

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
Unidade Acadêmica de Garanhuns

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENSINO DE FÍSICA  
NÍVEL DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Por Mario de Souza**

**A MULTIDISCIPLINARIDADE SISTÊMICA COMO METODOLOGIA DE ENSINO:**  
Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia

GARANHUNS / PE.  
JULHO / 2016

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
Unidade Acadêmica de Garanhuns

**Por Mario de Souza**

**A MULTIDISCIPLINARIDADE SISTÊMICA COMO METODOLOGIA DE ENSINO:  
Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Einstein Pereira de Araújo

GARANHUNS / PE  
JULHO / 2016.

**A MULTIDISCIPLINARIDADE SISTÊMICA COMO METODOLOGIA DE ENSINO:  
Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia**

Por Mario de Souza

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Alberto Einstein Pereira de Araújo UAG/UFRPE (Presidente)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Teixeira Bruno Silva UAEADTec/UFRPE (Convidada)

---

Prof. Dr. Alexandro Cardozo Tenório EXTENSÃO/UFRPE

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Miranda UAEADTec/UFRPE

GARANHUNS / PE  
JULHO / 2016.

**Aos meus pais:** Enéas de Souza (*em memória*) e Severina Renato de Souza, como reconhecimento do carinho e do respeito pelos princípios de construção em minha formação humana.

## AGRADECIMENTOS

**Ao meu orientador**, Professor Dr. *Alberto Einstein Pereira de Araújo*, por sua aceitação em orientar meu trabalho, por desprendimento de seu tempo e de seu conhecimento para que caminhássemos na conclusão do mesmo.

À **Banca Examinadora** por seu trabalho de leitura e revisão textual, o que me revela mais uma forma de aprendizagem.

**Aos Professores do Programa do Mestrado Profissional de Ensino de Física, em Garanhuns/PE** que contribuíram com minha formação profissional e pessoal.

À **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF).

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela concessão de bolsas de estudos.

**Ao apoio Institucional** do *Governo de Pernambuco através da Secretaria de Educação e a Universidade de Pernambuco – Campus Mata Norte (Nazaré da Mata – PE)*

**A Professora da Maria Auxiliadora Leal de Campos**, Diretora da Unidade do Campus Mata Norte da Universidade de Pernambuco, por seu reconhecimento e apoio indireto, mais de enorme valia, no percurso deste trabalho, o meu mais profundo reconhecimento e respeito.

**Aos Professores:** *Gerson Henrique da Silva e Laércio Henrique da Silva*, do Campus Mata Norte da Universidade de Pernambuco, por suas compreensões e ajuda em possibilitar meu trabalho dissertativo, o meu mais profundo e respeitoso reconhecimento, dos momentos difíceis em que estive presente e fui acariciado com vossas compreensões humanas.

À **amiga e colega Lúcia Maria Firmo** da Universidade de Pernambuco no Campus Mata Norte pelas dicas de correção de linguagem.

À **amiga Vera Lúcia Brito**, enfermeira do Hospital Agamenon Magalhães (HAG) em Recife (Bairro de Casa Amarela), por suas ligeiras intervenções e orientações sobre o papel e métodos de levantamento de dados sobre a densidade urinária. Seu contributo foi ímpar na direção desse trabalho.

**Ao professor e amigo Gabriel Silva**, pelo reencontro de longas datas como colega de curso e de profissão, como também, da reestruturação de nossa amizade e de nossas conversas sobre Ensino de Física no que diz respeito à Literatura de Física, disponível aos estudantes do Ensino Médio e de seu uso por professores de Física. Essas discussões tiveram em minha formação profissional um grande avanço.

À *José Altenis, Nívio Bernardo e Marco Moreira*, pelos bons momentos vividos na caminhada (ida e volta) de Recife para Garanhuns (discussões de ensino de física e de lições de vida) e ao colega *Altemis*, o agradecimento especial pela sua informação, sobre último dia de matrícula do MNPEF, quando eu já me sentia desligado do programa.

À **Turma**. Por ser a primeira turma do MNPEF, na UFRPE-UAG, o compromisso de união e de cooperação entre todos, fez com que nossos conhecimentos ultrapassassem a barreira física da sala de aula, em encontros pessoais de muita valia para a nossa amizade e aprendizagem. Com conversas sobre Filosofia com *Moisés*, Política com *Ozaias*, Matemática com *Michelle*, Religião e admiração pelo saber teológico com *Ronaldo*, Processo Organizacional na lousa, com *Plínio*, dos pós-momentos de cada aula enquanto caminhávamos para o jantar, com *Charles*, dos princípios de educação familiar e por sua capacidade de carinho com *Vanailson* e de diferentes (conflitantes e prazerosos) processos de sala de aula, em que cada colega se pronunciava sobre sua trajetória profissional que me serviram como tutoria, na caminhada de aprimoramento profissional. Esta contribuição foi fundamental na construção desse trabalho.

**Pessoal:** A *todos* que de uma forma ou outra contribuíram para a concretização deste trabalho.

A educação é a capacidade de perceber as conexões  
ocultas entre os fenômenos<sup>1</sup>.

Václav Havel

---

<sup>1</sup> Citado por CAPRA em “As conexões ocultas”.

## **RESUMO**

Por Mario de Souza

Orientador

Professor, Dr. Alberto Einstein Pereira de Araújo,

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

## **RESUMO**

Este trabalho trata do desenvolvimento de uma metodologia para o Ensino de Física numa abordagem multidisciplinar articulando a Física e Biologia, na aprendizagem dos conceitos físicos tensão superficial e capilaridade. Nesse contexto a metodologia de pesquisa é qualitativa e configura-se no estudo de caso e na fenomenológica, cuja compreensão analítica da mesma revelou que houve contributos da Biologia para construção dos conceitos físicos tensão superficial e capilaridade. Os resultados dessa análise também apontaram que houve criação de percepções e de representações do objeto físico, quando o mesmo fora, não só trabalhado no contexto da Biologia, mas também numa teia de relações que envolveram os estudantes quanto aos aspectos sociais e culturais junto de suas experiências de vida para a formação de seus modelos.

Palavras-chave: Multidisciplinaridade Sistêmica. Tensão Superficial. Capilaridade.

## **ABSTRACT**

Por Mario de Souza

Orientador

Professor, Dr. Alberto Einstein Pereira de Araújo,

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

## **ABSTRACT**

This work treats the development of a methodology for Physics Teaching in a multidisciplinary articulating Physics and Biology, in the learning physical concepts surface tension and capillary. In this context the research methodology is qualitative and configures in the case study and the phenomenological, whose analytical understanding of it revealed that there were contributions from Biology to construction of physical concepts surface tension and capillary. The results of this analysis also showed that there was creation of perceptions and representations of the physical object, when it was not only worked in the context of Biology, but also in a network of relationships involving students about the social and cultural aspects along its life experiences to the formation of its models

Keywords: Multidisciplinary Systemic. Superficial Tension. Capillarity.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1. Introdução</b> .....	10
<b>Capítulo 2. Referencial Teórico</b> .....	12
2.1 A Multidisciplinaridade como construção do caminho entre o ensinar e o aprender .....	12
2.2 A multidisciplinaridade sistêmica na perspectiva metodológica .....	14
2.3 A disciplinaridade. ....	14
2.4 A multidisciplinaridade. ....	16
2.5 O princípio de construção da multidisciplinaridade sistêmica .....	18
2.5.1 Compreendendo a visão de sistema .....	18
2.5.2 Compreendendo a multidisciplinaridade sistêmica .....	21
2.6 A didática das Ciências e a multidisciplinaridade: rompendo obstáculos .....	22
2.7 O Modelo Mental e a multidisciplinaridade sistêmica: um pensar agir .....	23
2.7.1 Os princípios dos Modelos Mentais de Johnson-Laird .....	30
<b>Capítulo 3. Metodologia</b> .....	33
3.1 O método como caminho metodológico .....	33
3.2 O contexto metodológico .....	34
3.3 Procedimentos de coletas de dados .....	35
3.4 Tipos de pesquisas .....	35
3.5 Elementos da pesquisa metodológica .....	36
3.6 Elementos de busca de dados .....	38
3.6.1 Questionários como registros de eventos nesta pesquisa .....	38
3.6.2 A estrutura dos questionários dentro da pesquisa .....	39
<b>Capítulo 4. Análises e Reflexões de Dados</b> .....	41
4.1 Distribuições dos questionários e levantamento de dados da amostra .....	41
4.1.1 Levantamento de dados da turma .....	42

4.1.2 Dados institucionais dos estudantes na amostragem .....	44
4.2 A Análise do questionário de tensão superficial e capilaridade .....	46
4.3 Análises e reflexões de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia	53
4.3.1 O papel da linguagem Matemática .....	54
4.3.2 O papel da linguagem Física no contexto da Biologia .....	58
4.3.3 Análise e reflexão do conteúdo tensão superficial .....	59
4.3.4 Análise e reflexão do conteúdo capilaridade .....	62
4.3.5 Análise e reflexão da metodologia multidisciplinar sistêmica .....	65
4.3.6 O papel da mídia na condução metodológica .....	69
4.3.7 Dados sobre o “gostar” ou “não gostar” de Física .....	70
<b>Capítulo 5. Considerações Finais .....</b>	<b>72</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>74</b>
<b>Apêndice A Produto de Ensino.....</b>	<b>77</b>
<b>Apêndice B Questionário 1.0.....</b>	<b>133</b>
<b>Apêndice C Questionário 1.1.....</b>	<b>134</b>
<b>Apêndice D Questionário 1.2.....</b>	<b>136</b>
<b>Apêndice E Questionário 1.3.....</b>	<b>138</b>

## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

Para responder à questão desse trabalho, tece-se o olhar numa *metodologia* de ensino, que está posta com vistas a *possibilitar* ao profissional do Ensino de Física, *caminhos* que viabilizem o aprender Física, num contexto múltiplo da Física e da Biologia. Nesse sentido, *compartilha-se* o conhecimento físico tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia. Isto se faz por entender *Física e Biologia* como disciplinas independentes no Ensino Médio, o que fornece uma justificativa dessa pesquisa, conforme descrição de seus capítulos.

Na Introdução, está o desenho (capítulos) do trabalho, o *questionamento* de interesse: *A multidisciplinaridade entre Física, e Biologia como visão da Educação Científica Sistêmica, estruturada na Didática das Ciências de Astolfi, nos Modelos Mentais de Johnson-Laird e nos processos investigativos é possível de promover aprendizagem de Física para Tensão Superficial e Capilaridade?* E junto a esse questionamento vêm os objetivos, com os quais se conduziram a construção de resposta dentro do contexto e da hipótese levantada.

➤ O *objetivo geral* foi o de desenvolver uma metodologia numa abordagem multidisciplinar sistêmica, articulando a Física e a Biologia, na aprendizagem de conceitos físicos de tensão superficial e capilaridade; os *objetivos específicos* são: a) Mapear as concepções dos licenciandos em relação a “gostar” ou “não gostar” de Física e Biologia; b) Identificar as concepções dos estudantes acerca dos conceitos físicos tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, na dimensão da linguagem matemática; c) Identificar as contribuições da metodologia multidisciplinar sistêmica no estudo desenvolvido.

➤ A *hipótese* levantada foi verificar se a articulação entre Física e Biologia desperta a maior interesse na aprendizagem da Física quando seu objeto está no contexto da Biologia.

No referencial teórico, capítulo 2, está à concepção da metodologia multidisciplinar está inserida na idealização de sistema que envolve as Ciências da Natureza, a Matemática e suas Tecnologias, numa visão de rede (ou teia) de conhecimentos que envolvem contextos sociais e culturais, como substantivos ao contexto da Física e da Biologia.

No capítulo 3, está a metodologia de pesquisa deste estudo que é qualitativa e tem o aporte de conjugar dois tipos de pesquisa: o estudo de caso e a fenomenológica. O primeiro tipo está proposto, pois se requer a compreensão das interrelações do sistema de Ciências da Natureza, na didática das Ciências e junto à teoria de aprendizagem. O segundo tipo parte do princípio da representação da realidade construída na condução de interpretação (não única) da experiência vivenciada e descrita no contexto dos dados levantados em questionários e de *eventos em aulas*.

E no capítulo 4, está à análise e reflexões dos dados na construção de como se processam as percepções e as representações dos estudantes, acerca da tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

O capítulo final é a conclusão que está pautada na visão contextual de elaboração e compreensão de todo o processo vivido e na busca de possibilidades novas para este trabalho, que pode sair da multidisciplinaridade sistêmica para um projeto interdisciplinar.

Embora este trabalho tenha sido feito com estudantes de Licenciatura de Ciências Biológicas, do primeiro período, em 2016-1, da Universidade de Pernambuco no Campus Mata Norte, com sede no município de Nazaré da Mata em Pernambuco, faz-se saber que esses estudantes terminaram a Educação Básica, em 2015. Sendo assim, os mesmos ainda têm suas concepções de aprendizagem no contexto do Ensino Médio. Essa compreensão é outra justificativa válida à aplicação desse trabalho para o referido nível de ensino.

Essa pesquisa é um relato experimental de uma prática de Ensino de Física, o qual tem natureza educacional e aponta para aplicação em sala de aula, do curso de Estudos Gerais, no Ensino Médio. Isso não quer dizer que em outros cursos, ao nível do Ensino Médio, não se possam trabalhar os conteúdos físicos de tensão superficial e capilaridade nessa perspectiva multidisciplinar e sistêmica, no contexto da Biologia.

## Capítulo 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A estrutura do referencial teórico, objeto de produção do conhecimento no Ensino de Física está na *multidisciplinaridade sistêmica* como metodologia; assim o seu significado e as perspectivas didáticas irão nortear a construção do conceito físico de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

Para dar corpo a esse embasamento de ensino assenta-se esta proposta metodológica na teoria da aprendizagem dos modelos mentais na perspectiva de Johnson-Laird, na didática das Ciências da Astolfi, nos fundamentos de origem disciplinar vivenciada numa prática de sala de aula junto aos processos investigativos, estruturando um caminho para o Ensino de Física, no Ensino Médio, dentro da visão sistêmica das Ciências da Natureza.

### 2.1 A metodologia como construção do caminho entre o ensinar e o aprender

A criação da metodologia multidisciplinar e sistêmica, antes de ser pronunciada nesse texto, necessita ser difundida em primeiro plano cuja metodologia (estudo do método) é a construção do caminho entre o ensinar e o aprender quando este significado está inserido no contexto do ensino e da aprendizagem. Porém, quando se fala sobre metodologia de ensino, há arrepio na espinha dorsal do professor! Isso acontece porque, em geral, há suspeita do profissional em olhar para metodologias como “receitas para sucesso” de aulas.

Mas, aqui, a compreensão de metodologia se entende em duas categorias que não devem estar presentes em seu contexto: *nem é receita e nem ação para o sucesso* profissional no ministério das aulas de Física.

Ela se apresenta na visão de *possibilitar*, ao profissional do Ensino de Física, *caminhos* que viabilizem o aprender Física, num contexto múltiplo da Física e Biologia.

Entende-se, dentro desse princípio, que o professor tem suas particularidades de formação e de experiências vivenciada no exercício profissional, que são embasadas por atitudes e procedimentos de suas ações, buscando sempre a qualidade e compromisso para a aprendizagem como construção de trabalho do controle simbólico.

Nessa direção, a resolução de exercícios, de tarefas<sup>2</sup> de aprofundamento no tema por trabalhos de grupos e/ou individuais (cuja importância está na pergunta ou nos argumentos

---

<sup>2</sup> Compreende-se tarefa como “um trabalho determinado, com vistas a um produto final que constitui um objeto que tem sua própria consistência, caráter que o mero exercício não apresenta”. (HADJI, 2001, p. 86).

que poderão surgir dos estudantes<sup>3</sup>), motivação e/ou interesses desencadeados na história e filosofia do pensamento físico, projetos de ensino escolar, apresentação do tema por vídeos da Internet ou construídos por estudantes, realização de experimentos (dimensão investigativa) manuais ou virtuais (experimentos de pensamento), filmes de caráter físicos relativos à Física e a Biologia (que pode também ser trazido para sala de aula por estudantes) como processo de formação científica e cidadã, de modo a configurar discussões e escritas que induzam à visão de construção científica, nas representações e percepções de linguagens escritas, faladas e/ou desenhadas, dos estudantes, mas, analisadas pelo professor dentro da concepção de sistemas das Ciências da Natureza.

No processo avaliativo, componente do ensino e da aprendizagem, este deve se comportar dentro metodologia multidisciplinar e sistêmica, trabalhando no instrumento avaliativo a *integração*, como pensamento e valor, o *intuitivo* e a *síntese*, como percepção de construção do pensamento bem como os valores de *cooperação* e de *parceria*.

Assim, os autores envolvidos no processo de ensino e aprendizagem como método de ensino comungam com o que diz Morin (2003), afirmando que método é aquilo que serve para aprender e, ao mesmo tempo, é aprendizagem. Este fato revela a importância da relação professor-aluno-conteúdo, a creditar que *não existe um método fora das condições em que se encontra o sujeito* (*Idem.* p. 29). Isto sintetiza a metodologia (estudo dos métodos), enquanto caminho que permite conectar-se, como diz Morin (2003), que conhecer o conhecimento é aproximar sujeitos nessa direção, dotando a avaliação de tarefas como ir e vir processual de busca dos *insights* mentais o que leva estudantes a produzirem conhecimentos, no sentido do conhecimento escolar.

Compreende-se assim que as metodologias, evidentemente, não agem sozinhas, estão inseridas no contexto do saber físico, do conhecimento de tecnologia e ações sociais as quais conectam a Física, como diz Cachapuz, *et al*, 2005 (*Apud* CARVALHO, p. 22), sobre o fato de que a referida ciência “contribui para a construção de conhecimento sobre questões relacionadas aos fenômenos naturais e para o entendimento das ações humanas sobre à Natureza”.

Essa compreensão está dentro do arcabouço de que o Ensino de Física deva ser visto dentro de um processo de construção da linguagem científica, pois, como diz Carvalho (2012), “a linguagem da ciência é argumentativa”, ou seja, “é necessário apresentar argumentação com justificativas para transformar fatos (científicos<sup>4</sup>) em evidências” (p. 23), o

---

<sup>3</sup> Originária do processo investigativo que o professor promove para filtrar representações do conceito físico na didática das ciências e da percepção do modelo mental, junto às suas construções do objeto físico em estudo.

<sup>4</sup> Inclusão do termo por Mario de Souza.

que revela na multidisciplinaridade entre Física e Biologia como metodologia de ensino a circunscrição dessas argumentações, no sentido de construir conceitos em Física, na estrutura de construção de percepções e de argumentos, na visão sistêmica das Ciências da Natureza.

Nesse contexto desenha-se a estrutura de Ensino de Física com vista à compreensão de que “todo conhecimento significativo é conhecimento contextual, e grande parte dele é tácita e vivencial” (CAPRA, 2006, p. 69), o que denota o processo argumentativo como forma de buscar percepções de modelos mentais dos estudantes, uma vez que “a mente humana opera com ideias e não com informações” (*Idem*).

## 2.2 A multidisciplinaridade sistêmica na perspectiva metodológica

A compreensão da multidisciplinaridade sistêmica na perspectiva metodológica está vista dentro do princípio da complexidade, neste trabalho, enquanto linha de pensamento e instrumenta a visão de *disciplina* numa “categoria organizadora no conhecimento científico” (MORIN, 2001, p. 105). E tal concepção se conjectura para a Física e Biologia contida num Sistema das Ciências da Natureza, aplicada num processo de ensino e aprendizagem. Porém, esta mesma categoria também “institui a divisão a especialização do trabalho e responde à diversidade das áreas que as ciências abrangem” (*Idem*). Revela-se assim a necessidade de mudanças quanto a esse perfil disciplinar, no que diz respeito aos processos de ensino e aprendizagem; é nesse sentido que surge a compreensão da multidisciplinaridade sistêmica como perspectiva metodológica, na condição de necessidade.

