar que a evolução histórica do uso dos conceitos científicos, ao longo de muitos anos, conduza o entendimento dos mesmos como situações simplistas e, nesse sentido, “dificuldades conceituais são banalizadas, conceitos são tratados como ‘óbvios’. Isso

deixa a desagradável sensação de que os conceitos são mágicos” (DIAS, 2001, p. 226), e o docente se exime da tarefa de levar seu discente à construção de conhecimentos relativos aos mesmos.

APÊNDICE B - Pré-teste

- **Questão 1**

Qual a densidade de um objeto cuja massa é 500g e ocupa um volume de 185 cm³?

- ✓ Objetivo: verificar qual conhecimento prévio que o aluno tem sobre equação e a unidade de densidade.

- **Questão 2**

Expresse a densidade da água, que é 1g/cm³ em Kg/m³. O que esse resultado significa para você?

- ✓ Objetivo: Verificar qual o entendimento que o aluno possui sobre a unidade de densidade.

- **Questão 3**

(UPE-2004-Q2) Uma liga metálica de massa 120,0g e densidade 6,0 g/mL é constituída pelos metais “A” e “B” de densidades, respectivamente, iguais a 10,0 g/mL e 5,0 g/ml. Qual a massa do metal “B” na liga?

- ✓ Objetivo: Verificar qual o conhecimento prévio que o discente possui sobre a densidade de substâncias compostas.

APÊNDICE C - Pós-teste

Iº Pós-teste

- a) Distribuir a turma em grupos de cinco discentes;
- b) Entregar para cada grupo um cubo de silicone com um objeto em seu interior;
- c) Informar a massa do objeto;
- d) Solicitar aos alunos para descobrir qual a substância que constitui o objeto; que se encontra no interior do cubo de silicone, sem abrir o cubo;
- e) Relatar, por escrito, todos os procedimentos adotados para a solução do problema.

IIº Pós-teste: Questão de prova bimestral.

Um joalheiro fez uma pulseira de ouro cuja massa total é de 120g. A liga metálica dessa joia possui 10% de prata e 15% de cobre. Sabendo que as massas específicas do ouro, da prata e do cobre são, respectivamente, 19g/cm^3 , 10 g/cm^3 e $8,9\text{ g/cm}^3$, calcule a densidade da pulseira.

ANEXO A - Artigo publicado no periódico Caderno Catarinense de Ensino de Física

Artigo publicado no periódico Caderno Catarinense de Ensino de Física. Autoria de Roberto de Andrade Martins Instituto de Física –UNICAMP - Campinas – SP. (Cad.Cat.Ens.Fís.,v.17, n.2 p.115-121, ago. 2000).

MARTINS, Roberto Andrade. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. **Cad.Cat.Ens.Fís.** Instituto de Física - UNICAMP,v.17, n.2 p.115-121, ago.2000. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6769/6238>>. Acessado em 12/02/2012.

ARQUIMEDES E A COROA DO REI: PROBLEMAS HISTÓRICOS

Roberto de Andrade Martins
Instituto de Física -UNICAMP
Campinas -SP

RESUMO

Este artigo discute a história de que Arquimedes teria descoberto a falsificação da coroa do rei Hieron de Siracusa a partir de medidas da água derramadas pela coroa e por iguais pesos de ouro e de prata. Esta história, relatada pela primeira vez por Vitruvius, é repetida constantemente em livros didáticos e em sala de aula. Esse método atribuído a Arquimedes não seria, no entanto, adequado, por causa dos erros introduzidos pela tensão superficial do líquido. Galileo já suspeitava que Arquimedes teria utilizado outro método, empregando pesagens (balança hidrostática) e não medidas de líquido derramado. Há mais de cem anos, Berthelot encontrou um texto do início da era cristã que confirmava a conjectura de Galileo, pois atribuía a Arquimedes esse segundo método. Apesar disso, autores sem um bom conhecimento sobre a história da ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam a velha interpretação implausível e sem base histórica.

I– INTRODUÇÃO

Muitos livros e enciclopédias repetem histórias que não possuem nenhum fundamento, como a lenda sobre Arquimedes e a coroa do rei Hieron II de Siracusa. Costuma-se dizer que o famoso matemático estava tentando determinar se o ourives que a fabricou havia substituído uma parte do ouro por prata e que a solução surgiu durante um banho. A lenda afirma que Arquimedes teria notado que transbordava uma quantidade de água da banheira, correspondente ao seu próprio volume,

quando entrava nela e que, utilizando um método semelhante, poderia comparar o volume da coroa com os volumes de iguais pesos de prata e ouro: bastava colocá-los em um recipiente cheio de água, e medir a quantidade de líquido derramado. Feliz com essa fantástica descoberta, Arquimedes teria saído correndo, nu, pelas ruas, gritando eúreka (em grego, evidentemente!)⁹.