Tal fato se compreende no esgotamento da institucionalização *disciplina*, que se apoia na evolução de pesquisas científicas onde teias de conhecimentos se ligam, enquanto sistema ou corpo de conhecimento. Nesse sentido este trabalho toma a multidisciplinaridade sistêmica como metodologia de ensino, na visão de um corpo de conhecimento relacional entre Física e Biologia, ao Ensino Médio no curso de Estudos Gerais enquanto *ensino propedêutico*.

## 2.3 A disciplinaridade

O significado de disciplinaridade é, o conceito primário e, de importância ímpar para a concepção de multidisciplinaridade. Para isto se faz necessário conhecer a concepção de identidade de *disciplina*, como por exemplo, a Física. Este assentamento fundamenta-se em

quatro princípios: a razão<sup>5</sup>, a objetividade, o empirismo e a lógica clássica, segundo Bicalho e Oliveira (2011), e cada um desses princípios tem sua especificidade, segundo Morin e Le Moigne (*Apud* BICALHO e OLIVEIRA, 2011)

*Razão*: corresponde a um sistema de ideias coerentes, cujos diferentes elementos são estritamente ligados entre si por procedimentos lógicos de dedução ou indução, que obedece o princípio da não contradição.

*Objetividade*: está na ideia de que o estabelecimento do conhecimento pelo consenso dos cientistas de diferentes opiniões permite eliminar o espírito conhecedor do conhecimento, operando, assim, a separação do sujeito-observador em relação ao sujeito-observação.

*Empirismo*: induz a ideia de que as teorias, por serem verificadas por observações ou experimentações múltiplas, refletem o real.

*Lógica clássica*: utilizada para verificação dos sistemas de ideia, que conduz a um nível de coerência tal que leva à verdade na ciência.

Esta construção está no espírito das disciplinas, ou seja, na disciplinaridade. Mais especificamente nas estruturas científicas que serviram de base à disciplinaridade e esteve presente até o final do século XIX, quando a ideia central era a de que a soma das partes levava ao todo.

Esta ideia, mesmo sendo particular, tinha a idealização do conhecimento como um todo contido em suas partes e, dessa forma, cada disciplina tinha suas fronteiras, pois a disciplina, conforme explica Morin (1999, p.105).

Embora inserida em um conjunto mais amplo, uma disciplina tende naturalmente à autonomia pela delimitação das fronteiras, da linguagem em que ela se constitui, das técnicas que é levada a elaborar e a utilizar e, eventualmente, pelas teorias que lhe são próprias.

Esta caracterização disciplinar nasce junto com a instituição Universidade, em meados do século XIX e tem seu ápice no século XX, com o desenvolvimento da pesquisa científica, o que gera o significado, ainda segundo Morin (p. 105), de que

as disciplinas têm uma história: nascimento, institucionalização, evolução, esgotamento, etc.[...] Portanto, a disciplina nasce não apenas de um conhecimento e de uma reflexão interna sobre si mesma, mas também de um conhecimento externo. Não basta, pois, estar por dentro de uma disciplina para conhecer todos os problemas referentes a ela.

---

<sup>5</sup> Para Morin (1999) a RAZÃO é um método de conhecimento baseado no cálculo e na lógica (na origem *ratio* significa cálculo), empregado para resolver problemas postos no espírito, em função dos dados que caracterizam uma situação ou um fenômeno (p. 157). Enquanto que a RACIONALIDADE “é o estabelecimento de adequação entre uma coerência lógica (descritiva, explicativa) e uma realidade empírica” (*Idem.* p. 157).

Isto é importante, na conceituação de disciplina, muito embora haja um esgotamento pelas novas exigências de promover o conhecimento, dentro do escopo social de fabricar Ciências (atitude humana) e da nova compreensão analítica dos problemas que urgem na premissa do contexto da complexidade em suas análises e interpretações.

## 2.4 A multidisciplinaridade

A idealização da disciplinaridade trouxe outras fronteiras de abordagens para o contexto de fabricar e dar significado ao conhecimento e, tal fato foi transposto para a vida escolar enquanto nível acadêmico.

Assim, as formas de busca da fabricação da ciência no século XX ampliaram os limites singulares da visão disciplinar e, com isso nasceram os prefixos *pluri*, *multi*, *inter* e *trans*, conjugados na disciplinaridade, cuja compreensão está na abertura ou no rompimento da rigidez de fronteiras disciplinares, para a concepção do fazer e do conhecer Ciência. E estes limites singulares não são simples em suas abordagens conceituais ou de praticidade.

Dentre esses prefixos, *contempla-se*, neste trabalho, num primeiro momento, a *multidisciplinaridade*, esboçando-se seus significados. Mais adiante, será traçado um novo perfil dessa compreensão, devido às novas abordagens de conscientização da fabricação e do ensino de Ciências da Natureza, levando a compreensão de multidisciplinaridade sistêmica.

O primeiro momento compreende-se como sendo uma visão clássica do conceito de multidisciplinaridade, o qual pode ser representado como uma cesta de frutas onde cada fruta representa uma disciplina, sendo a cesta o mote de análise na visão de multidisciplinaridade. Esta visão está muito próxima do conceito da Ciência Clássica. Por conseguinte, nesse primeiro momento, traça-se esse paralelo.

Por que o paralelo? Porque esta visão de *multidisciplinaridade* está numa “associação de disciplinas” segundo Calloni, 2006 (*Apud* SANTOS, LUMARDI, ERDMANN e CALLONI, 2007); para Nicolescu *et al*, 2000, como “busca integração de conhecimentos por meio de estudos de um objeto de uma mesma e única disciplina ou por várias delas ao mesmo tempo” (*Apud* BICALHO e OLIVEIRA); conforme Nogueira, 2001, na multidisciplinaridade “não existe nenhuma relação entre as disciplinas, assim como todas estariam no mesmo nível, sem a prática de um trabalho cooperativo” (*Apud* SILVA, 2004); na visão de Japiassu, “ela se caracteriza por uma ação simultânea de uma gama de disciplinas em torno de uma temática comum” (*Apud* CARLOS, 2007); enquanto que no entender de Almeida Filho, 1997 “as

disciplinas do currículo escolar, estudam *perto*, mas não *juntas*. A ideia é de *justaposição* de disciplinas” (*Apud*, PIRES, 1998).

Os vislumbres conceituais vistos, embora citados em sua maioria no século XXI, possuem ramificações idealizadas no século XX, ainda com uma visão de transição do fabricar Ciências entre os séculos XIX e XX. Mas, no fim do século XX para o século XXI, a visão de mundo, a partir das Ciências, teve seu papel reformulado em suas concepções e, tornou-se mais visível às ideias de redes ou teia nas relações entre Ciências, Cultura e Processos de Humanização que comungam com as asserções de Cooperação, Flexibilização e Mobilidade do/no pensamento humano, dentro da identificação terrena para com a relação sujeito e objeto num contínuo, da relação espaço-tempo.

Essa mudança de paradigma teve na Informática, na Biologia, na Física e na Química os primórdios de sua evolução que foram para a sociedade através da Sociologia da Ciência e da compreensão da Ciência da Sociologia para a concepção das relações ocultas (não presentes, mas tomando parte de solução e/ou (da) criação) que têm como princípio a Vida e a sua sustentabilidade numa dinâmica *não linear*, gerando o fenômeno da complexidade como fundamento filosófico desse paradigma. Essa é a visão de mundo (Educação) do século XXI.

Faz parecer que tal compreensão teve lugar na Academia, mas não na Educação Básica como revela Cordioli (2002, p. 21) que, na perspectiva acadêmica, essa atividade tem um “*viés comum e articulado cooperativamente*”, diferentemente da visão Escolar, cujo princípio está na junção de “duas ou mais disciplinas para atuar em conjunto sobre um mesmo tema”. (*Idem*)

Nesse contexto a visão de multidisciplinaridade sistêmica estaria tanto na visão Acadêmica quanto na visão Escolar e, além do viés comum da articulação e cooperação para a efetivação do processo teórico, estaria aliado o processo interativo e organizacional como mediação entre as “partes” e o “todo”. Nessa perspectiva diz Morin (1999, p. 335) diz que:

Uma teoria não é o conhecimento; ela permite o conhecimento. Uma teoria não é uma chegada; é a possibilidade de uma partida. Uma teoria não é uma solução; é a possibilidade de tratar um problema. Em outras palavras, uma teoria só realiza seu papel cognitivo, só ganha vida com o pleno emprego da atividade mental do sujeito. É essa intervenção do sujeito que dá ao termo *método* seu papel indispensável.

É dentro dessa visão criativa do significado de método enquanto papel indispensável que se soma esse argumento, para a Educação Científica, como também, uma justificativa de apresentar nessa visão a multidisciplinaridade sistêmica como a criação de um conhecimento que permite buscar conhecimento no Ensino de Física, tomado no contexto da Biologia.

## 2.5 O princípio de construção da multidisciplinaridade sistêmica

A abordagem compreensiva da teoria de sistema como compreensão que se agrega à metodologia de ensino multidisciplinar, formando a idealização da multidisciplinaridade sistêmica, é o caminho e a visão de Educação Científica estruturada nesse trabalho.

A centralidade dessa ideia está no fato de que quando se abordam a Física e a Biologia num processo de ensino, essas disciplinas não irão formar apenas conjuntos disjuntos que irão se tangenciar, uma vez que, no processo de ensino, desde o século XX, a Física e a Biologia pertencem ao conjunto das Ciências da Natureza.

### 2.5.1 Compreendendo a visão de Sistema

Ensinar Ciências é criar símbolos. Isto significa dotar o Ensino de Ciências de uma linguagem que deve nascer dentro do processo argumentativo de contextualização no qual se semeiam as percepções científicas e se organiza uma proposta curricular de ensino, como aqui se esmera, para a tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

Este caminho pode ser compreendido a partir de avanços da significação de Ciências, buscando seu começo nos estudos filosóficos da Grécia Antiga, mas precisamente em Aristóteles cuja compreensão de Ciências tinha a visão de *matéria e forma* enquanto processo de conhecimento, pois, conforme Capra (2006, p, 34), Aristóteles,

acreditava que a forma não tinha existência separada, mas era imanente à matéria. Nem poderia a matéria existir separadamente da forma. A matéria, de acordo com Aristóteles, contém a natureza existencial de todas as coisas, mas apenas como potencialidade.

E segundo Capra (2006) a compreensão dessa ideia aristotélica é a de que, “matéria e forma são dois lados de um processo [de conhecimento] apenas separáveis por meio da abstração”, o que leva a compreender que a abstração está na criação de modelos explicativos formais para justificar a crença naquilo que se modelava mentalmente, ao mesmo tempo em que se criava a argumentação como princípio de criação da ciência em sua lógica que representava “um conjunto de concepções unificadoras, que aplicou às principais disciplinas de sua época – biologia, física, metafísica, ética e política” (*Idem*).

O pensamento aristotélico foi quebrado pelo pensamento de Galileu Galilei que tem em sua natureza os estudos dos fenômenos num processo de medição e quantificação, ou seja, a matematização da Ciência, que é contrária ao pensamento qualitativo de explicações da ciência no pensamento aristotélico.

Este arcabouço do pensamento de Galileu juntou-se ao pensamento de René Descarte, do método analítico, “que consiste em quebrar fenômenos complexos em pedaços a fim de compreender o comportamento do todo a partir das propriedades das partes” (*Idem.* p.34) e dá ao mundo uma *visão mecanicista* levando a considerá-lo uma máquina regida por leis matemáticas exatas. Esse pensamento teve em Isaac Newton a sua completude e foi o ápice da tecnologia do século XIX.

O pensamento cartesiano, como é conhecido, não se deu somente na Física, sua compreensão foi também para a Química e Biologia, e, no âmbito da Biologia esse mecanismo cartesiano foi expresso no dogma segundo o qual as leis da Biologia, podem, em última análise, ser reduzidas às da Física e às da Química, segundo Capra (2006), o que mostra o quanto foi influente essa teoria na evolução do pensamento científico no século XIX. É salutar compreender essa visão na Biologia.

A visão dada por Aristóteles (matéria e forma) é retomada pelo Movimento Romântico criado por poetas e filósofos alemães, que concebiam a Natureza como de forma orgânica. E, nesse processo de conhecimento Goethe, é o pioneiro nessa direção como também, foi o primeiro a usar a palavra “morfologia”, Capra (2006), para estudar a Biologia a partir do ponto de vista dinâmico, não mais sendo o organismo biológico *apenas* uma máquina. Isto é uma revolução no pensamento científico. Começava a busca da visão do todo dentro da dinâmica biológica.

Esse ponto de vista dinâmico da Biologia, visto em Goethe, era a concepção da “ordem móvel” da natureza, que para ele, tinha “a forma como padrão de relações dentro de um todo organizado” (*Idem.*, p. 35). Então, em Goethe, “cada criatura é apenas uma gradação padronizada de um grande todo harmonioso”, segundo Capra (2006).

Embora essa ideia tenha sido despertada, ela não desbancava os trunfos da Biologia cartesiana do século XIX que tratava da teoria das células, da embriologia e da microbiologia, com muita propriedade argumentativa que se justificava no processo do conhecimento da Biologia. Isto aumentava a concepção mecanicista da vida que vinha ao encontro da proposta de René Descartes. .

No entanto, havia um problema a ser enfrentado com essa visão mecanicista de vida que se revelava com o fato de que “leis da física e da química [embora] aplicáveis aos organismos, elas são insuficientes para uma plena compreensão dos fenômenos da vida”

(*Idem*, p. 38). Isto levava a concepção de que a visão do organismo como um todo e integrado não é possível compreendê-lo dentro da perspectiva da soma das partes. Era o nascimento da visão científica do vitalismo, que tem em Hans Driesch, embriologista alemão, o seu expoente maior, com seus experimentos com ouriços do mar. Nesses experimentos, segundo Capra (2006, p. 39), “Driesch destruiu uma das células de um embrião no estágio inicial de duas células, a célula restante se desenvolvia não em metade de um ouriço do mar, mas num organismo completo, porém menor”.

A experiência de Driesch contradiz a hipótese da vida enquanto máquina, pois houve regeneração de totalidade, a partir de partes, segundo obra citada. E, neste contexto, Driesch postula um termo aristotélico *enteléquia* para explicar o que visionara em seus experimentos, mas o termo *enteléquia* em Aristóteles é, de acordo com Capra (2006) “um processo de autorrealização que unifica a matéria e a forma”, porém o mesmo termo aristotélico citado por Driesch, “é uma entidade separada, atuando sobre o sistema físico sem fazer parte dele”, ainda de Capra (2006 p. 39). Esta é uma qualidade da criação científica: a linguagem. E a mesma evolui no processo argumentativo de suas concepções e crenças onde tal atitude é por demais salutares no Ensino.

Mas, no século XX a Biologia tem outra dimensão. A dimensão organísmica, essa dimensão tem como pioneiro, conforme Capra (2006), o biólogo americano Ross Harrison, em cujos trabalhos estão os métodos em “cultivar tecidos<sup>6</sup> fora do corpo, dando primeiro passo às pesquisas com células troncos”; como naturalista, ele faz o comentário de que “cada embriologista experimental deve conhecer todo reino animal completamente uma vez que estes organismos compõem as ferramentas de investigação para o experimentalista<sup>7</sup>” (NICHOLAS, 1961) o que exprime sua ideia filosófica de visão organísmica que está longe do pensamento mecanicista da vida.

Em seus trabalhos a concepção de organização, visa “substituir a velha noção de função em fisiologia” (CAPRA, 2006, p. 39) e, “essa mudança de função para organização representa uma mudança do pensamento mecanicista para o pensamento sistêmico” (*Idem*).

A percepção das redes (teias) de relações no contexto da Biologia conduziu à idealização de “sistemas” (palavra grega<sup>8</sup> *synhistanai* que significa *colocar juntos*) que viera enaltecer a ideia de buscar o conhecimento dentro de um contexto, estabelecendo a natureza

<sup>6</sup> WIKIPÉDIA, disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ross\\_Granville\\_Harrison](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ross_Granville_Harrison)>. Acesso em 26 de ago. de 2015.

<sup>7</sup> ... “that every experimental embryologist should know the animal kingdom thoroughly since these organisms made up the tools of enquiry for the experimentalist.”, tradução livre por Mario de Souza.

<sup>8</sup> Segundo Capra (2006)

de suas relações, organizações e interações. Contudo, tal fenômeno não é exclusivo da Biologia, ele permeia todas as disciplinas do conjunto das Ciências da Natureza.

Dentro desse contexto a Física e a Biologia, também tiveram a visão científica apoiada na ideia de sistema, uma vez que o determinismo cartesiano não mais sobrevivia à Física do século XX, era necessária uma mudança de paradigma, conforme Capra (2006, p. 24).

A nova visão de realidade não era, em absoluto, fácil de ser aceita pelos físicos no começo do século. A exploração dos mundos atômicos e subatômicos colocou-os em contato com uma realidade estranha e inesperada. Em seus esforços para apreender essa nova realidade, os cientistas ficaram dolorosamente consciente de que suas concepções básicas, sua linguagem e todo o seu modo de pensar eram inadequados para descrever os fenômenos atômicos. Seus problemas não eram meramente intelectuais, mas alcançavam as proporções de uma intensa crise emocional e, poder-se-ia dizer, até mesmo existencial. Eles precisaram de um longo tempo para superar essa crise, mas, no fim, foram recompensados por profundas intuições sobre a natureza da matéria e de sua relação com a mente humana.

Ou seja, as novas percepções de visão da realidade, dentro das novas concepções para a organização do conhecimento físico, apontou para fora do determinismo, “na qual nenhuma parte é mais fundamental do que as outras” (*Idem*, p. 48), cujo princípio dessa concepção fora formulado em Física por Geoffrey Chew.

### 2.5.2 *Compreendendo a multidisciplinaridade sistêmica*

Dentro dessa visão de que o todo é mais importante que as partes é que se compreende a visão de Sistema que pode ser transferida para as disciplinas Física e Biologia. Nesse contexto a compreensão das Ciências da Natureza está anexada à visão do todo, por isso a concepção de multidisciplinaridade sistêmica, como metodologia de ensino, tem nesse aporte teórico a sustentação de que a soma das partes de Física, Química, Biologia e a Matemática, para compreensão de um princípio científico, não deve ser campo de batalha entre as disciplinas, mas a mediação contextual da visão de Sistema.

Esta concepção aqui desenhada está no princípio da não fragmentação das disciplinas e apoiada na visão de Sistema, Como diz Bertalanffy (*Apud* CAPRA, 2006, p. 55).

A teoria geral dos sistemas deveria ser ... um meio importante para controlar e estimular a transferência de princípios de um campo para outro, e não mais será necessário duplicar ou triplicar a descoberta do mesmo princípio em diferentes campos isolados um dos outros. Ao mesmo tempo, formulando critérios exatos, a teoria geral dos sistemas se protegerá contra analogias superficiais que são inúteis na ciência.

Essa compreensão de sistema é, de modo geral, a visão de Ciência do século XXI, daí o recorte aqui dado para a Física e a Biologia, assenta-se na multidisciplinaridade entre essas disciplinas, associada à visão de Sistema.

Esta proposta de multidisciplinaridade sistêmica entre a Física e a Biologia, ora arquitetada, tem em sua estrutura a “constituição de concepções organizadoras que permitam articular os domínios disciplinares em um sistema teórico comum” (MORIN, 2001, p.112) que circunstancialmente se entende como proposta de romper o isolamento disciplinar, indo além da justaposição e ligações entre as reformas disciplinares, embora, porém reforçando a ideia de complexidade enquanto princípio de uma educação científica que busca o “diálogo entre ordem, desordem e organização, para conceber na sua especificidade, em cada um de seus níveis, os fenômenos físicos, biológicos e humanos” (MORIN, 1999, p. 30).

É dentro desse espectro que se concebe a multidisciplinaridade sistêmica entre Física e Biologia, para os conteúdos da mecânica dos fluidos, relativo à hidrostática (tensão superficial e capilaridade), não como uma multiplicidade de coisas para fazer valer a concepção de Ciência Integral, mas para dar significação ao Ensino da Ciência Física e pronunciar uma aprendizagem mais efetiva, contextual e estruturada nas Ciências da Natureza,

## **2.6 A didática das Ciências e a multidisciplinaridade: rompendo obstáculos**

A didática que se abre a esse processo multidisciplinar e sistêmico, entre tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia é a Didática das Ciências, na perspectiva Astolfi, por defender um modelo pedagógico ou didático em duas vertentes: a epistemológica e psicológica. Esse fato alia-se aos princípios desse trabalho, conforme cita Astolfi (ASTOLFI e DEVALAY, 2013, p.12):

☞ de um lado, acima da reflexão pedagógica, levando em conta os conteúdos de ensino como objetos de estudos. A didática permite, então, a referência dos principais conceitos que funcionam na disciplina e análise de suas relações. Ela se interessa por sua história, suas retificações respectivas, as modalidades de sua introdução no ensino. Examina o funcionamento social desses conceitos, as práticas sociais as quais eles remetem ... As ideias de tramas conceituais, de níveis de formulação, de transposição didática, de práticas sociais de referência estão aqui presentes;

☞ e, de outro lado, abaixo, aprofundando a análise das situações de classe para melhor compreender do interior como isso funciona e o que está em jogo. O estudo das representações dos alunos, de seus modos de raciocínio e de maneira como decodificam as expectativas de ensino intervém nesse assunto. Mas também a análise do modo de intervenção do docente a fim de lhe sugerir uma gama de possibilidades e não seu fechamento numa modalidade única de intervenções.

Assim sendo, esse trabalho será norteado pela análise de situação de classe (fator máximo na relação ensino/aprendizagem no qual se insere o professor, os conteúdos de ensino e os estudantes), o estudo das representações e percepções de estudantes, a visão da decodificação de seus argumentos (falas, escritas, desenhos) buscada pelo *processo investigativo*, sobre um conteúdo de Ensino de Física, as relações sociais e culturais desse conteúdo e a visão multidisciplinar sistêmica do processo de ensino/aprendizagem que irão compor a visão da Didática das Ciências, na perspectiva de Astolfi.

Isto recai em dois princípios: a dificuldade de ensinar conceitos e a dificuldade de aprender Física, que são constantes no processo de Ensino de Física e a didática das Ciências, aqui desenhada, tem, como princípio, o papel da possibilidade de romper esses obstáculos.

## **2.7 O Modelo Mental e a multidisciplinaridade sistêmica: um pensar/agir.**

Quando se concebe o Homem, entende-se o mesmo organizado no espaço-tempo; não num específico espaço e num específico tempo, mas nas dimensões gêmeas desta conexão para a localização desse Homem como identidade terrena; esta localização espacial-temporal dá ao Homem um posicionamento, a idealização e um referencial de ser social; mas isto não o inclui na categoria de Ser pensante; revela-se desse modo, a necessidade da natureza do pensar/agir, que surge na urgência da criação de códigos (linguagem), e seus modos de vida na condição de ser gregário e da natureza da existência duma consciência humana. Isto gera o social multifacetado que se matura na diversidade cultural e define o espaço multidimensional de inserção de representação humana, que dentre desses espaços ora citado, está também, o de compreensão científica e o educacional. É uma das condições da natureza humana.

Junto ao desenvolvimento social, o cerebral teve desenvolvimento inicial em ações (fazer) de desenvolvimento na habilidade centrada nos órgãos sensoriais que evocou para sons/ruídos e o nascer da “linguagem natural” na percepção/relação do espacial/temporal com a criação de signos e significação dada a esses signos, fato citado por Berkeley que “comparou o desenvolvimento da percepção do espaço com a linguagem. [e] no seu entender, a intuição espacial somente pode ser adquirida e consolidada através de uma espécie de linguagem natural, ou seja, uma relação estável entre signos e significações” (*Apud*, CASSIRER. 2001 p. 53).

Esta ação (percepção do espaço-tempo e desenvolvimento da cognição) possivelmente acomodou (no sentido de acumular, guardar e gerir), informações na memória, pois “a

memória humana armazena uma grande quantidade de conhecimentos, uma infinidade de conceitos semânticos, entre os quais se encontram, por exemplo, conceitos sobre o mundo físico e o social e também os significados das palavras” (GARCIA *In* MORENO, 1999, p. 62). Nesse sentido é que se tece um olhar para a Educação Científica.

Assim, em sua evolução genética a criação de formas simbólicas, está interiorizada no processo de aprendizagem humana; uma vez que “alguns desses códigos são congênitos ou geneticamente determinados; outros são estabelecidos pela aprendizagem” (SZAMOSI, 1988, p. 31) logo, a criação de códigos estabelecida na aprendizagem de Física no contexto da Biologia, liga-se aos modelos mentais, caminho didático para compreender significações conceituais sobre princípios da mecânica dos fluidos (tensão superficial e capilaridade) com uso de processos investigativos em conjunto com a metodologia multidisciplinar sistêmica, para identificar como estudantes de Ensino Médio associam a compreensão desses conceitos físicos no contexto da Biologia tendo como princípio básico a natureza e a vida.

Nesse sentido assenta-se, como primeiro princípio, a idealização de que a construção de modelização mental é um processo complexo que se manifesta no interior de um processo cognitivo (consciência), concatenada com linguagens as quais se liga à aprendizagem; esse fato denota a importância com que se inscreve a linguagem aos modelos mentais já que esta se manifesta na consciência e, desse modo, as escritas e as falas são base como meios de verificar essas manifestações na modelização que estudantes farão com seus pensamentos e *insights* conceituais sobre o objeto físico de estudo, tomado em síntese de suas escritas (linguagens modeladas mentalmente em seus discursos) nas tarefas propostas e em suas falas no processo investigativo (argumentativos), quer seja ele no discernimento experimental ou de cunho conceitual, pois isto afeta a atividade mental na busca de significação.

Como a evolução cerebral é a complexidade que se esmera na atividade neural e está interior ao elemento físico cérebro, que opera com redes de impulsos elétricos superpostos, de tal modo que estas ações em redes elevam a atividade humana para processos complexos, dentro dos quais se inclui os processos de aprendizagem, Nesse sentido se faz compreender e conceber o cérebro na perspectiva de Nussenzveig, *et. al.* (2003, p. 9-10).

O sistema mais complexo conhecido. O papel central nele é desempenhado por uma rede de neurônios (células nervosas) interligados... A sinalização, sob a forma de pulsos elétricos, propaga-se pelos “fios” da rede (dendritos dos neurônios) e é transmitida de um neurônio a outros, ao longo de seu axônio e através de conexões chamadas de sinapse... Dependendo de um balanço dos sinais que recebe, um neurônio pode disparar ou não disparar, ou seja, emitir um pulso; os sinais podem excitar ou inibir a emissão. A superposição de todos esses sinais constitui a atividade cerebral, que se reflete e ao mesmo

tempo comanda a interação com o meio ambiente, nele incluído o resto do organismo.

Toda essa estrutura mecânica de compreensão do cérebro justifica o uso dos Modelos Mentais para, possivelmente, entender como se processa a acomodação de conceitos (cognição), através da linguagem; pois, segundo Simon e Kaplan, “apesar das dificuldades, a análise de protocolos, o uso de informações verbais [fala] do sujeito como fonte de dados tem sido, provavelmente, a técnica mais usada para investigar a cognição humana” (*Apud*. MOREIRA, 2002, p. 16 de 36). Nesse sentido, a análise que será feita nesse trabalho ocorre junto ao processo investigativo para a compreensão de Modelos Mentais, mediados junto à multidisciplinaridade sistêmica entre Física e Biologia.

Esse papel de mediação foi proposto por Johnson-Laird que mostra a função da linguagem como mediação de construção dos Modelos Mentais, os quais se pronunciam com relevância na criação das imagens (representação mental) através do domínio do discurso (linguagem) e/ou da escrita, Na visão de Nörh, (1995, p. 137-138),

a representação mental inicial de um enunciado que está próximo de sua forma linguística é usada para construir um modelo do estado de coisa que é descrito [...]. O processo é guiado por um conhecimento da contribuição para as condições de verdade produzidas pelas palavras no enunciado, por um conhecimento de como combinar significados de acordo com a sintaxe [...] por um conhecimento do contexto [...] e pelo conhecimento geral do domínio das convenções do discurso.

Consoante Johnson-Laird (*Idem*, p. 153), representações mentais são “percepções, ideias, imagens, crenças, hipóteses, pensamentos e memórias”. São estas percepções que estudantes produzem em sala de aula com seus *insights*. É dentro dessa perspectiva que se vislumbra a possibilidade de verificar a criação de significação do que se aprende, embora sabendo que isso possa ser passageiro, se o estudante não se libertar, de fato, de crenças e imagens construídas em sua história de vida. Pode-se até pensar no fato de coabitar em duas ou mais significações para ele, ainda no processo de aprendizagem, pois a criação de linguagem e o papel do professor de mediar à formação simbólica não são processos imediatos e mecânicos. Há um vasto caminho entre o pensar/agir para a criação de significações coerentes com a formação científica, na aprendizagem da Física, mesmo numa metodologia multidisciplinar sistêmica entre Física e Biologia.

Sendo assim, professores podem perceber que as percepções estão dentro do papel de construção de códigos (símbolos), na formação de linguagem para exprimir imagens, para dar significação aos seus *insights* (modelos) daquilo em que se está buscando compreensão está

não somente na forma genética (evolução biológica), mas também na aprendizagem (evolução sociocultural). Estas características e capacidades estão centradas no cérebro humano e nas ações sociais, ao mesmo tempo em que essas representações que são elementos imateriais se corporificam na natureza existencial humana da aprendizagem.

Logo a criação de significação na aprendizagem não está só ligada às metodologias de ensino, há componentes interiores naquele que está aberto a aprender enquanto indivíduo que tem em sua história de vida, além do interesse, a capacidade mental e de memória para processar a aprendizagem. E esses processos se atrelam à multidisciplinaridade sistêmica.

Nesse espectro, há “três fatores básicos no estabelecimento da aprendizagem e memória [os quais são] a aquisição, o armazenamento ou retenção e a evocação de informações. Esses processos, em conjunto, conferem ao indivíduo os requisitos mínimos para sua adaptação no meio em que vive (BRANDÃO, p. 99)”. Justifica-se, dentre esses, o papel da memória na aprendizagem (evolução sociocultural) como retenção de conhecimento que urge no processo da aprendizagem com a aquisição de “novos conhecimentos” no (e sobre o) meio, resultado de experiências novas que vão se acomodar na memória e servirão de base na construção de representações mentais. Esse é um fator que conduz ao estabelecimento de que estudantes poderão construir suas representações mentais (internas) e estabelecer relações no sentido sociocultural e de aprendizagem, num processo de redes de interações de fabricações de *insights*, enquanto processo de aprendizagem.

Por isso é possível no estudante coabitar dois ou mais olhares sobre um fenômeno, de modo que, em suas percepções, busque processar as informações em suas histórias de vida e de aprendizagem até conseguir (ou não) dar significado (representações) àquilo que foi (ou estar sendo) construído num processo de ensino formal, ou informal.

Ao falar de representações mentais e redes de interações para a fabricação de *insights* isto se refere à possibilidade de estudantes poderem relacionar, mesmo que de forma elementar<sup>9</sup> o mundo representado e o mundo representante, que se estrutura na aprendizagem (linguagens e visões de mundo) e vão se armazenado em suas memórias as quais vão se reelaborando, no sentido de buscar significações ou até mesmo, de poder coabitar em situações conflitantes, antes de terem linguagem apropriada para falar de suas representações do mundo físico, e dar sentido quando, de fato, em suas representações, rompendo com suas anomalias representativas e apresentando interpretação coerente no indivíduo que interpreta o obstáculo epistemológico, finalizando com o que se compreende por aprendizagem.

---

<sup>9</sup> Sem a conotação fabricada pelos cientistas em academias, pois a exigência desta conotação será uma aberração didática para com as metodologias de ensino, uma vez que cientistas e estudantes têm perspectivas diferentes.

Assim, com base na ciência cognitiva onde a idealização de representação está presente para dar significado à aprendizagem com significação, faz-se necessário compreender o significado de representação, consoante Palmer o qual diz (*Apud*, NÖRH, 1995, p. 135-136).

Uma representação é primeiro e antes de mais nada, algo que está no lugar de outra coisa. Em outras palavras, é algum tipo de modelo da coisa (ou coisas) que ela representa. Esta descrição implica a existência de dois mundos relacionados, mas funcionalmente separados: o mundo representado e o mundo representante. A função do mundo representante é refletir alguns aspectos do mundo representado de alguma maneira. Nem todos os aspectos do mundo representado precisam ser modelados, nem todos os aspectos do mundo representante precisam modelar um aspecto do mundo representado. No entanto, deverá haver alguns aspectos correspondentes se um mundo representar o outro.

Esta evidência se pronunciará no ato de verificar em estudantes da Educação Básica, suas visões de mundo representante e o mundo representado, usando a linguagem para exprimir imagens construídas mentalmente no processo de resolução das tarefas propostas, buscando suas modelizações mentais sobre o conceito de tensão superficial e capilaridade na condução da metodologia multidisciplinar sistêmica no contexto da Biologia, e nos processos investigativos de fabricar nas falas e escritas suas significações, representações e comunicações desses conteúdos físicos no contexto da Biologia, criando imagens do objeto físico tensão superficial e capilaridade, na visão sistêmica de Ciências da Natureza.

Isto é interessante, pois a compreensão da criação de imagem do objeto estudado não mais representa uma semelhança, de fato, entre imagem e a coisa pensada, mas uma relação lógica (argumentos com proposições bem definidas) que deve permear os conceitos básicos do conhecimento físico tensão superficial e capilaridade.

Esse tem sido um dos problemas na aprendizagem de conceitos físicos que em sua natureza exige a reprodução da linguagem simbólica muito acurada, junto a um corpo teórico. Esse fato vem com o processo de modelização Matemática que tem em Galileu seus fundamentos. Sendo assim, criar significações num conceito físico e dar a este conceito uma representação de caráter simbólico, e isso é um processo instrumental difícil. A esse respeito Cassier (2001, p.14) afirma que

conceitos fundamentais de toda e qualquer ciência, os meios pelos quais propõe as suas questões e formula as suas soluções não mais se apresentam como reproduções de um dado ser, e sim como símbolos intelectuais por ela mesmos criados. Foi sobre tudo o conhecimento físico-matemático que cedo teve nítida consciência deste caráter simbólico de seus instrumentos fundamentais..

Torna-se assim, importante a verificação da criação de códigos na construção das imagens na modelização do conceito de tensão superficial e capilaridade, na representação dos estudantes que estará no limiar do mundo representado e do mundo representante; sendo a representação conceito oriunda dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, as quais podem ser de dois tipos, de acordo com Eisenick e Klane (*Apud*, MOREIRA, 1999, p. 181).

Representações externas que são as representações pictóricas ou diagramáticas e as que fazem uso de palavras ou outras notações simbólicas; Representações internas ou Representações mentais são maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais.

As representações internas são divididas em duas classes: analógicas e proposicionais, assim distinguidas por esses mesmos autores (p. 182).

Representações analógicas são não-discretas (não-individuais), organizadas por meio de regras frouxas de combinação, concreta (representam entidades particulares do mundo exterior) e específica da modalidade por meio da qual a informação é recebida. Representações proporcionais são por sua vez, mas abstratas; são “tipo-linguagem”, no sentido de que captam os conceitos subjacentes a uma situação, não porque sejam necessariamente constituídas de palavras. Uma fórmula matemática, por exemplo, é uma representação proposicional.

Tal processo se avizinha da compreensão de duas perspectivas de modelos, as quais são os Modelos Mentais (consciência) e os modelos conceituais (instrumentos para o ensino). Todavia, mas, embora exista o paralelo faz-se necessário entender que os modelos conceituais ajudam<sup>10</sup> a compreender os Modelos Mentais. Conforme Moreira (1999, p.195)

O professor ensina modelos conceituais – que são representações precisas, consistentes e completas de estados de coisas do mundo, projetadas para facilitar seu entendimento e ensino – e espera que o aluno construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais. Os modelos conceituais são instrumentais: a mente humana opera só com modelos mentais, mas modelos conceituais podem ajudar na construção de modelos mentais que explicam e predizem consistentemente com o conhecimento aceito em certa área.

Essa diferença entre modelos conceituais e mentais é salutar, pois, nesse trabalho, propõe-se um estudo centrado nos modelos mentais, enquanto os modelos conceituais entram nessa análise por estarem intimamente ligados a processos de modelização mental para com

---

<sup>10</sup> Nesse trabalho, a Biologia entra no contexto físico para que o professor de Física possa dar ênfase à construção dos modelos conceituais. Esse é o princípio de multidisciplinaridade sistêmica, enquanto metodologia de ensino.

conceitos físicos de tensão superficial e capilaridade. Segundo Johnson-Laird (*Apud*, MOREIRA, 2002, p. 4 de 36).

O modelo mental de um conceito deve ser capaz de representar tanto o essencial como a amplitude de um conceito. O núcleo do modelo representa o essencial do conceito, ou seja, as propriedades características do estado de coisas que ele descreve, os procedimentos de gestão do modelo definem a amplitude desse conceito, isto é, o conjunto de estado de coisas possíveis que o conceito descreve.

Isso revela a importância do tratamento aos modelos mentais para esta pesquisa, onde o discurso, aqui é entendido como criação de códigos dentro de uma estrutura linguística usada pelos estudantes; assim, a invenção do texto (respostas dadas pelos estudantes) serve de base para compreensão de como eles constroem (no sentido de descrever o estado da coisa Física, com suas percepções) o conceito de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, uma vez que, a respeito de percepção, Johnson-Laird (*Apud*, MOREIRA, 1999, p. 189), opina que:

a percepção é a fonte primária de modelos mentais cinemáticos tridimensionais do mundo. No entanto, modelos mentais podem ter outras formas e servir para outras coisas, em particular, para interpretar o discurso linguístico e para fazer interferências. Isso significa que modelos mentais podem ser construídos também a partir do discurso para interpretar o estado de coisas que ele descreve, o qual pode ser fictício ou imaginário.

Entende-se esse primeiro estágio de desenvolvimento e externalização da modelização dos conceitos físicos que o papel da percepção é preponderante. Assim, compreende-se que o estudante, para apresentar criação de significações para o objeto físico tensão superficial e capilaridade, faz-se necessário apresentar o referido elemento<sup>11</sup> dentro do contexto da Biologia, como referência necessária para a busca interpretativa do que ele modela, em seus discursos linguísticos<sup>12</sup>.