II - MÉTODO DE ANÁLISE

Questões relativas a um passado remoto devem ser discutidas com base em documentos, testemunhos e objetos associados àquele passado remoto. Além disso, questões envolvendo a história da ciência estão sujeitas a uma análise que leva em conta o próprio conhecimento científico atual, uma vez que uma análise anacrônica (embora criticável sob outros aspectos) é válida para tentar-se determinar se um fenômeno é possível ou plausível¹⁰.

A partir da análise de todos esses fatores, pode-se construir um argumento defendendo alguma conclusão e deve-se deixar claro até que ponto a conclusão é algo bem fundamentado ou apenas uma opinião ou conjectura. Tentar esclarecer, por exemplo, se Arquimedes realmente analisou a coroa do rei Hieron de tal e tal maneira exige uma análise de diversos aspectos:

- 1) Quem descreveu os procedimentos, quando e a partir de que fontes de informação?
- 2) Esses procedimentos são possíveis e plausíveis (do ponto de vista científico)?
- 3) Que documentos, testemunhos e objetos do passado podem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?
- 4) Até que ponto se pode chegar a uma conclusão segura sobre essa questão?

⁹ Como determinar se um suposto relato histórico é fidedigno ou não? Que tipo de critério se pode utilizar para saber se um fato descrito por um autor ocorreu ou não? Esse é o tipo de questão que ocorre imediatamente a um historiador da ciência ao ler descrições como essa.

¹⁰ Atualmente existe uma resistência dos historiadores da ciência contra o uso de informações científicas atuais para analisar episódios antigos. No entanto, em certos casos esse uso parece defensável, pois o conhecimento científico atual pode ser necessário para reconstruir o objeto de investigação. Ver, por exemplo, PICKSTONE (1995).

III - A FONTE DA LENDA: VITRUVIUS

Comecemos pelo ponto (1): como se originou essa versão da história? Nenhuma das obras de Arquimedes que foram conservadas menciona essa questão. O autor mais antigo que a descreveu foi Marcus Vitruvius Pollio, um arquiteto romano do século I a.C., em sua obra *De architectura*. Eis a tradução do trecho relevante:

Quanto a Arquimedes, ele certamente fez descobertas admiráveis em muitos domínios, mas aquela que vou expor testemunha, entre muitas outras, um engenho extremo. Hieron de Siracusa, tendo chegado ao poder real, decidiu colocar em um templo, por causa de seus sucessos, uma coroa de ouro que havia prometido aos deuses imortais. Ofereceu assim um prêmio pela execução do trabalho e forneceu ao vencedor a quantidade de ouro necessária, devidamente pesada. Este, depois do tempo previsto, submeteu seu trabalho, finalmente manufaturado, à aprovação do rei e, com uma balança, fez uma prova do peso da coroa. Quando Hieron soube, através de uma denúncia, que certa quantidade de ouro havia sido retirada e substituída pelo equivalente em prata, incorporada ao objeto votivo, furioso por haver sido enganado, mas não encontrando nenhum modo de evidenciar a fraude, pediu a Arquimedes que refletisse sobre isso. E o acaso fez com que ele fosse se banhar com essa preocupação em mente e ao descer à banheira, notou que, à medida que lá entrava, escorria para fora uma quantidade de água igual ao volume de seu corpo. Isso lhe revelou o modo de resolver o problema: sem demora, ele saltou cheio de alegria para fora da banheira e completamente nu, tomou o caminho de sua casa, manifestando em voz alta para todos que havia encontrado o que procurava. Pois em sua corrida ele não cessava de gritar, em grego: [Encontrei, encontrei!].

Assim encaminhado para sua descoberta, diz-se que ele fabricou dois blocos de mesmo peso, igual ao da coroa, sendo um de ouro e o outro de prata. Feito isso, encheu de água até a borda um grande vaso, no qual mergulhou o bloco de prata. escoou-se uma quantidade de água igual ao volume imerso no vaso. Assim, depois de retirado o corpo, ele colocou de volta a água que faltava, medindo-a com um sextarius¹¹, de tal modo que o nível voltou à borda, como inicialmente. Ele encontrou assim o peso de prata correspondente a uma quantidade determinada de água. Feita essa experiência, ele mergulhou, então, da mesma forma o corpo de ouro no vaso cheio, e depois de retirá-lo fez então sua medida seguindo um método semelhante: partindo da quantidade de água necessária, que não era igual e sim menor, encontrou em que proporção o corpo de ouro era menos volumoso do que o de prata, quando tinham pesos iguais. Em seguida, depois de ter enchido o vaso e mergulhado desta vez a coroa na mesma água, descobriu que havia escoado mais água para a coroa do que para o bloco de ouro de mesmo peso, e assim, partindo do fato de que fluía mais água no caso da coroa do que no do bloco, inferiu por seu raciocínio a mistura de prata ao ouro e tornou manifesto o furto do artesão (VITRUVIUS, *De l architecture*, livro IX, preâmbulo, §§912, pp. 5-7).