Esse fato evidencia a importância do estudante possuir linguagem (signos) no momento de externalizar (descrever com suas falas e/ou escritas) suas percepções acerca da construção de suas modelizações sobre o objeto físico tensão superficial e capilaridade, dentro da metodologia multidisciplinar sistêmica, enquanto processo de aprendizagem e forma de buscar significações naquilo que representa e comunica sobre conceitos físicos no contexto da Biologia, construindo percepções e externalizando seus modelos de construção conceitual.

<sup>11</sup> Aqui, tensão superficial e capilaridade.

<sup>12</sup> Este é um dos papéis do professor na condução de construção do conceito físico usando o contexto da Biologia, numa metodologia de ensino multidisciplinar e sistêmica.

### 2.7.1 *Os princípios dos Modelos Mentais de Johnson-Laird*

A base dos princípios dos Modelos Mentais na perspectiva de Johnson-Laird formam o corpo de elementos que têm sustentação para dar significação à sua teoria.

A consagração desse modelo assenta-se em nove princípios que governam esta teoria, assim definidos em Moreira (1999, p. 189-191).

1. Princípio da computabilidade: modelos mentais são computáveis, devem poder ser descritos na forma de procedimentos efetivos que possam ser executados por uma máquina. Este vínculo vem do “núcleo duro” da Psicologia Cognitiva, que supõe a mente como um sistema de cômputo.
2. Princípio da finitude: modelos mentais são finitos em tamanhos e não podem representar diretamente um domínio infinito. Este vínculo decorre da premissa de que o cérebro é um organismo finito.
3. Princípio do construtivismo: modelos mentais são construídos a partir de alguns elementos básicos (tokens) organizados em certa estrutura para representar um estado de coisas. Este terceiro vínculo resulta da própria função primordial dos modelos mentais, que é a de representar estados de coisas: como existe um número potencialmente infinito de estado de coisas que poderiam ser representados, mas apenas um mecanismo finito para construí-los, resulta que os modelos devem ser construídos a partir de constituintes básicos.
4. Princípio da economia: uma descrição de um estado de coisas é representada por um só modelo mental, mesmo se a descrição é incompleta ou indeterminada. Um único modelo mental pode representar uma quantidade infinita de possíveis estados de coisas, porque esse modelo pode ser revisado recursivamente. Cada nova asserção (token) pode implicar revisão de modelo para acomodá-la.
5. Princípio da não-indeterminação: modelos mentais podem representar indeterminações diretamente, se e somente se, seu uso não for computacionalmente intratável, i.e., se não existir um crescimento exponencial em complexidade. Este vínculo parece ser um corolário do primeiro e do anterior: se trata de acomodar cada vez mais indeterminações em um modelo mental, isto levará rapidamente a um crescimento intratável do número de possíveis interpretações do modelo que, na prática, deixará de ser um modelo mental.
6. Princípio da predicabilidade: um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos qual outro predicado é aplicável, mas eles não podem ter âmbitos de aplicação que não se interceptam. Por exemplo, os predicados “animado” e “humano” são aplicáveis a certas coisas em comum, “animado” aplica-se a algumas coisas às quais “humano” se aplica, mas não existe nada a que “humano” se aplique e “animado” não. Para Johnson-Laird, a virtude deste vínculo é que ele permite identificar um conceito artificial ou não-natural. Um conceito que fosse definido por predicados que não tivesse nada em comum violaria o vínculo da predicabilidade, e não estaria, normalmente, representado em modelos mentais.

7. Princípio do inatismo: todos os primitivos conceitos são inatos. Primitivos conceituais subjazem a nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias cognitivas, enfim, nossa capacidade de representar o mundo. Indefinibilidade é uma condição suficiente, mas não necessária, para identificar conceitos primitivos. Movimento, por exemplo, é uma palavra que corresponde a um primitivo conceitual e que pode ser definida.

8. Existe um número finito de primitivos conceituais que dá origem a um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos, ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico e serve para construir conceitos mais complexos, a partir dos primitivos subjacentes. Um campo semântico se reflete no léxico por um grande número de palavras que compartilham no núcleo de seus significados num conceito comum. Por exemplo, verbos associados à percepção visual, como avistar, olhar, espiar, escrutinar e observar compartilham um núcleo subjacente que corresponde ao conceito de ver. Operadores semânticos incluem os conceitos de tempo, espaço, possibilidade, permissibilidade, causa e intenção. Por exemplo, as pessoas olham alguma coisa, elas focalizam seus olhos durante certo intervalo de tempo com a intenção de ver o que acontece. Os campos semânticos nos provêm de nossa concepção sobre o que existe no mundo, sobre o mobiliário do mundo, enquanto os operadores semânticos nos proveem de nossos conceitos sobre várias relações que podem ser inerentes a esses objetos.

9. Princípio da identidade estrutural: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou concebidos, que os modelos representam. Este vínculo decorre, em parte, da ideia de que as representações mentais devem ser econômicas e, portanto, cada elemento de um modelo mental, incluindo suas relações estruturais, deve ter um papel simbólico. Não deve haver na estrutura do modelo nenhum aspecto sem função ou significado.

Entende-se que alguns desses princípios estão fortemente presentes como se fossem o núcleo forte, e outras se fazem redundante, embora não menos significante, neste trabalho.

O princípio da economia está presente, pois é a descrição do estado de coisas, e que pode ser completa ou não, como deve ocorrer nas elaborações dos estudantes sobre os conceitos dos elementos físicos trabalhados nas tarefas ou em argumentações do processo investigativo, usado junto com elementos da Biologia, na tensão superficial e na capilaridade.

O princípio da predicabilidade se atrela à semântica e, por consequência, aos códigos; além de ocorrer o fato de existir um número finito de primitivos conceituais que estão na formação de campos semânticos e são oriundos das concepções de que os estudantes têm sobre a existência no mundo desses conceitos físicos. Esse princípio é analisado em conjunto com o princípio da economia, pois palavras, que exprimem um conceito, é um construto mental. Isso é importante no Ensino de Física.

Os princípios de computabilidade e finitude são bem assentados na teoria dos modelos mentais; e fazem parte de pesquisas em que se usa a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.

A investigação de construção do Modelo Mental para tensão superficial e capilaridade, no contexto da Biologia enquanto multidisciplinaridade sistêmica, não terá a verificação ponto a ponto dos nove princípios deste modelo, mas na identificação de como as argumentações (falas, escritas, desenhos) dos estudantes apresentam-se dentro de contextos estruturais do referido Modelo Mental.

Nesse momento é necessário compreender que os modelos mentais estão assentados na visão do estruturalismo, corrente filosófica pertinente às Ciências Humanas que se opunha à corrente fenomenológica própria das Ciências da Natureza.

Sendo assim, esse modelo tem construção num processo de interrelações, baseado em princípios estruturalistas e, desse modo, entende-se que este seja um cuidado que deve ser vigilante nos professores<sup>13</sup> enquanto análises linguísticas e de outros processos de aprendizagem em momentos ímpares entre professor e estudantes, uma vez que a aprendizagem não é estruturalista.

É nesse contexto que entram os *processos investigativos* como forma de evitar o engessamento de análises numa única estrutura, a fim de possibilitar o contexto da argumentação de estudantes dentro do princípio da didática das Ciências e aos Modelos Mentais, com vistas a compreender a aprendizagem. Com esta visão, busca-se no professor de Física a compreensão de que a aprendizagem não é linear e, portanto, não é estrutural, embora haja um referencial teórico a seguir, que é estruturalista.

---

<sup>13</sup> Como também pesquisadores do ensino e da aprendizagem.

### Capítulo 3. METODOLOGIA

No momento se faz necessário explicitar que esse trabalho tem como finalidade um produto de ensino para a Física (Apêndice A), segundo orientação técnica do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) para o Ensino Médio, que é um programa de Pós-Graduação, da Sociedade Brasileira de Física (SBF), sob Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Esta realidade de pesquisa no ensino se estabelece na CAPES, embora esse órgão tenha origem de ação no Ensino Superior, mas, a partir de dezembro de 2007, segundo Angotti (2012, p. 319), ele também passa a ter responsabilidade com a Educação Básica, nível de Ensino Médio, artigo 2º, a Lei nº 11.502 de 11 de julho de 2007 onde se registra que

a CAPES tem por finalidade subsidiar o Ministério da Educação na formulação de políticas e desenvolvimento de atividade superior à formação de profissionais de magistério para a educação básica e superior para o desenvolvimento científico e tecnológico do país (*Idem*).

Neste contexto esse trabalho atrela-se, segundo a CAPES, à área do conhecimento Ciências Exatas e da Terra. Interior à subdivisão Ensino de Ciências, com área de avaliação classificada como Áreas Clássicas de Fenomenologia e Suas Aplicações, no escopo da vertente Ensino, aqui tratada como Ensino Médio tendo como estratégia de natureza educacional a Multidisciplinaridade Sistêmica entre Física e Biologia, para com os conteúdos tensão superficial e capilaridade, como marco teórico da Física junto ao contexto da Biologia.

#### 3.1 O método como caminho metodológico

Dissecando a estrutura metodológica da pesquisa traçaram-se, num primeiro momento, as faces e lugar do corpo da dissertação, cujo fluir está na compreensão do caminho enquanto estrutura de produção do conhecimento do tema que se origina no problema: *a multidisciplinaridade entre Física, e Biologia como visão da Educação Científica Sistêmica, estruturada na didática das Ciências de Astolfi, nos modelos mentais de Johnson-Laird e nos processos investigativos é possível de promover aprendizagem de Física para Tensão Superficial e Capilaridade?*

Embora seja uma pesquisa em ensino, a aprendizagem tem lugar natural uma vez que o processo de ensino não é dissociado do processo da aprendizagem, por isso, a questão onde

se origina o problema de pesquisa tem foco numa metodologia de ensino (multidisciplinar e sistêmica), porém, com vistas à aprendizagem de conceitos físicos ligados à tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia. Embora, se saiba, como diz Moreira (2011, p. 15) à “aprendizagem é uma atividade idiossincrática que pode não ser consequência necessária do ensino recebido”, mas pode ter referência na experiência de vida e no desejo do aprendiz.

Neste aporte teórico, o caminho delineado nessa estrutura metodológica é o de verificar a aprendizagem de conceitos físicos, quando estes forem ministrados dentro da compreensão Física e no contexto da Biologia, ou responder à questão: a até que ponto o ensino de Física no contexto da Biologia, é responsável por uma qualidade na aprendizagem? Isto é a hipótese a ser verificada na pesquisa, como também, através da opinião de estudantes.

Embora esse afunilamento seja necessário no contexto do desenho desta pesquisa, faz-se saber que tal atitude não elimina o fato de que o ensino se dá numa macroestrutura, que envolve fatores como corpo de alunos, professores e gestores educacionais, como também, a cultura, situação econômica, currículo, obstáculos epistemológicos, saber/fazer do professor, processo avaliativo e projetos escolares, e que estes fatores podem influenciar no *modus operandi* do professor em ação, o que caracteriza um construto e não uma determinação.

Assim, o método como caminho metodológico é condição de necessidade, mas não é condição de suficiência para a compreensão de um processo de ensino como um todo. Daí, a conjectura de um sistema de apoio para alicerçar a arquitetura metodológica de modo a tecer um olhar no fenômeno de interesse dessa pesquisa, com instrumentos de busca de dados que forneça viabilidade e confiança no questionamento que lhes dá origem.

### **3.2 O contexto metodológico**

O trabalho metodológico desta pesquisa está na aplicação de questionários como instrumento de busca de dados. Isto quer dizer que, o grupo investigado não foi testado mais de uma vez, ou seja, que nesta pesquisa não foi usada a estatística inferencial.

A compreensão anterior dá um mote a esta pesquisa na qualidade essencial de ser qualitativa. Desse modo, a estatística é descritiva, no sentido de que seu uso está para descrever objetos de interesse dentro de um conjunto de dados.

O termo aqui designado para o processo metodológico desta pesquisa, como pesquisa qualitativa, para o Ensino de Física num processo da metodologia multidisciplinar sistêmica é descritivo e analítico, embora se tenha no contexto metodológico o viés da estatística descritiva enquanto apresentação de dados para análises e reflexões acerca dos mesmos.

Isto porque este fato está na abordagem de envolvimento cognitivo, de natureza humana (percepções, *insights*, descrições, representações e atitudes), interpretativa (procedimentos, habilidades e construções conceituais), participativa (argumentações e o refazer de percepções nas construções conceituais), como também colaborativa (conjunto de ideias apontando para mediar proposições de um conteúdo físico de estudo).

Nesse processo, o professor/pesquisador dá conotação interpretativa de todas essas significações relacionais das ações dos estudantes, na elaboração de seus argumentos interpretativos da Física nos conteúdos de tensão superficial e capilaridade com interpretações que estão no interior dos contextos da Física, da Biologia, do Social e dos conhecimentos prévios que esses estudantes trazem em sua bagagem de vida, mesmo que de forma tosca.

Sendo assim, nos questionários estão as análises e reflexões, centradas no enfoque da interpretação de dados no domínio metodológico da pesquisa qualitativa, sob o domínio das interpretações de significados de estudantes no contexto analítico do professor, na prática de ensino e alicerçado na teoria da didática e de da aprendizagem que envolve esta pesquisa.

### **3.3 Procedimentos de coleta de dados**

Aqui se desencadeiam os procedimentos de coletas de dados que armazenam diversificadas formas a serem vivenciadas: eventos de aulas e questionários. Os questionários foram respondidos individualmente e, na sua maioria, em ambientes fora da sala de aula.

No contexto dos questionários, há exigência de respostas com respeito à compreensão dos conteúdos de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

No ministério de duas aulas (190 minutos), discute-se com os estudantes sobre os conteúdos: tensão superficial e capilaridade junto ao contexto da Biologia, verificando como eles representam suas ideias, *insights* e percepções de Modelos Mentais, cedendo argumentos teóricos que irão ou poderão vislumbrar conceitos articulados entre a Física e a Biologia.

### **3.4 Tipos de pesquisa**

Se esta pesquisa tem particularidade metodológica multidisciplinar sistêmica e como propriedades essenciais de interesse para o estudo qualitativo, então existe a particularização da mecânica dos fluidos (tensão superficial e capilaridade) no contexto da Biologia, no Ensino Médio, como uma situação a ser vivenciada num programa de Ensino da Física.

Nessa leitura, é possível identificar que as características dos conteúdos de tensão superficial e capilaridade estão inseridas no contexto da Física Clássica e, no momento em que é aplicada na sala de aula, a multidisciplinaridade entre Física e Biologia é requerida, mas, dentro do sistema das Ciências da Natureza. Isto requer que a compreensão das partes esteja ligada a compreensão das inter-relações no sistema de ciências da natureza, na didática das Ciências e junto à teoria de aprendizagem. Tais relações interdependentes conduzem ao tipo de pesquisa denominada de *estudo de caso*.

Como esta pesquisa é qualitativa, outro aporte teórico se faz presente em seu contexto, que é a pesquisa (método) *fenomenológica*, partindo-se do princípio de que a representação da realidade dissertativa está na condução de interpretação (não única) da experiência vivenciada e descrita como ela se apresenta nos instrumentos de avaliação desse trabalho, de forma a produzir uma interpretação sobre o objeto de pesquisa como realidade analítica do fenômeno.

### **3.5 Elementos da pesquisa metodológica**

Já se conhece a face metodológica de acordo com os princípios que norteiam os órgãos de fomento à pesquisa (CAPES, SBF, MNPEF), a questão de interesse a ser pesquisada junto aos conceitos chaves nela contida, a metodologia aplicada (qualitativa) e a hipótese a ser verificada (se há ou não aprendizagem de conceitos físicos junto aos contextos da Biologia).

Este é o desenho estrutural do processo de construção da produção do conhecimento, sobre o Ensino de Física na perspectiva da multidisciplinaridade sistêmica para os conteúdos tensão superficial, capilaridade no contexto da Biologia, no Ensino Médio.

Esta é a primeira vertente de elementos estruturantes da pesquisa metodológica, para o caminho da construção do texto dissertativo, consoante com o desenho aqui configurado.

A outra vertente se dá no processo de como obter respostas (questionários) de modo a desenhar a fase interpretativa dos dados, com vistas a validar todo o processo pesquisado no contexto desse trabalho. Com igual valor os eventos de sala de aula ou *eventos em aulas*.

Essas duas vertentes, caracterizadas pelos cinco elementos (face dissertativa, questões de interesse, conceitos chaves, respostas obtidas e validade no discurso interpretativo), irão conduzir este processo metodológico à construção da produção do conhecimento.

Para buscar a segunda vertente aqui desenhada, assenta-se a pesquisa na sala de aula da disciplina Física Aplicada à Biologia, numa turma do primeiro período de Licenciatura em Ciências Biológicas de 2016, na Universidade de Pernambuco, Campus Mata Norte (Nazaré

da Mata em Pernambuco, Brasil), onde a disciplina foi ministrada pelos professores: Gerson Henrique da Silva (professor adjunto dessa instituição superior de ensino) e Mario de Souza.

Os atores do processo são os 41 estudantes da referida turma, sendo 14 masculinos (34,1 %) e 27 femininos (65,9 %). Essa é a população estatística. Faz-se saber que, embora o trabalho de pesquisa de campo seja feito com estudantes universitários, esses estudantes ainda têm estrutura cognitiva centrada na Educação Básica.

Como então produzir uma amostra? A ideia básica é a de não trabalhar com todos os estudantes, mas com um grupo deles, ou seja, com uma amostra.

Para tirar a amostra foram enumerados, os estudantes de 01 a 46, e depois separados em 9 grupos: de 01 a 20, quatro grupos de 5 estudantes; de 21 a 26, um grupo de 6 estudantes; de 27 a 46, mais quatro grupos de 5 estudantes. Foram retirados 2 estudantes de cada grupo de 5 (40%), e 3 estudantes do único grupo de 6 estudantes (50%) para compor a amostra

Uma vez que os estudantes foram convidados a participar por livre vontade, isto levou a não participação dos 41 estudantes da turma. Mesmo assim, houve grupos de 5 estudantes com mais de 2 deles participando.

Por ocorrer esse fato, criou-se o critério de, no caso haver 3 estudantes, retira-se o de maior idade. Se, dentre os três, houver igualdade nas idades, fica o que estiver com número de ordem menor. Se dentre os três houver dois de idades iguais escolhe-se um deles, ou seja, fica o que estiver com número de ordem menor (para duas ideias de idades diferentes). Sendo assim, a amostra constitui de 16 estudantes, sendo 12,2 % de masculinos e 26,8 % de femininos.

Para proceder nas análises e reflexões das respostas dadas, analisaram-se os protocolos dos estudantes, representados pela letra E, seguida de um número, por exemplo, E – 50. A letra E designa Estudante, enquanto o número foi colocado aleatoriamente, de modo que o estudante pesquisado não identificasse na pesquisa. Isto se caso fosse colocado texto de estudantes para dar melhor qualidade de análise.

A ideia era numerá-los no protocolo sem conduzir ordem alfabética, ordem de entrega ou qualquer outra ordem conhecida deles. Isto porque, um determinado protocolo, foi para acompanhar todas as suas respostas. Assim, um aluno hipotético X teve protocolo E – 50. Isso significa que esse aluno terá essa identificação em todas as suas atividades, durante a pesquisa. Assim, a amostra é estratificada. E não sendo uma amostra aleatória, isto oferece uma maior significação para a análise e interpretação da mesma.

### 3.6 Elementos de busca de dados

Os elementos processuais de busca de dados, ou instrumentos de medida, serão formados por *questionários* e *eventos em aulas*.