¹¹ O sextarius era uma medida romana de volume (0,547 litros, em valores atuais), que tinha esse nome por ser equivalente a 1/6 do congius. O congius correspondia a aproximadamente um galão moderno.

Há elementos um pouco estranhos na história. Por que motivo alguém encheria uma banheira até a borda? Para molhar todo o chão do lugar onde a pessoa ia tomar banho? Se o banho havia sido preparado por um escravo (uma hipótese plausível), ele próprio teria que secar todo o chão, depois. Não é muito razoável pensar que ele enchesse a banheira até a borda.

Vitruvius não viveu na época de Arquimedes e sim dois séculos depois, portanto suas palavras não constituem uma informação de primeira mão. Em que tipo de fonte ele baseou-se? Não o sabemos.

IV - DIFICULDADES FÍSICAS DO MÉTODO

Vejamos, agora, o ponto (2): poderia Arquimedes ter utilizado esse método? Basta um pouco de bom senso para perceber que esse método de medida de volume não pode funcionar. Suponhamos que a coroa do rei tivesse um diâmetro da ordem de 20 cm. Então, seria preciso utilizar um recipiente com raio superior a 10 cm, cheio de água, e medir a mudança de nível ou a quantidade de líquido derramado quando a coroa fosse colocada lá dentro. Suponhamos que a massa da coroa fosse da ordem de 1 kg e que a sua densidade (por causa da falsificação) fosse de 15 g/cm^3 (um valor intermediário entre a densidade do ouro e a da prata). Seu volume seria então de 67 cm^3 . Colocando essa coroa no recipiente cheio de água, cuja abertura teria uma área superior a 300 cm^2 , o nível do líquido subiria uns 2 milímetros. É pouco plausível que fosse possível medir essa variação de nível ou medir a quantidade de líquido derramado com uma precisão suficiente para chegar a qualquer conclusão, por causa da tensão superficial da água. Se o recipiente estivesse totalmente cheio, ao mergulhar a coroa dentro dele, poderia cair uma quantidade de líquido muito maior ou muito menor do que o volume da coroa (ou mesmo não cair nada). Portanto, é fisicamente pouco plausível que Arquimedes pudesse utilizar esse tipo de método.

Muitos autores antigos perceberam as dificuldades do método que Vitruvius atribuiu a Arquimedes. Um deles foi Galileo Galilei, que comentou sobre isso em um pequeno trabalho chamado *La bilancetta*. Nesse trabalho, ele afirmou que o método utilizando a quantidade de água que transbordava do recipiente seria muito grosseiro e longe da perfeição, ou de todo falho, e comentou:

Acreditaria sim que, difundindo-se a notícia de que Arquimedes havia descoberto o furto por meio da água, algum autor contemporâneo terá deixado algum relato do fato; e que o mesmo, ao acrescentar qualquer coisa ao pouco que havia entendido pelos rumores espalhados, disse que Arquimedes havia utilizado a água do modo que passou a ser o universalmente aceito (GALILEO, 1986, p. 105).

Galileo sugeriu que, em vez de utilizar o método descrito por Vitruvius, Arquimedes teria realizado medidas de peso (e não de volume) para resolver o problema, utilizando aquilo que chamamos de princípio de Arquimedes : cada corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo igual ao peso do líquido deslocado. Suponhamos que tomamos a coroa e um igual peso de ouro (medidos no ar). Depois, mergulhamos cada um na água, preso a um fio, e medimos novamente seu peso aparente. Esse peso será menor do que o peso anterior (medido no ar), por causa do empuxo. Se os volumes forem iguais, os empuxos serão iguais. Se a coroa contiver prata, seu volume será maior do que o do ouro puro, e seu empuxo será também maior, portanto seu peso na água será menor do que o do bloco de ouro puro. Através de medidas de peso da coroa e de blocos de prata e ouro puros, na água e no ar, é possível determinar-se com grande precisão a proporção de prata utilizada pelo ourives. No seu pequeno tratado, Galileo mostrou como poderia ser construída uma balança especial que permitisse realizar facilmente esse tipo de comparação.