Os *eventos em aulas* formam a análise e reflexão de como se dão as representações do conhecimento físico da tensão superficial e capilaridade, vendo como esse conhecimento se junta ao contexto da Biologia. Esse é também o mesmo fato para o caso dos questionários.

Na aula, os registros dos eventos ocorridos no processo de ensino estão nos processos investigativos e sendo analisados dentro da perspectiva argumentativa de estudantes, em suas percepções na metodologia multidisciplinar e sistêmica, que não se estabeleceu unicamente dentro do contexto científicos<sup>14</sup>, mas, também como isso está disseminado no contexto social e cultural dos estudantes, como afirma Moreira (2011, p. 16) “o que acontece na sala de aula é influenciado pelo que acontece em outros níveis de organização social e cultural” e, este é um dos princípios envolvidos nesse trabalho.

#### 3.6.1 Questionários como registro de eventos nesta pesquisa

Por ser um trabalho realizado com uma amostra de 16 estudantes, a análise de forma individual será extensa e poderá não apresentar confortável leitura. Diante disso, a proposta é proporcionar categorias de análises, compreendidas em número de 4<sup>15</sup>: Muito Crítico (MC), Crítico (CR), Intermediário (IT) e Adequado (AD), atribuindo-se<sup>16</sup> os pontos 1, 2, 3 e 4 para cada categoria designada, MC, CR, IT e AD, respectivamente<sup>17</sup>. Para compreender essas categorias, levanta-se uma tabela de competências e habilidades para todos os estágios indexados nessas mesmas categorias, aqui estruturados para a 3ª série do Ensino Médio, embora a pesquisa tenha sido feita com estudantes do primeiro período do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, o que representa estudantes oriundos do final da 3ª série do Ensino Médio.

Dessa forma, cuidados especiais foram tratados no contexto da elaboração desses questionários, levando-se em conta o modo de referendar confiabilidade nos valores medidos,

<sup>14</sup> Análise da Física pela Física, mas tecer um olhar nas falas de estudantes dentro da contextualização e das argumentações dos mesmos, segundo suas percepções e *insight*.

<sup>15</sup> Qualidade na Educação: uma nova leitura do desempenho dos estudantes da 3ª série do Ensino Médio. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade\\_educacao.pdf](http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade_educacao.pdf)>. Acesso em 06 de mai. de 2016. Embora esse endereço eletrônico já fosse do conhecimento do autor desde 2004.

<sup>16</sup> Por Mario de Souza.

<sup>17</sup> Ver tabela 3.1.

evitando informações distorcidas, pois essa finalidade é o caminho para justificar a validade da análise e reflexões no âmbito da pesquisa qualitativa, dentro do espectro de estudo de caso e da fenomenografia, para esta pesquisa.

Tabela 3.1. Competências e habilidades

ESTÁGIO	SIGLA	P	HABILIDADES / COMPETÊNCIAS
Muito Crítico	MC	1	Não conseguem responder a comandos operacionais elementares da Física, compatíveis com a 3ª série do Ensino Médio. Têm <i>muita</i> dificuldade em compreender problemas dentro de uma linguagem física.
Crítico	CR	2	Desenvolvem algumas habilidades elementares na interpretação de problemas, mas não conseguem transpor o que está sendo pedido no enunciado que envolve códigos e símbolos físicos (linguagem física).
Intermediário	IT	3	Apresentam algumas habilidades elementares de interpretação de problemas. Fazem uso da linguagem física, porém a solução apresentada ainda é insuficiente para a 3ª série do Ensino Médio.
Adequado	AD	4	Interpretam e sabem resolver problemas de forma competente, fazem uso da linguagem física e apresentam habilidades compatíveis com as da 3ª série do Ensino Médio.

Fonte<sup>18</sup>. Adaptada do texto do INEP. QUALIDADE DA EDUCAÇÃO: Uma nova leitura do desempenho dos estudantes da 3ª série do ensino médio

A análise com base nas categorias citadas na tabela 3.1, no que diz respeito às representações de percepções dos estudantes tem três pontos de interesses.

*Primeiro:* construção do conceito de objetos físicos envolvidos na pesquisa.

*Segundo:* análise das percepções de visão conjunta da Física e da Biologia.

*Terceiro:* construção de procedimentos conceituais envolvendo a Física a Biologia e o contexto social. Esses três pontos de interesse serão analisados no contexto linguístico e no contexto da Física-Matemática.

### 3.6.2 A estrutura dos questionários dentro da pesquisa

#### ➤ Questionário 1.0 (Apêndice B)

Este primeiro questionário destina-se a buscar dados dos estudantes quanto a sua origem de formação na Educação Básica. E, junto com ele, podem-se dizer, também, quantos estudantes participam da pesquisa, por livre vontade, levando-se em consideração os seguintes aspectos: idade média, sexo e saber se eles têm curso técnico (pós-médio) ou não. Visão geral.

<sup>18</sup>Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade\\_educacao.pdf](http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade_educacao.pdf)>, acesso em 06 de mai. de 2016.

➤ Questionário 1.1 (Apêndice C)

Nesse questionário, há três interesses: a) a compreensão da necessidade de se estudar Física no século XXI, b) se estudantes em aulas de Física foram envolvidos com Biologia e vice-versa, como também, se eles viram o tema físico tensão superficial e capilaridade; c) verificar como estudantes compreendem o que vem a ser tensão superficial e capilaridade. A análise desse questionário será sobre uma visão inteira dos dados obtidos, podendo se destacar algumas respostas de estudantes.

➤ Questionário 1.2 (Apêndice D)

Nesse questionário, o interesse está em avaliar elementos físicos dentro do contexto da tensão, tensão superficial, surfactantes, envolvendo também algumas questões com a Biologia e uma questão com Matemática. Para isso, têm-se 10 questões, distribuídas no contexto do questionário a saber:

4 questões de Física nos temas tensão, tensão superficial e surfactantes;

1 questão de Matemática que envolve conceitos de área e superfície;

1 questão de Biologia que envolve surfactantes.

4 questões de Física/Biologia nos temas, tensão superficial, pressão osmótica e capilaridade.

➤ Questionário 1.3 (Apêndice E)

Nesse questionário, o interesse está em avaliar os elementos físicos de tensão superficial e capilaridade na dimensão da linguagem matemática. Para tanto, têm-se 3 questões, sendo duas de aplicação direta de fórmulas matemáticas e uma que exige uma interpretação da Biologia, além da solução Matemática, no contexto da Física.

A resolução dos citados questionários 1.0, 1.1 e 1.2 foi feita fora da sala de aula. Os mesmos eram entregues numa aula e, na semana seguinte, eram recebidos de volta. Isto porque a aula de Física Aplicada à Biologia é ministrada, neste semestre, (2016.1), somente às quartas-feiras.

O questionário 1.3 foi ministrado em sala de aula, após a solução dos três primeiros questionários, e após aulas ministradas sobre o referido conteúdo.

A estrutura dos questionários está na compreensão de conceitos que envolvem a pesquisa, na estrutura da multidisciplinaridade sistêmica, como metodologia de ensino.

Com igual compreensão se encontram os *eventos em aulas* que está na construção de conceitos ligados ao tema tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, com o uso dos processos investigativos. Ou seja, os questionamentos propostos em aulas são formas de buscar elementos de significação para análise de dados nesse trabalho.

## Capítulo 4. ANÁLISES E REFLEXÕES DE DADOS

Embora o início do semestre letivo tenha ocorrido em 02 de março de 2016, a pesquisa e as análises só começaram a ser realizadas a partir do mês de maio, dado que se esperou por duas oportunidades adequadas, por motivos específicos. Primeiro: foi necessário adaptar os estudantes ao processo investigativos, pois, entende-se que muito pouco dessa prática é apresentada nas salas de aulas do Ensino Médio. Segundo, precisou-se aguardar o tema fluido que faz parte do programa da disciplina. Esses momentos foram casados para dar normalidade ao processo de análises e reflexões no qual está estruturada essa pesquisa. O fórum de discussão se dar com questionários<sup>19</sup> e *eventos em aulas*.

### 4.1 Distribuições dos questionários e o levantamento de dados da amostra

Ainda no contexto da pesquisa, houve aplicação de quatro questionários. Os três primeiros foram entregues numa quarta-feira, com aula, e recebidos na semana subsequente.

Esse processo oferecia aos estudantes duas opções: a) responder questões dos objetos físicos e biológicos (ou juntos) com percepções acerca do mesmo e com suas experiências perceptivas, habilidades motoras ou com sua capacidade de visão de mundo e das coisas; b) criar representações da ciência em estudo, mesmo que esta representação esteja incompleta ou não determinada na construção de seu modelo mental, sendo este ato uma busca (ou não) em pesquisas de livros textos, internet ou notações (ou lembranças) de aulas durante o curso do Ensino Médio.

Os questionários 1.0 (apêndice B) e 1.1 (apêndice C) foram entregues aos estudantes em 04 de maio de 2016, para serem respondidos e devolvidos na semana seguinte. O questionário 1.2 (apêndice D) foi entregue no dia 11 de maio (após serem recebidos questionários anteriores). No dia 18 de maio, iniciou-se o processo de investigação argumentativa em sala de aula e recebeu-se o questionário 1.2, envolvendo a Física e a Matemática no contexto da Biologia.

Nesse momento, comunicou-se aos estudantes que, no encontro seguinte seria realizado a aplicação do último questionário, abrangendo os enfoques físico e matemático, ao tema tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

---

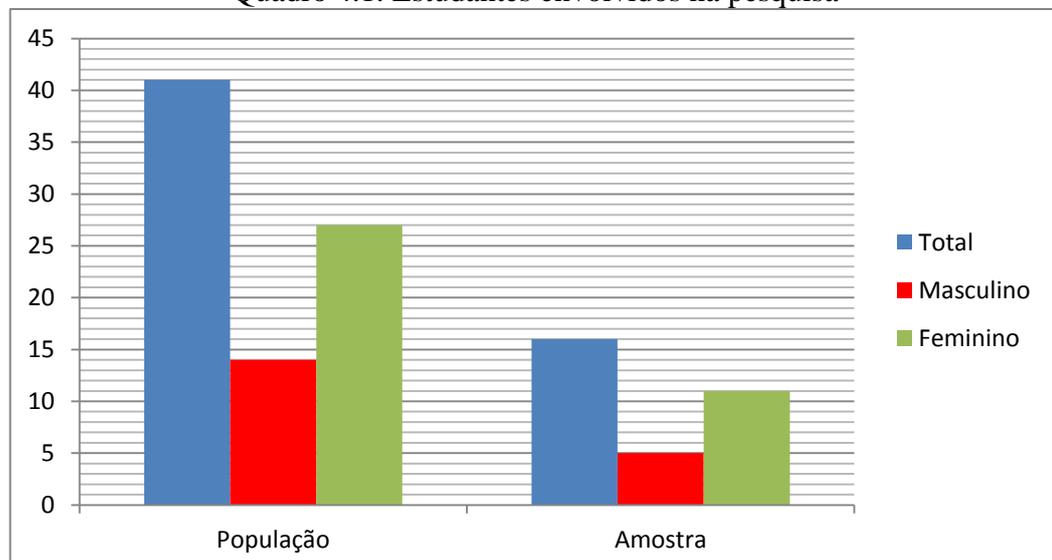
<sup>19</sup> Está pesquisa foi feita com estudantes que já tinham terminado sua Educação Básica, desse modo, as experiências propostas, que eram para estudantes da segunda série do Ensino Médio, não foram apresentadas, já que se partiu do princípio de que esta turma tenha visto as referidas experiências.

Os estudantes tiveram, em princípio, a semana de 18 a 25 de maio, para revisarem os temas. No dia 25 de maio aplicou-se o questionário 1.3 (apêndice E), após o segundo encontro do processo investigativo e de construção de representação e percepção dos conteúdos de Física no contexto da Biologia, acrescentando o enfoque físico e matemático.

#### 4.1.1 Levantamento de dados da turma

- População: 41 estudantes (100 %)
- Amostra 16 estudantes (39,0 % da turma).
- População /Sexo 41 estudantes (100 %)
  - 27 do sexo feminino (65,9 % da turma)
  - 14 do sexo masculino (34,1 % da turma)
- Amostra/Sexo 16 estudantes (100 %)
  - 11 do sexo feminino (68,75 % da amostra)
  - 5 do sexo masculino (31,25 % da amostra)
- População/Amostra 41 estudantes (100 %)
  - 11 do sexo feminino na amostra (26,8 % da turma)
  - 5 do sexo masculino na amostra (12,2 % da turma)
- Idade da amostra 19 anos é a idade média.
  - 18 anos é a idade média do sexo feminino.
  - 21 anos é a idade média do sexo masculino.

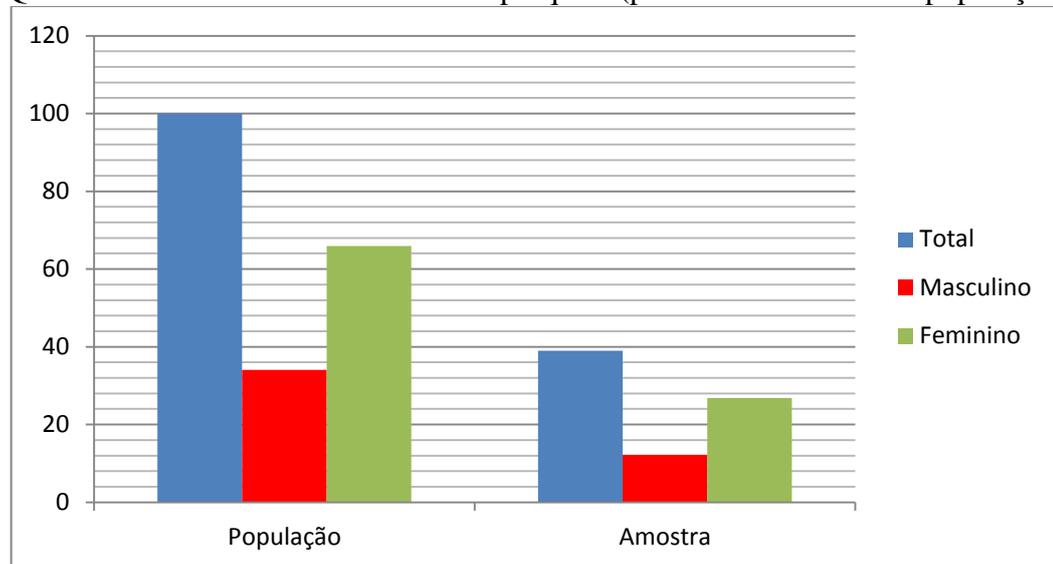
Quadro 4.1. Estudantes envolvidos na pesquisa



Protocolo: Mario de Souza

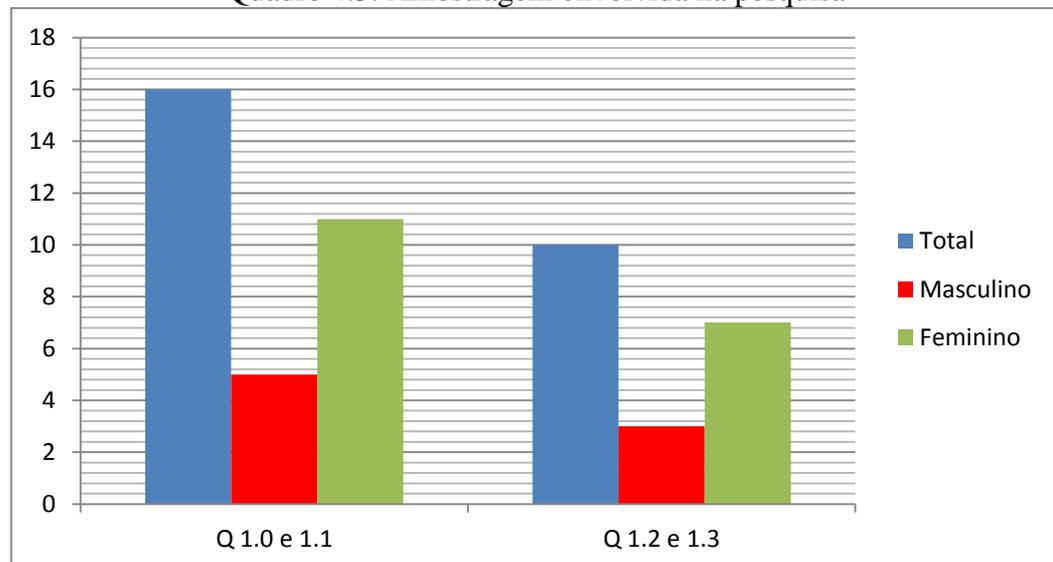
A pesquisa tem amostra com cerca de 40 % da turma. A turma foi dividida em 8 grupos de 5 estudantes e 1 grupo com 6 estudantes, sendo retirado de cada grupo 2 estudantes (40 % deles). No grupo de 6 estudantes, 40 % correspondem a 2,4 estudantes. Nesse grupo foi tomada uma cota para cima, ou 3 estudantes, que vai corresponder a 50 % do total de estudantes do grupo. Esses foram o planejamento e a execução da estratificação da amostra, cuja reflexão que se faz é de apresentar uma amostra viável para desenvolver as análises e reflexões dos dados. Deixa-se claro que essa amostra pode variar enquanto respostas das tarefas propostas, pois estudantes estão livres para continuar ou não em todo o processo.

Quadro 4.2. Estudantes envolvidos na pesquisa (percentuais relativos à população)



Protocolo: Mario de Souza

Quadro 4.3. Amostragem envolvida na pesquisa



Protocolo: Mario de Souza

É possível ver no quadro 4.3 que as respostas dos questionários 1.0 e 1.1 correspondem à amostra, mas na resolução dos questionários 1.2 e 1.3 a amostragem cai para 10 dos 16 estudantes envolvidos na pesquisa, ou seja, 62,5 % da amostra.

#### 4.1.2 Dados institucionais dos estudantes na amostragem

A ideia é apresentar os aspectos institucionais dos estudantes dessa amostra, hoje sendo alunos de uma Instituição de Ensino Superior (IES), Pública Estadual. A busca por essa informação se assenta em toda Educação Básica.