Bem, Galileo não foi um historiador da ciência. Estava se guiando apenas por seus conhecimentos físicos e não por algum documento antigo que indicasse como Arquimedes havia realmente feito seus experimentos. Os argumentos de Galileo são fisicamente plausíveis, mas poderiam não corresponder à verdade histórica. Existiriam documentos, testemunhos e objetos do passado que pudessem ser utilizados para tentar esclarecer esse ponto?

V - EVIDÊNCIAS ANTIGAS

Nenhum historiador encontrou, até hoje, documentos da época de Arquimedes que pudessem esclarecer a questão. No entanto, há mais de 100 anos, Berthelot localizou documentos bastante antigos que favorecem a interpretação de Galileo (BERTHELOT, 1891). Em primeiro lugar, analisando textos medievais, este autor mostrou que, de fato, o método da balança hidrostática era descrito em tratados técnicos antigos para resolver problemas semelhantes ao da coroa. Um

texto do século XII, chamado *Mappae clavicula*, fornece indicações precisas sobre como fazer as pesagens dentro da água e, a partir daí, calcular a porcentagem de prata utilizada (BERTHELOT, 1891, pp. 478-9). Teria sido esse método utilizado por Arquimedes ou teria sido, por exemplo, uma invenção árabe transmitida à Europa durante o período medieval? Essa segunda possibilidade foi excluída por Berthelot, pois ele localizou um poema latino do século IV ou V d.C. (*Carmen de ponderibus et mensuris*), onde está descrito o uso da balança hidrostática para resolver o problema da coroa e onde esse método é explicitamente atribuído a Arquimedes. Comprovou, assim, a existência de uma tradição bastante antiga que interpretava a solução de Arquimedes de um modo compatível com nosso conhecimento científico.

Além disso, Berthelot indicou também que algumas partes do *Mappae clavicula* são traduções palavra por palavra de textos gregos antigos, o que indica uma transmissão de uma tradição muito antiga sobre o processo de pesagem no ar e na água como meio de avaliar as ligas metálicas (BERTHELOT, 1891, p. 485).

Os argumentos e documentos estudados por Berthelot reforçam a ideia de que Arquimedes teria utilizado um método de pesagens no ar e na água e não o método de derramamento de água, descrito por Vitruvius.

VI - COMENTÁRIOS FINAIS

Podemos ter certeza de que essa é a interpretação correta? Não, não podemos. Nós nem sequer sabemos se existiu a coroa do rei Hieron. Porém, supondo-se que a coroa existiu e supondo que Arquimedes descobriu a falsificação, a versão de Vitruvius é implausível, e a ideia de que Arquimedes utilizou uma balança hidrostática é a mais razoável.

Apesar de Berthelot já ter proporcionado uma boa análise desse problema histórico há mais de um século, autores que não são historiadores da ciência copiam-se uns aos outros e perpetuam interpretações que carecem de uma boa base.

Além de ser historicamente sem fundamento, essa história passa uma visão falsa sobre Arquimedes e sobre a ciência em geral. Dá a impressão de que a ciência evolui por acidentes, e que Arquimedes nada mais foi do que uma pessoa esperta e excêntrica. Na verdade, Arquimedes foi um excelente matemático, que deu grandes contribuições à estática e à hidrostática e que através desses conhecimentos, tinha

condições de determinar um modo adequado de avaliar se ocorreu ou não uma falsificação na coroa do rei Hieron. Além de proporcionar uma visão histórica falsa, essa versão popular faz um serviço negativo ao próprio ensino da física, pois descreve um método inviável de comparação de densidades, em vez de ensinar como se poderia realmente detectar a fraude.

Infelizmente, a lenda da água transbordando na banheira continua até hoje a ser repetida e contada nas escolas e nas universidades e provavelmente continuará a ser contada no futuro.

VII - REFERÊNCIAS

BERTHELOT, Marcel. Sur l'histoire de la balance hydrostatique et de quelques autres appareils et procédés scientifiques. *Annales de Chimie et de Physique* [série 6], 23: 475-485, 1891.

GALILEI, Galileo. La bilancetta a pequena balança ou a balança hidrostática. Trad. Pierre H. Lucie. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (9): 105-7, 1986.

PICKSTONE, John V. Past and present knowledges in the practice of the history of science. *History of Science* 33: 203-24, 1995.

ROBERTS, Royston M. *Descobertas acidentais em ciências*. Trad. André Oliveira Mattos, revisão de Oswaldo Pessoa Jr. Campinas: Papirus, 1993.

VITRUVIUS, Marcus. De l'architecture. Trad. Jean Soubiran. Paris: Belles Lettres, 1969.