##### ➤ Ensino Fundamental

☞ Escola Pública Federal	0
☞ Escola Pública Estadual de Aplicação	1 (6,25 % da amostra)
☞ Escola Pública Estadual – EREM	0
☞ Escola Pública Estadual	8 (50,0 % da amostra)
☞ Escola Pública Municipal	3 (18,75 % da amostra)
☞ Escola da Rede Privada de Ensino	4 (25,0 % da amostra)

##### ➤ Ensino Médio

☞ Escola Pública Federal	0
☞ Escola Pública Estadual de Aplicação	1 (6,25 % da amostra)
☞ Escola Pública Estadual – EREM	10 (62,5 % da amostra)
☞ Escola Pública Estadual	2 (12,5 % da amostra)
☞ Escola Pública Municipal	0
☞ Escola da Rede Privada de Ensino	3 (18,75 % da amostra)

##### ➤ Cursos no Ensino Médio

☞ Técnico em Administração	1 (6,25 % da amostra)
☞ Magistério	1 (6,25 % da amostra)
☞ Estudos Gerais	14 (87,5 % da amostra)

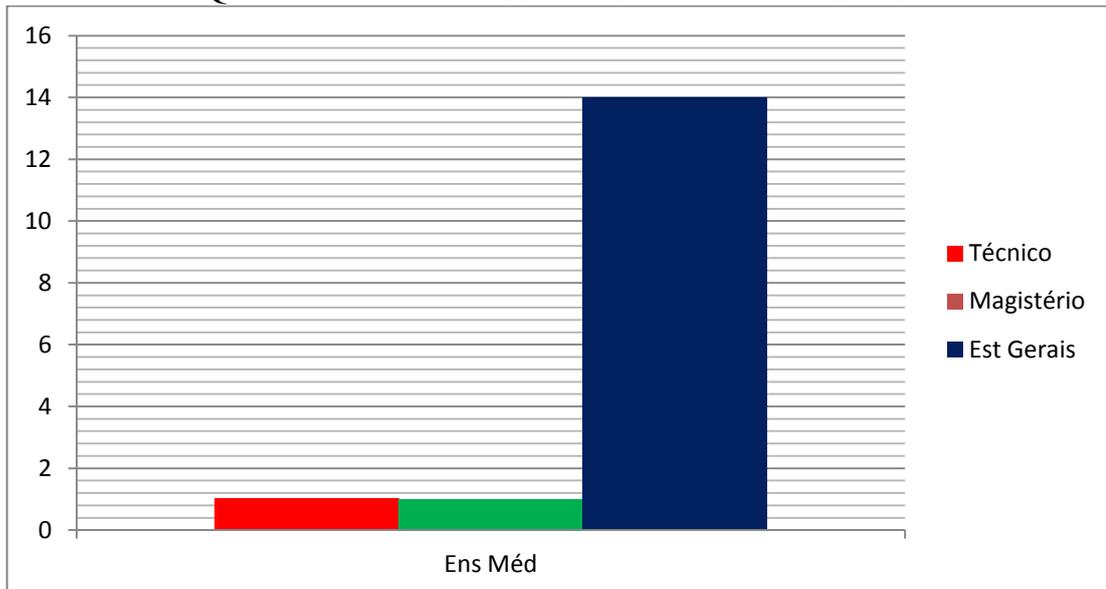
Uma observação é que o curso com ênfase no Ensino Médio é o curso de Estudos Gerais, ou 87,5 % da amostra (quase 90,0 %). Conforme se percebe no quadro 4.4.

Outra análise dessa amostra tem verificado que à formação na Educação Básica, em sua maioria, vem de Escolas Públicas Estaduais. No Ensino Fundamental é de 75,0 %, enquanto que no Ensino Médio é de 81,25 %, com ênfase nas Escolas Estaduais – EREM (Escola de Referência no Ensino Médio), que são as escolas de tempo integral.

A dimensionalidade percebida foi de que a maioria dos estudantes serem da rede pública estadual de ensino em Pernambuco, tanto para o Ensino Fundamental quanto para o Ensino Médio.

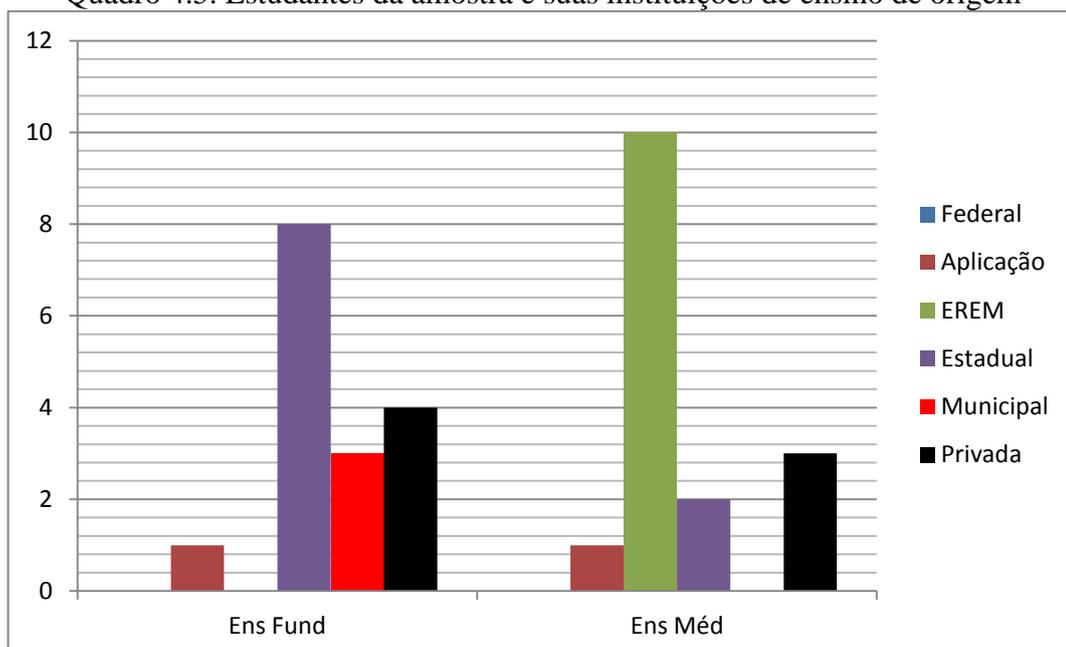
No Ensino Médio o evento interessante foi à quantidade de estudantes oriundos de Escolas de Referências do Ensino Médio (EREM), as quais são escolas de tempo integral, conforme quadro 4.5.

Quadro 4.4. Cursos de Ensino Médio relativo à amostra



Protocolo: Mario de Souza

Quadro 4.5. Estudantes da amostra e suas instituições de ensino de origem



Protocolo: Mario de Souza

## 4.2 A análise do questionário de tensão superficial e capilaridade.

O uso de *questionários* foi um dos instrumentos de pesquisa sobre o tema tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia. O outro viés de análise está no contexto dos *eventos de aulas*, ou seja, são momentos de aulas que estão aqui retratados no uso das falas dos estudantes. Nesse momento a análise se pronunciará sobre o questionário 1.2, que busca análise dos referidos temas de Física no contexto da Biologia, em 10 questões.

A amostra foi composta de 16 estudantes, mas eles eram livres para responderem ao questionário e, dessa forma, este foi respondido por 10 dos 16 estudantes envolvidos na amostragem, embora se faça saber que houve 21 questionários respondidos, sendo: 4 retirados do processo de estratificação da amostra e 7 respondidos por estudantes que não fazem parte da amostragem, que, mas por livre iniciativa, resolveram participar.

➤ A *primeira questão* está posta para verificar o *significado de tensão* de modo a ver se esse significado vai se atrelar ao conceito de tensão superficial.

Nessa questão, 1 estudante *nada respondeu*; 1 estudante diz que “*compreende a tensão como força*” (E – 26); 3 estudantes compreendem a tensão como “*resistência ou estado de rigidez*” de alguns materiais incluindo o corpo humano, o que talvez seja uma referencia ao sistema nervosa, mas nada disso é exposto na fala; 1 estudante tem ideia semelhante de rigidez, mas acrescenta outros objetos físicos em sua fala, pois cita: “*compreendo tensão como se fosse um estado de rigidez apresentando uma grande compressão e pressão*” (E – 13), 1 estudante fez referência à dificuldade de movimento molecular, pois para ele, *tensão é uma resistência que alguns materiais têm em sua superfície que dificulta a passagem de algumas partículas pela superfície do material* (E – 11); 1 estudantes fez menção a respeito da *tração num cabo ou corda* sem contextualização; 1 estudante diz “*é o estado de um corpo submetido à ação de forças opostas que se atraem*” (E – 40), onde se observa o contexto de tração misturado com o contexto de força de atração; 1 estudante apresentou uma fala que envolve o estado de deformação e diz que *tensão: “é a resultante de forças de atração (coesão) entre partículas de um sólido ou líquido quando submetido a uma deformação em que a tendência de voltar ao seu estado inicial é observada”* (E – 45).

A compreensão é que esses estudantes apresentam algumas habilidades elementares de interpretação do significado de tensão, fazem uso de linguagem Física, mas de forma ainda não suficiente para o nível em que estão. Estado *Intermediário*.

A reflexão é de que por terem compreensão de Biologia os seus estados de coisas, foram constituídos dentro do arcabouço do contexto da Biologia, ao associar a tensão com rigidez (de músculos), mas o Modelo Mental de tensão ainda é tosco.

➤ A *segunda questão*, busca a compreensão entre superfície e área (já que se vai estudar tensão superficial e nesse estudo envolve a concepção de área), 7 estudantes, apontaram corretamente essa compreensão; 1 estudante nada respondeu, 1 relacionou à ideia de superfície a *superfície da Terra* e 1 diz que se referem às *unidades de medidas*.

A análise e reflexão desse contexto são de que a compreensão está no nível *Adequado*, embora as representações científicas dos objetos matemáticos estejam coerentes, há ideia de contorno em algumas respostas, que se espera ter essas ideias alicerçadas no objeto tensão superficiais. Um Modelo Mental, em princípio, para essa compreensão está definido.

➤ A *terceira questão* refere-se ao fato de ter o estudante ouvido falar sobre tensão superficial e o que isto significa para ele. A ideia aqui era ver se o estudante tinha visto o tema, mesmo que de forma tosca durante sua Educação Básica.

Nessa questão 8 afirmam que sim; um deles apenas diz que sim, mas *nada explica* enquanto significado para ele, 1 estudante *nada responde*. Nessa questão há duas respostas equivocadas. 1 estudante diz: “*sim, significa as fases químicas da água (líquidos)*”, pela estudante de protocolo E – 40; e outro diz: “*sim, é a quantidade de energia que é necessária para diminuir sua superfície, ou seja, é uma força por unidade de superfície*” (E – 13). Embora haja um começo de resposta dentro do contexto, mesmo que de forma tosca, ela complementa de forma equivocada a sua representação. Outra visão analítica é a de que 1 estudante diz que o significado está na *elasticidade de superfícies líquidas* e, uma resposta dirigida à água, “*sim, é a tensão formada na superfície da água, graças as pontes de hidrogênios que se ligam formando uma ponte*” (E – 11); embora tenha final redundante, o significado apresentado por esse estudante é específico para a água e com uma interpretação molecular o que fornece pista, pelo menos, em princípio, desse conhecimento ter sido apresentado na disciplina de química. Houve uma resposta que se apresenta como identificação do conhecimento de tensão superficial, através de experimento, pois cita: “*sim, é um efeito físico onde percebemos como a superfície do líquido se comporta*” (E – 26).

Ainda referente a esta questão houve três respostas que se verificou ser diferenciada das que já foram apresentadas: “*sim, é um fenômeno que ocorre na superfície de um líquido e que explica, por exemplo, uma moeda colocada sobre a água essa moeda não afunda, inseto que consegue andar sobre a água, etc.*” (E – 44); observa-se a colocação de representação generalizada (líquido de modo geral), exemplifica e relata a visualização do passeio de insetos sobre a água; “*sim, um fenômeno que ocorre a partir das forças de coesão entre moléculas semelhantes, capaz de modificar o comportamento de espessura do líquido*” (E – 45); aqui se verifica uma representação molecular, citando objeto físico (força de coesão, mas não citando as forças de adesão) e, fazendo uma representação da camada do líquido com uma espessura,

que pode ser compreendida, como uma linha molecular com dimensão pequeníssima, mas sem delinear o conceito de interface. Esse último conceito vai ser citado enquanto representação, sem contextualização do mesmo pela estudante E – 24, que cita: “*sim, é um efeito físico que ocorre na interface entre duas fases químicas*”. Essa fala é importante porque a interface e o fenômeno da tensão superficial não ficam limitados aos líquidos e gases (água e ar), mas apresenta possibilidades de outras interfaces. Interessante é a caracterização de um efeito físico, mas que ocorre entre duas fases químicas, ou seja, numa relação microscópica de duas diferentes superfícies. Pode-se perceber que é um conceito em construção, visto os estados de coisas expostos em suas falas (representação do objeto). Estado *Intermediário*.

➤ A quarta questão é posta para verificar a representação dos estudantes a cerca da física da tensão superficial na água, já que na questão anterior se busca o conceito mais generalizado (envolvendo Física e Química) de tensão superficial.

Na análise verificou-se que 2 estudantes disseram que não viram; 1 diz que viu, mas *não sabe explicar*; 2 deles foram específicos em descrever o fenômeno como sendo devido a tensão superficial da água; 2 estudantes descrevem o mecanismo de forma generalizada: “*sim, porque a tensão superficial é capaz de gerar camadas diferenciadas entre líquidos, fazendo com que se comportem de maneira diversa*” (E – 40) e “*sim, devido a tensão superficial ocorrida na camada superficial dos líquidos*” (E- 38), 3 estudantes apresentaram respostas com visão molecular, sendo que 2 deles explicitam as pontes de hidrogênio como sendo o elemento de fomentar a causa de sustentação dos insetos na água, onde um deles cria um equívoco entre tensão superficial e densidade, pois cita: “*sim, por causa das pontes de hidrogênio e por causa da superfície das partes desses insetos e tem uma densidade menor que a tensão superficial da água*” (E – 11); 1 estudante faz descrição do mecanismo com mais elemento físico-químico: “*sim, porque a coesão entre as moléculas de água no estado líquido é responsável por sua alta tensão superficial; é devido a isso que alguns insetos conseguem pousar e até mesmo andar sobre a água parada sem afundar*” (E – 45). Embora haja descrições do mecanismo não há representações de configurações físicas e nem de expressões Física e Matemática. Isto remete a ideia de que há dificuldades em (re)criar ou interpretar modelos físico-matemáticos. Estado *Crítico*.

➤ A quinta questão é o fato de que a ação da pressão atmosférica promove elevação de 10,3 m numa coluna de água, mas isso não é suficiente para levar água até o topo de árvores com alturas entre 20 m e 30 m, então que mecanismos físicos e biológicos estariam associados a essa possibilidade?

A ideia é verificar o conhecimento da pressão osmótica e da capilaridade nas respostas dos estudantes, ou seja, ver a Física no contexto da Biologia. 3 deles *nada informaram*; 1

estudante diz que motivo *são vasos condutores* (o que é elementar); 1 estudante produz um equívoco enorme ao citar que tal fato se deve “*por causa da pressão atmosférica que muda conforme a pressão exercida*” (E – 38); 1 estudante fala que o motivo é de “*uma poderosa forma de sucção*” (E – 45); 1 estudante cita apenas que é devido a “*pressão dentro dos vasos condutores*” (E – 11), sem dizer o tipo de pressão e nem o que é conduzido. Apenas 3 estudantes apresentaram respostas mais elaboradas. Eis suas citações: “*por causa de seus vasos condutores de seiva, por meio da pressão osmótica, transportando célula a célula*” (E – 13); “*por causa de vasos condutores muito finos (capilares) que conseguem chegar a alturas elevadas*” (E – 24) e “*por causa de seus vasos condutores de seiva levando de célula a célula por meio da pressão osmótica*” (E – 40).

Na análise dessa questão verifica-se que o conceito de pressão aumentado em sua semântica (Física, Química, Biologia) não está posto. É limitado e isso gera a dificuldade de compreender a Física dentro do contexto da Biologia. Há uma impressão de que o construto físico de pressão aparece com outro significado no contexto da Biologia. Estado *Crítico*.

No contexto da questão 05 é que se abordam as questões 06 e 07, como forma de induzir a ideia de capilaridade e sua importância no contexto da Biologia, ou seja, produzir na amostra a verificação do elo articulado entre a Física e a Biologia.

➤ A *sexta questão* visa buscar um conhecimento popular e midiático do fio de cabelo e a compreensão de capilaridade. A ideia é a percepção do fio de cabelo como haste fina e fibrosa, composta de células queratinas e uma raiz, mas que ao saírem do couro cabeludo, o fio de cabelo é composição de células mortas.

Neste contexto 2 estudantes *nada responderam*; 1 estudante cita a proteína de que compõe o cabelo “*por causa que o cabelo é formado de queratina e também por que são forçados a subir através da pele*” (E – 11) e, tenta apresentar uma Física para o comportamento de saída para o couro cabeludo, mas faltou a Biologia: não explicita que “*forçados a subir*” se refere a papila produzindo células que são forçadas a subir pelo folículo, juntando-se e formando o fio de cabelo, já que a papila fica na base de cada folículo e esta na proteína fibrosa queratina, segundo texto disponível em: <<http://wol.jw.org/pt/wol/d/r5/lp-t/102001250>>,. Acesso em 14 de jun. de 2016.

Há 2 estudantes que percebem semelhanças entre vasos capilares e cabelo devido a *espessura* (entendo querer dizer de circunferência pequena) *dos mesmos*; 2 estudantes expressam que, além da espessura dos mesmo, que *há passagem de nutrientes* o que pode se assemelhar a um vaso capilar; 1 estudante percebe que a semelhança entre o fio de cabelo e um capilar é, além desses dois pontos de vistas, *que estão irrigados por vasos sanguíneos*, mas não diz que isso acontece na raiz do cabelo; 1 estudante percebe que a semelhança está na

*função de levar nutrientes para a raiz do cabelo; 1 estudante diz que é “porque o fio de cabelo nasce vaso capilares, estão ligados com as artérias e com as veias” (E – 44).*

Apesar de ser um tema trabalhado na mídia e, sendo estudantes de um curso de Ciências Biológicas, mesmo iniciantes, verifica-se que o tema cabelo não está posto sobre o ponto de vista físico e biológico, para o nível em que eles aportam. Embora o mínimo de compreensão na comparação entre fio de cabelo e vaso capilar esteja aceita que é o calibre e configuração (haste fina). Estado *Muito Crítico*.

Foi um resultado não esperado para representação de comparação entre o fio de cabelo e um vaso capilar. A Física apresentada não se ligava a Biologia e nem vice versa. Isto, em princípio, mostra que as duas disciplinas estão absolutas no processo de ensino.

➤ A sétima questão é verificar qual a utilidade dos vasos capilares no corpo humano. A ideia é compreender quatro itens físicos: a pequeníssima dimensão com diâmetro da ordem de alguns micrômetros, a rede de distribuição do sangue, a conexão com outros dutos (veias e artérias, por exemplo) e as trocas de matérias (gases e nutrientes).

Na análise dessa questão 1 estudante *nada responde*; 1 estudante cita que é para “fazer parte do sistema circulatório” (E – 25); 2 estudante diz que é “para manter o corpo (pele) protegido do frio” (E – 40); 1 estudante diz: para “proteger o corpo contra microrganismos na pele” (E – 11). Esses estudantes apresentam representações elementares no sentido da compreensão, representação e percepção da utilidade dos vasos capilares no corpo humano.

Há outro grupo de estudantes que apresentaram resultados melhores, mas não tão bom quanto poderia ser. Sobre esta questão: 1 estudante apresenta ênfase na *troca* (nutrientes, água, gases); 1 estudante apresenta ênfase na *rede de distribuição*; 1 estudante enfatiza, além da rede de distribuição a *comunicação como sistema circulatório*; 1 estudante enfatiza o *transporte* (condução do sangue); e 1 estudante que expressa o calibre do capilar, a condução (transporte) e a troca de gases, ao falar da utilidade dos vasos capilares no corpo humano: “como são mais finos, eles são capazes de levar sangue para as extremidades do corpo, ou lugares onde as células não recebem o oxigênio necessário” (E – 26).

A análise dessa questão expõe que não há um olhar significativo da Física no contexto da Biologia, na estrutura do Ensino Médio. Isto revela a necessidade de rever metodologias. É nesse espírito que apresento a multidisciplinaridade sistêmica entre Física e Biologia como uma metodologia de ensino para professores de Física. Estado *Muito Crítico*.

➤ Na oitava questão a ideia é buscar a curiosidade dos estudantes e, a partir daí verificar que resposta eles apresentariam enquanto representação Física. Junto a essa curiosidade viria à observação da Lei de Laplace, ao perceberem que algumas bolhas de sabão aumentam de volume e depois estouram. Fato verificado se eles tivessem feito o experimento

(água, sabão em pó, vasilhame e misturar até formar bastantes bolhas de sabão). Elas aumentam de volume porque esferas menores se agregam e se fundem aumentando o volume da esfera maior que depois de inflada explode. Pois, a pressão é maior na bolha de raio menor.

Na análise da questão verificou-se que *nenhum* estudante teve a iniciativa de realizar o experimento. Mesmo estando com o questionário por uma semana, não houve este despertar. Não se pode afirmar se isto é um problema do Ensino Médio (falta de laboratórios ou de realizações experimentais em sala de aula), pois não se tem elementos para tal afirmação, mas há um olhar crítico para o fenômeno.

Nesse contexto, 1 estudante *nada respondeu* e 2 deles apenas disseram que *diminui*. Observa-se que não existe nenhum olhar sobre o fato. 2 estudantes dizem que “*diminuem porque as espumas se desfazem*” o que se verifica nessas falas é o resultado final já conhecido. 1 estudante diz “*diminui por causa da movimentação de suas partículas*”, o que pode ser compreendido como uma busca por resposta na visão microscópica; 2 estudantes enfatizam a *mistura para criação das bolhas* (água e sabão) e explicitam que *diminuem depois que para (estado de repouso)*. Observa-se que a linguagem representativa da Física envolvida está muito aquém do nível desses estudantes. Outras respostas foram: “*diminui por causa dos compostos presentes no sabão que reagem com o oxigênio e a água*” (E – 38); “*o volume da espuma diminui isso porque os sais tem a propriedade de diminuir a tensão da água, acabando a espuma*” (E – 44). Entende-se que houve um olhar para respostas na compreensão da química, mas mesmo assim, houve equívocos. Estado *Crítico*.

➤ Na *nona questão* a ideia é complementar a questão anterior, uma vez que os alvéolos pulmonares têm constituição idêntica a um grupo de esferas interligadas de diâmetros diferentes ou próximos (entre 100 a 300  $\mu\text{m}$ ), chamados de sacos alveolares. Então a *Física* está na constituição das diferentes esferas e o grupo delas formando por diferentes sacos alveolares; estes possuem parede muito fina (0,2  $\mu\text{m}$ ) ou membrana envolvente de sacos alveolares vizinhos; esta membrana é elástica e sua elasticidade está na tensão superficial do líquido que banha, entrando nesse momento à compreensão da função dos surfactantes ou lipoproteínas, para abertura adequada dos sacos alveolares. A questão é Química e pode ser verificada na troca entre o ar atmosférico e os gases presentes no sangue devido à rede de capilares. Aqui se tem uma questão que envolve a Física e a Biologia. Pois, ao buscar a função dessas células secretoras entende-se como questão Física no contexto da Biologia. .

Na análise dessa questão nenhum estudante mencionou a Física envolvida na questão. 2 estudantes *nada respondem*; 2 estudantes respondem sem nada dizer a respeito da função, apenas disseram o que está na pergunta “*produzir lipoproteína surfactantes*”; 1 estudante produz um equívoco quando diz: “*para secretar pequenas partículas de poeira e fumaça que*

*uma pessoa respirou*” (E – 11); o que representa modelo de representação biológico não condizente na sua totalidade e sem argumentos físicos; 1 estudante diz que: *“é para secretar gotículas de gorduras”*. 1 estudante diz, *“Impedir que lipídios dificultem à passagem do sangue para o pulmão e conseqüentemente deixar as funções do corpo que precisam de oxigênio”* (E – 24). 1 estudante teve fala dirigida à Biologia: *“são responsáveis pela manutenção dos alvéolos secos, difusão dos gases na membrana alveolar e mantêm os alvéolos abertos”* (E- 38), que deixou a ideia Física da função das células secretoras de lipoproteínas nos alvéolos pulmonares; apenas um estudante cita o caso da tensão superficial: *“produzir uma substância que reduz a tensão superficial do líquido presente nos alvéolos pulmonares”* (E- 26); embora seja redundante no início de sua resposta, ela deixa o vestígio da Física na redução da tensão superficial e da fala do líquido (fluido) presente nos alvéolos pulmonares, enquanto representação de sua percepção acerca da questão posta.

A respeito dessa questão pode-se dizer que os conhecimentos da Física no contexto da Biologia ainda não estão bem postos; essa visão vem da consideração de que estes estudantes já terminaram a Educação Básica e, estão, por escolha, ou por interesse ou gosto, fazendo o curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. Estado *Crítico*.

➤ A *décima questão* é direta, pois se deseja saber da finalidade do detergente para lavar pratos e atenção superficial. Uma questão simples cujo objetivo é verificar o fato da ação dos tensoativos ou surfactantes com o princípio de redução da tensão superficial. Não há exigência de apresentar a compreensão de moléculas polares e apolares e da ação do ponto de vista interno ou da Química.

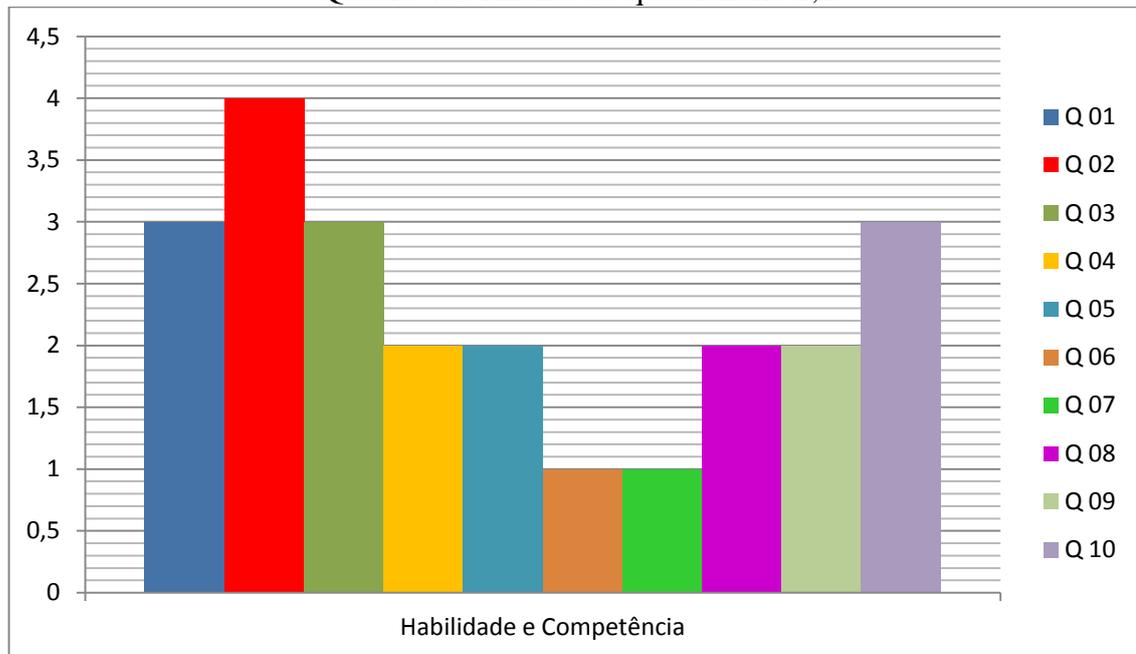
Na análise desta questão 1 estudante *nada responde*; outro diz *“o detergente quebra as tensões, onde se misturam”* (E – 15); expondo dificuldades e equívocos na escrita; 1 estudante escreve, *“Diminuir a abrasividade da superfície eliminando a gordura”* (E – 25), expondo um problema literário com uso de termo não apropriado para a questão, uma vez que abrasivo significa capacidade de desgastar, ou seja, de arranhar e desgastar, o que não é o caso; 1 estudante explora a questão das pontes de hidrogênios como fator da tensão superficial e que o detergente tem a finalidade de quebrar essas pontes. Embora, não esteja equivocado, este estudante não apresenta uma linguagem Física, por exemplo, estado líquido da água ou que as moléculas da água possuem graus de liberdades ou que as moléculas da água são polares e possuem cargas elétricas; a informação dele foi visível na compreensão da Química. Outros 6 estudantes comentaram que a finalidade era quebrar a tensão superficial da água.

Embora a questão seja de fácil resposta entende-se que há ainda caminho a percorrer de modo a tornar os contextos da Física dentro da tensão superficial e capilaridade como sendo significativos no processo de construção da identidade do objeto físico. Por isso, a

realidade vivida foi a de que o uso da metodologia multidisciplinar sistêmica oferece uma possibilidade de aprendizagem no uso da contextualização da Biologia. Estado *Intermediário*.

A reflexão que se opera nesse momento é de que a representação e a percepção de tensão superficial e capilaridade têm “buracos” a serem preenchidos dentro da concepção da Física, e mais ainda, dentro de concepções que envolvem a Física no contexto da Biologia.

Quadro 4.6. Análise do questionário 1,2



Protocolo: Mario de Souza

Estes dados gráficos geram uma média de 2,3 que, embora baixa, está a 1,3 pontos acima do mínimo (Muito Crítico) e 0,3 pontos acima da categoria Crítica.

### 4.3 Análises e reflexões de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia

O que se pretende aqui é vislumbrar o contexto qualitativo deste trabalho em sua totalidade, tecendo o olhar para o contexto da multidisciplinaridade sistêmica como metodologia de ensino, assentada nos princípios descritos no referencial teórico e na questão, desse estudo, que deve ser respondida nas análises e reflexões desse objeto de estudo.

Para promover essa análise e reflexão do conteúdo tensão superficial no contexto da Biologia, desenvolve-se uma estrutura nas análises dos questionários e dos *eventos*<sup>20</sup> em

<sup>20</sup> Trechos de eventos ocorridos durante aulas, vivenciadas pelos professores: Mario de Souza e Gerson Henrique da Silva, durante o primeiro semestre de 2016, na Universidade de Pernambuco (UPE) no Campus Mata Norte (CMN), conforme já explicitado.

*aulas*, configurados inicialmente no contexto da linguagem Matemática e da linguagem Física junto à Biologia, como referentes de análise específica para tensão superficial e capilaridade.

#### 4.3.1 O papel da linguagem Matemática

A universalidade da matemática enquanto linguagem é fato no Ensino Médio. Isto quer dizer que, em princípio, os estudantes presentes no primeiro semestre do Curso de Ciências Biológicas, já atravessaram à Educação Básica, e a Matemática esteve presente em diferentes contextos de sua vida escolar, tais como: ordenar, quantificar, codificar, interpretar taxas, fenômenos e informações, construção (leitura e interpretação) de tabelas e gráficos, validação de conceitos e argumentos, procedimentos de generalizações e entender abstrações matemáticas, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Médio.

Neste espectro, a Matemática trabalhada no contexto da Física para os conteúdos tensão superficial e capilaridade, estão postas dentro desse arcabouço teórico e, o seu papel dentro das representações e interpretações de fenômenos relacionados aos conteúdos físicos, já mencionados, é materializar argumentos da Física no contexto da linguagem Matemática e desenvolver procedimentos e habilidades algébricas dentro de uma Matemática Básica.

Isto quer dizer que o esperado é verificar esse conhecimento relacionado com a Física na categoria *Adequada*. O que implicaria num modelo de representação dos estudantes sobre a estrutura Física e Matemática, estabelecido. A realidade na sala de aula e no questionário 1.3 foi totalmente ao contrário do esperado. A situação é *Muito Crítica*.

Para ter-se uma ideia do problema, deixa-se o registro de um evento de aula sobre fluido com uso do processo investigativo, procurando compreender as representações e percepções dos estudantes sobre a construção do objeto físico densidade e a Lei de Hooke. Onde P significa Professor e E significa estudante.

*P: Bom, agora vamos compreender o significado de densidade. A questão agora é: o que é densidade?*

*E: Moléculas prensadas*

*E: Aquilo que é denso.*

*E: Pressão interferindo nas moléculas.*

*E: Quantidade de moléculas num determinado tamanho*

*E: Quantidade de moléculas num determinado meio*

*E: Quantidade menor mais denso*

*P: Suponha que temos dois objetos diferentes. Tomo o apagador e um pen drive.*

*Pergunto: como posso avaliar a densidade desses objetos?*

*(Silêncio na turma)*

*(Alguns estudantes passam de mãos em mãos os dois objetos)*

*E: Massa igual a do pen drive tem densidade pequena.*

*E: Massa do tamanho do pen drive tem densidade pequena*

*E: Como o senhor falou da densidade do sangue acho que a densidade tem a ver com as moléculas (gesticula como se fossem prensadas as moléculas).*

*E: Sei que 1 kg de ferro tem o mesmo peso que 1 kg de algodão, mais o tamanho do algodão é maior.*

*P: Alguém compreendeu o que a estudante falou?*

*E: Acho que ela quis dizer que há tamanhos diferentes para a mesma massa.*

*P: O que é esse tamanho?*

*Estudantes gesticulam sobre a banca, mostrando o vai e vem das mãos para dizer vários tamanhos. Outros dizem é como o pen drive e o apagador.*

*P: Você está com uma substância em suas mãos e está telefonando para um colega seu para falar da substância, e você informa características químicas e diz a massa da substância. Aí seu colega pergunta e a densidade dessa substância?*

*E: Aí complicou*

*E: Tem que saber o tamanho dela.*

*P: Ok. Até aqui compreendemos que para encontrar a densidade temos que conhecer duas medidas: massa e volume.*

*P: Entendo que a compreensão de tamanho que vocês expressam talvez seja a compreensão de volume.*

*P: Como é então a expressão matemática para exprimir a densidade?*

*(Silêncio na turma; conversam entre si; risos; perguntam o que quero saber e lhes digo uma fórmula matemática para densidade; decidem que não sabem).*

*P: Escrevo na lousa  $d = m/V$*

*E: Ah. Me lembrei agora.*

*(Outro momento)*

*P: O que é tensão?*

*E: É a diferença de potencial.*

*E: É tensão elétrica.*

*E: Tensão é (com gestos fecham as mãos, formando punhos, e comprime um punho contra o outro).*

*E: Tensão é uma energia.*

*P: Vamos imaginar uma mola presa no teto da sala de aula. Agora se pendura na mola uma carga de certo peso, levemente. O que acontece?*

*E: A mola estica.*

*P: Agora se retira levemente o peso. O que acontece com a mola?*

*(Silêncio na turma)*

*E: A mola volta para o lugar dela.*

*P: Agora imagine que a carga colocada na mola, nesse momento, seja maior que a carga anterior. O que acontece com a mola?*

*(Silêncio na turma)*

*E: Acho que acontece a mesma coisa.*

*P: Como assim?*

*E: Estica.*

*P: Nos dois caso a mola estica. Mas em qual dos casos ela estica mais?*

*E: (Quase em coro). No segundo caso.*

*E: Isso é a lei lá do primeiro ano (referindo-se ao Ensino Médio).*

*P: Lei de Hooke.*

*E: (Mesma estudante). Sim.*

*P: Até o momento vocês entenderam que a carga aplicada na mola produz uma deformação na mesma, mas que, quando retirada a carga a mola volta ao seu estado inicial. Então, como você pode definir tensão?*

*E: Eu me lembro de que tem a ver com uma constante E (maiúsculo).*

*E: Não é E é G (maiúsculo).*

*P: vocês entenderam que aumentando a carga aumenta a deformação da mola?*

*E: Sim.*

*E: Claro (risos)*

*P: Então como expressar um conceito de tensão?*

*E: (Novamente) Eu sei que tem a ver com o E (maiúsculo), ou é um G.*

*(Espero uma resposta por um tempo)*

*P: Escrevo na lousa. Tensão é proporcional a Deformação.*

*E: Ah. (Risos)*

*P: E como saio da equação de proporcionalidade para uma igualdade?*

*(O acenar das cabeças dos estudantes dava entender que não sabiam)*

*P: Escrevo a equação.  $\Sigma = E x |\epsilon|$ . Esta é a Lei de Hooke.*

*E: Eu não disse que tinha o E.*

*E: Lá na escola foi diferente (acho que ele quis dizer fórmula diferente).*

Foi verificado que não se configura um modelo mental para construção de argumentos físicos matemáticos. Há uma dificuldade de expressar a linguagem Matemática e isto vai desaguar na dificuldade de procedimentos de algoritmos numéricos e algébricos.

A análise e reflexão desse item é que é *Muito Crítico* e, este é um fator de obstáculo dentro da multidisciplinaridade sistêmica, como metodologia de ensino para a Física, pois a Matemática se apresenta em toda sua estrutura na formatação da linguagem Física.

Isto sugere que, para o professor trabalhar a Física e a Biologia neste contexto, a primeira preocupação é com o desenvolvimento paralelo da Matemática que irá fazer parte da contextualização do fenômeno. A ideia não é de linearizar o Ensino de Física, com paradas para a Matemática, mas vivenciá-la no contexto, usando o argumento analítico da situação.

Também é possível vivenciar o conteúdo com a apresentação conceitual e descrição da matemática, sem a necessidade (obrigação) de desenvolver fórmulas físicas, mas trabalhar o contexto físico “conversando” com a expressão Matemática que envolve a Física.

Verifica-se no questionário 1.3 que versa sobre tensão superficial e capilaridade, mas numa proposta de resolução de três exercícios, para verificar a habilidade procedimental de trabalhar o envolvimento da Física e da Matemática, que a situação é *Muito Crítica*.

No *primeiro exercício* existe a fórmula de aplicação para sua solução, isto fora feito para verificar apenas como os estudantes caminham no procedimento de solução do exercício. Apenas um dos dados dessa questão precisa ter mudança de unidades, que é o caso do raio de 2,00 mm, onde há necessidade de mudar para metro, ou multiplicar esse resultado por  $10^{-3}$  e, aplicar diretamente na fórmula dada. Apenas dois estudantes tiveram a ousadia de fazer algo.

Estudante de protocolo E – 40 apresenta a solução da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 mg &= 2\pi r\gamma \quad \text{Fórmula dada} \\
 mg &= 2 \times 2\pi \times 7,50 \times 10^{-2} \\
 &= 4\pi \times 300 \times 10^{-2} \\
 &= 4\pi \times 3 \times 10^{-5} \\
 &= 12 \times 10^{-5} \pi
 \end{aligned}$$

Observa-se uma falta enorme de condução de procedimentos matemáticos. Não tem clareza do uso de Notação Científica, embora saiba que poderia ser usada. Não apresenta o que se pede: a massa (m). Não utiliza o valor da aceleração da gravidade, embora na descrição de seus dados apareça  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . É possível que o surgimento da potência  $10^{-5}$  tenha algo referente à transformação da unidade do raio, mas não está claro. Parece mais um equívoco da estudante, ao considerar 300 como  $3 \times 10^2$ . Então é uma situação *Muito Crítica*.

Estudante de protocolo E – 34 apresenta a solução da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 mg &= 2\pi r\gamma \quad \text{Fórmula dada} \\
 m \times 10 &= 2\pi \times 2 \times 7,5 \times 10^{-2} \\
 &= 4\pi \times 7,5 \times 10^{-2} \\
 &= \pi \times 4 \times 10^0 \times 7,5 \times 10^{-2} \\
 m \times 10 &= \pi \times 30 \times 10^{-2} \\
 m &= \frac{\pi \times 30 \times 10^{-2}}{10 \times 10^0} \\
 m &= 3 \times 10^{-2} \times \pi
 \end{aligned}$$

Aqui se verifica que há uma continuidade procedimental de uso da linguagem da matemática de forma coerente. Os pequenos equívocos, como:  $10 = 10 \times 10^0$  é irrelevante, diante do quadro geral da turma. Um fato interessante dessa estudante é que, tendo a fórmula ela trabalha a questão. Mas, não presta atenção a unidade de medida do raio. Isto faz verificar que ela aplica o procedimento sem habilidade de trabalhar questões que envolvem a Física e a Matemática. Seu equívoco também se apresenta na resposta final onde não há a representação de unidade de medida. Esta estudante tem uma situação *Crítica*.

Os outros dois exercícios desse questionário nada foram apresentáveis para uma discussão, tanto esses dois estudantes quanto para o restante da amostra.

#### 4.3.2 O papel da linguagem Física no contexto da Biologia

A compreensão da Física enquanto ciência analítica e da sistematização de propriedades gerais, às vezes confundida como Matemática, mas que não é igual a ela, embora a Física também forneça instrumentos e linguagens que podem ser incorporadas por outras ciências, segundo Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Médio e, dentro desse contexto está à Biologia, o que sustenta na multidisciplinaridade sistêmica a justificativa de junção dentro da abordagem de ensino e, conseqüentemente da aprendizagem. Isto fornece o papel da linguagem Física junto à Biologia, na Educação Científica.

Essa linguagem da Física aqui desenhada justifica sua conexão com a Biologia no sentido de não criar nova disciplina ou nova lista de conteúdos, mas de ceder ao Ensino de Física a contextualização, com o fato de que todo conhecimento significativo é conhecimento contextualizado, e por contextualização, segundo obra citada, significa assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre sujeito e objeto e, o conhecimento escolar se vale da transposição didática<sup>21</sup> e, dessa forma, o papel da linguagem é fundamental dentro do contexto do ensino e da aprendizagem de Física.

Aqui deixo um evento de aula no contexto de fluido sobre a constituição do conceito de tensão, caminho para desenhar o conceito de tensão superficial. Observe o contexto de argumentações da Física sendo conduzida ao contexto da Biologia.

*P: Como ocorrem essas tensões?*

*E: É o sangue se movendo nas artérias.*

*P: Mas, como ocorre a tensão?*

*(Silêncio)*

*E: É o sangue se movendo e empurrando ..... (risos)*

*P: Empurrando as paredes das artérias, não é isto?*

*E: Acho que sim.*

*P: Claro. Pois estas paredes estão dentro de um limite físico de existência e, possui um volume de sangue que atravessa uma secção de área.*

*P: Porque isso é importante compreender na biologia?*

*E: Para manter o fluxo sanguíneo e transportar o oxigênio.*

*E: Caminho das hemácias.*

*P: E tudo isto tem papel importante no interior dos vasos capilares.*

<sup>21</sup> Conceito criado por Chevallard que significa *um conteúdo do conhecimento, tendo sido designado como um saber a ensinar, sofre então um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que, de um objeto de saber a ensinar faz um objeto de ensino, é chamado de transposição didática.* (Apud, PAIS, 2001, p.19). É um conceito muito apropriado para o Ensino de Física, no Ensino Médio, como tradução do objeto físico para uma linguagem em sala de aula usada no construto do saber escolar. Isso é essencial o professor compreender, uma vez que o compromisso do estudante não é o mesmo que o compromisso do cientista. E, assim sendo, o papel do professor é o de controle simbólico na construção dos saberes escolares, construindo uma linguagem (símbolos) próxima, pelo menos, da linguagem científica.

Agora se tem um evento de aula onde há necessidade do conhecimento da química no processo da multidisciplinaridade sistêmica, na construção do conceito de tensão superficial, além do contexto da Biologia ou da Ciência Biomédica.

*P: O que acontece com a interface se misturar água e álcool?*

*E: A interface da água vai mudar.*

*P: Por quê?*

*E: Porque vai haver uma mistura.*

*P: Ok. Vai ocorrer uma mistura que deve aumentar a tensão superficial....*

*E: (interrompe) ... é que há moléculas polares e apolares.*

*P: Exato. Então na superfície da água, agora com álcool, ocorre um fenômeno chamado de absorção pela interface, cujo princípio reside em aumentar ou diminuir a tensão superficial.*

*E: (Estudante que relatara a experiência de tensão superficial) É o caso de se usar detergente.*

*P: Por quê?*

*E: Para diminuir a tensão superficial.*

*P: Certo. Os detergentes são conhecidos como surfactantes ou tensoativos. Substâncias com esta propriedade estão associadas a uma molécula polar que tem atração eletrostática e uma molécula não polar eletricamente neutra. Desenhe a configuração dessa molécula.*

*P: Qual o papel desses surfactantes no conhecimento da biologia?*

*E: Acho que é o caso (que li, se expressa) do sangue que já tem seu colesterol (gordura, se expressa) e não se deve comer tanta gordura, pois existe o sangue bom HDL e o sangue ruim LDL.*

*P: Você ou alguém na turma sabe o que significa as siglas LDL e HDL?*

*(Silêncio na turma)*

*P: LDL (Low-Density Lipoprotein) e HDL (High-Density Lipoprotein) explicando seu significado enquanto composição do sangue.*

#### *4.3.3 Análise e reflexão do conteúdo tensão superficial*

A análise dessa questão tem pontos de interesse analítico distintos: primeiro é que a visão está centrada na água; não há indícios de visão de tensão superficial para outros líquidos. O segundo ponto é o conhecimento do significado de interface, mas que esse conhecimento está limitado ao contexto ar/água, ou seja, gás/líquido. Fato que conduziu a se trabalhar outras possibilidades e ampliar, nesse conjunto, a visão de outros líquidos. Isso pode ser compreendido na análise de um *evento em aulas*.

*P: Há um experimento “simples” no qual se toma um copo com água, cheio até a borda e, nele pode-se colocar (não jogar) moedas de R\$ 0,05 sem que a água derrame. O que estaria ocorrendo?*

*E: A água vai subindo e forma uma curva. Eu fiz esta experiência.*

*P: Porque esta curva? (Desenho feito na lousa).*

*E: Por causa tensão superficial.*

*E: Mas eu aprendi que o líquido pode ficar assim (com as mãos mostra a situação de o líquido ficar na forma côncava ou convexa) dentro de um tubo.*

*P: Correto. É o que se chama de meniscos (faço desenho na lousa).*

*E: isso mesmo.*

*P: Vamos voltar a esse caso ainda hoje, ok?*

*P: E como você compreende o significado de tensão superficial?*

*(Silêncio na turma)*

*P: sugiro levantar as mãos de estudantes que tenha estudado o tema tensão superficial na Educação Básica e, somente quatro estudantes levantam a mão. Pergunto então se eles viram o referido tema na disciplina Física ou Química, e dois confirmam terem visto em Física e dois em Química. Um dos que estudaram o tema em Química cita a experiência. Os quatros estudantes que levantaram as mãos viram o tema, entendi, de forma simples, pois não conheciam expressões físicas e matemática do tema, nem sua relação com a biologia. Na análise do questionário 1.1 quase 70% dos estudantes não compreendiam o tema.*

*P: Qual o significado de interface?*

*E: É algo que fica entre a água e o ar.*

*P: Caracterize outras interfaces:*

*E: Líquido – ar.*

*P: Ok. Você quis dizer Líquido – Gás.*

*E: Sólido – gás.*

*P: Ok. Dê-me um exemplo de ocorrência de interação dessa interface.*

*(Silêncio na turma)*

O terceiro ponto é o conhecimento de formação da gota de água quando esta se desvencilha de uma torneira ou conta-gotas, mas não viam a idealização de superfície mínima (formação de esfera da gota de água) e nem o fato de que o desprendimento da gota, imediatamente após deixar a abertura não se dava com toda sua massa. Foi necessário explicar a Lei de Tate (Apêndice A) no contexto da Física e da Matemática.

*No evento da aula foi mostrado as figura 1.1 e 1.2 (ver produto de ensino) e procurada saber qual interpretação os estudantes viam nessas imagens. O que se esperava tinha dois pontos: 1) a formação esférica da gota após a mesma soltar-se por completo da massa de água na borda da torneira, para com a figura 2.1 e, 2) a visão de que ao soltar-se por completo da borda da torneira havia perda (no sentido de deixar para trás) de massa. Mas tal realidade não foi atingida de modo satisfatório. Houve inferências de estudantes do tipo:*

*E: Na primeira (figura) vejo duas bolinhas, mas na segunda (figura) ....*

*E: Na segunda (figura) ficou um pouco da água na torneira, acho (risos).*

*E: Na primeira (figura) tem duas bolinhas e na segunda (figura) tem uma quase bola e um fio de água.*

*E: (Aplauso e risos).*

*P: Então o significado físico nas duas figuras é diferente?*

*E: acho que sim.*

*P: Na figura (mostro a segunda figura) porque na quarta etapa a forma da gota tem formato quase esférico, imediatamente após soltar-se da massa total da gota de água?*

*(Silêncio na turma)*

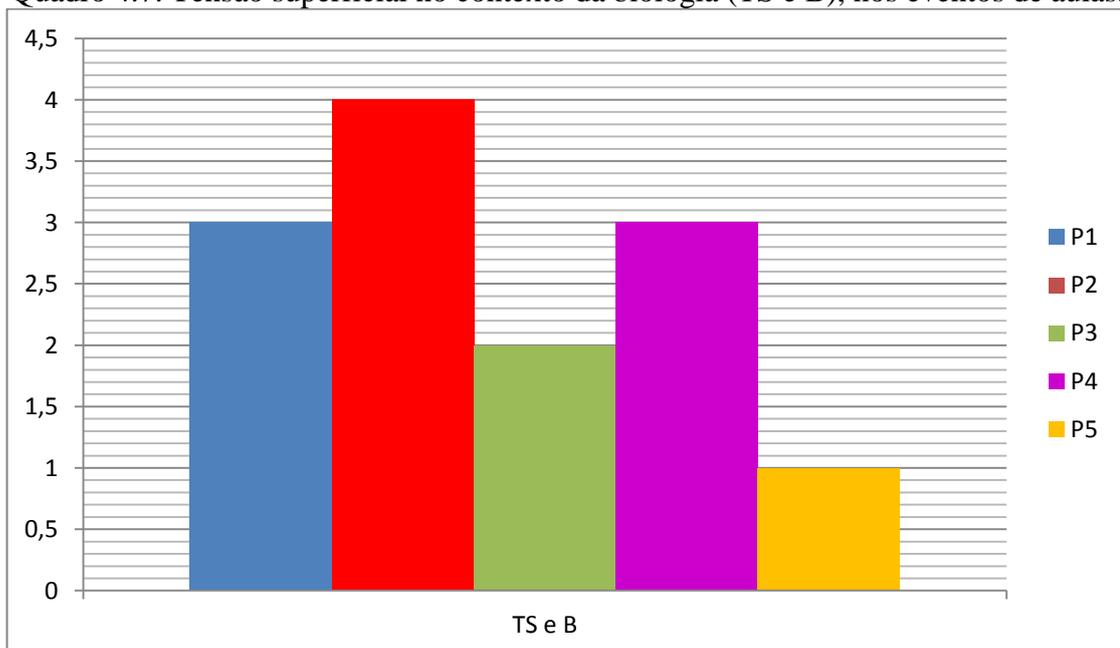
*P: Explica o que acontece e para surpresa, a compreensão de pressão estava nos estudantes como ação de cima para baixo. Eles não viam a ação da pressão agindo na gota de água por todos os pontos da mesma.*

O quarto ponto foi o não conhecimento de que a temperatura muda à tensão superficial. Entre estudantes, a mudança de tensão superficial se dava com a introdução de surfactantes ou tensoativos, por exemplo, na água. Esse é um fato verdadeiro e fora verificado com a maioria dos estudantes, mas isto se limitava ao conhecimento químico, pois houve verificação de que o tema tensão superficial fora vivenciado no Ensino Médio por professores de Química. Isso já fora exposto no segundo evento de aula visto na parte dessa análise no item “o papel da linguagem Física no contexto da Biologia”.

O quinto ponto é a ligação desse tema junto à Biologia. Verificou-se que este fato não é verdadeiro para maioria dos estudantes, como também não é a compreensão do tema dentro de uma linguagem matemática. Nesses dois pontos, foi necessária a intervenção do docente no sentido de produzir esses conhecimentos; a relação entre Física e Biologia, bem como as expressões de Física e Matemática, também cedendo informações Químicas e de uso desse conhecimento pela odontologia.

Nessa análise vista nos eventos de aulas, compreende-se, dentro das categorias já postas que: no primeiro ponto a mesma pode ser configurada como *Intermediário*; o segundo ponto como *Adequado*; o terceiro ponto como *Crítico*; o quarto ponto como *Intermediário*; o quinto ponto como *Muito Crítico*.

Quadro 4.7. Tensão superficial no contexto da biologia (TS e B), nos eventos de aulas.



Protocolo: Mario de Souza

Considerando a pontuação dada para cada uma dessas categorias, isso fornece um total de 13 pontos para os cinco pontos, o que revela *média* de 2,6 pontos, ou seja, a compreensão trazida pelos estudantes do Ensino Médio é *Crítica*. Daí a construção do Modelo Mental da Física no contexto da Biologia atende o princípio da economia nos modelos mentais na perspectiva de Johnson-Laird, pois a descrição do modelo existe, mas ainda é incompleta. Isso quer dizer que na análise da didática das Ciências as argumentações dos estudantes acerca de representações do objeto físico no contexto da Biologia ainda exigem a intervenção do professor no sentido de buscar a minimização do obstáculo epistemológico.

Revela-se nesse contexto que o conteúdo tensão superficial não é de modo geral ministrado por professores de Física, provavelmente, por não fazer parte da maioria dos livros didáticos de Física e, também por não estar ligado diretamente ao Exame Nacional de Ensino Médio (ENEM). Compreende-se que o referido conteúdo é vivenciado, muito ligeiramente, na disciplina Química, mas não é absorvido pela Biologia, nem pela Física e nem pela linguagem de Física e Matemática que envolve este conteúdo.

A reflexão que se tem desse conteúdo da Física no contexto da Biologia é de que o princípio do construtivismo: está presente no sentido de que a partir de alguns elementos básicos existe uma estrutura para representar um estado de coisas, uma vez que a descrição de um estado de coisas é representada por um só Modelo Mental, mesmo que essa descrição seja incompleta ou indeterminada Isso é função dos Modelos Mentais, que é representar estados de coisas: com um mecanismo finito para construí-los, como se pode verificar com os três primeiros pontos da análise antes produzida.

Esta verificação casa-se com os dois últimos pontos, na tentativa romper obstáculos possíveis e promover mais relações dentro do contexto físico de tensão superficial no contexto da Biologia, referendando buscar melhoras no processo de ensino e aprendizagem num processo de crescimento exponencial em complexidade do tema e sua contextualização, aumentando, em princípio, a semântica de cada elemento do Modelo Mental, incluindo suas relações estruturais, fazendo crescer o papel simbólico, do tema tensão superficial no contexto da Biologia.

#### *4.3.4 Análise e reflexão do conteúdo capilaridade*

Com relação a esse conteúdo há a visão de líquidos subir em tubos finos. Esse conceito está *Adequado* na maioria dos estudantes envolvidos na pesquisa, este é o primeiro ponto de análise. Fato mencionado no transcorrer da aula. O curioso é que a noção de

surfactantes está *Adequada*, mas a aplicação desse conhecimento físico no contexto da Biologia não está posto. Foi preciso a intervenção do docente para ação nessa direção, este é o segundo ponto de vista.

Outro fato interessante é o conhecimento social do tema quando se envolve o termo cabelo, embora com equívocos, sobre o termo capilar e da utilidade do cabelo enquanto propósito da Física e da Biologia, mas compreende-se que há uma fala dos estudantes na direção da mídia com respeito a estética e produtos para os cabelos.

Observe um evento de aula a partir da descrição da Lei de Laplace no fenômeno da capilaridade, fato eu norteia a análise dos cinco pontos de vistas aqui citados.

*P: Apresento a descrição do seguinte experimento. Há dois balões com ar. Um deles com raio  $R_1$  e outro com raio  $R_2$ . O raio  $R_1$  é maior que o raio  $R_2$ . Os dois balões estão conectados por uma torneira de passagem que no está fechada. A questão é. Quando se abrir a torneira de passagem o que ocorrerá com o volume dos dois balões (a figura está exposta na lousa).*

*E: O balão maior vai se esvaziar e o menor (balão) vai encher.*

*(Maioria da turma concorda com esta opinião)*

*E: Acho que vai entrar em equilíbrio, o balão menor vai se encher até ficar igual (mesmo volume) ao balão de raio maior que vai se esvaziar um pouco.*

*(Alguns estudantes aderem a essa ideia e desenrola-se disputa de ideias)*

*P: E qual das três ideias é a correta?*

*(Há clara visão de adesão da ideia do balão de maior volume diminuir e o de menor volume crescer, mas um aluno defende ao contrário).*

*E: O balão menor tem maior pressão e vai mandar o ar para o balão maior.*

*P: Exatamente.*

*E: Por quê?*

*P: Explico a lei de Laplace onde a variação de pressão é proporcional à tensão superficial do balão, mas é inversamente proporcional ao raio.*

*P: Onde esse conhecimento pode estar na biologia?*

*E: Tem a ver com os capilares?*

*P: Por quê?*

*E: Acho que tem a ver porque os capilares são fininhos.*

*P: Exato. Menor raio, maior diferença de pressão. Mas não somente com os capilares, veias e artérias também sofrem essa diferença de pressão.*

*P: Onde mais esse conhecimento pode ser absorvido na biologia?*

*(Silêncio na turma)*

*P: Nos alvéolos pulmonares. Nos pulmões existe uma secreção da mistura de lipoproteínas, segundo Okuno, por células secretoras especiais, que tem como efeito o de diminuir a tensão superficial, do mesmo modo como faz o detergente na água. Essas lipoproteínas são substâncias surfactantes, como é o detergente para água.*

*E: Isso tem a ver com capilaridade?*

*P: Que bom você citar isso! Qual a origem do termo Capilar?*

*E: Acho que é cabelo.*

*P: Sim. Capillus é a palavra que designa Cabelo.*

*P: Por que essa origem de significado?*

*E: Não sei bem, mas tem a ver com o fio do cabelo.*

*P: Correto. É um tubo fino chamado capilar. Mostro a figura de composição de um fio de cabelo e em seguida a figura de um fio de cabelo maltratado.*

*P: Vamos agora olhar para essa figura (mostro os meniscos). Isto acontece quando tubos finos são imersos em líquidos e, quanto mais fino, maior é a altura  $h$  que o líquido sobe (relativo a um nível de referência).*

*P: Que forças se originam nesse contexto?*

*E: Parece que é alguma coisa que faz o líquido se agarrar ali (aponta para figura na lousa).*

*P: Entendo. Você quer dizer que há força de adesão, certo. Mas há também a força de coesão. Explico a concepção dessas duas forças na capilaridade.*

*P: Onde esse conhecimento pode estar junto à biologia?*

*E: Nos vasos capilares e nas veias.*

*P: por quê?*

*E: Porque tem tamanhos diferentes (querendo dizer raios diferentes).*

*P: É a questão do xilema (que já tínhamos falado em aula).*

*P: Outro ponto interessante de uso desse conceito (molha, não molha) está para o tratamento de canal onde o líquido usado nesse tratamento exige-se ter maior contato possível (maior adesão) com as paredes dentinárias.*

*P: E como é a representação matemática desses estudos?*

*(Silêncio total)*

*E: Aí é o problema (risos)*

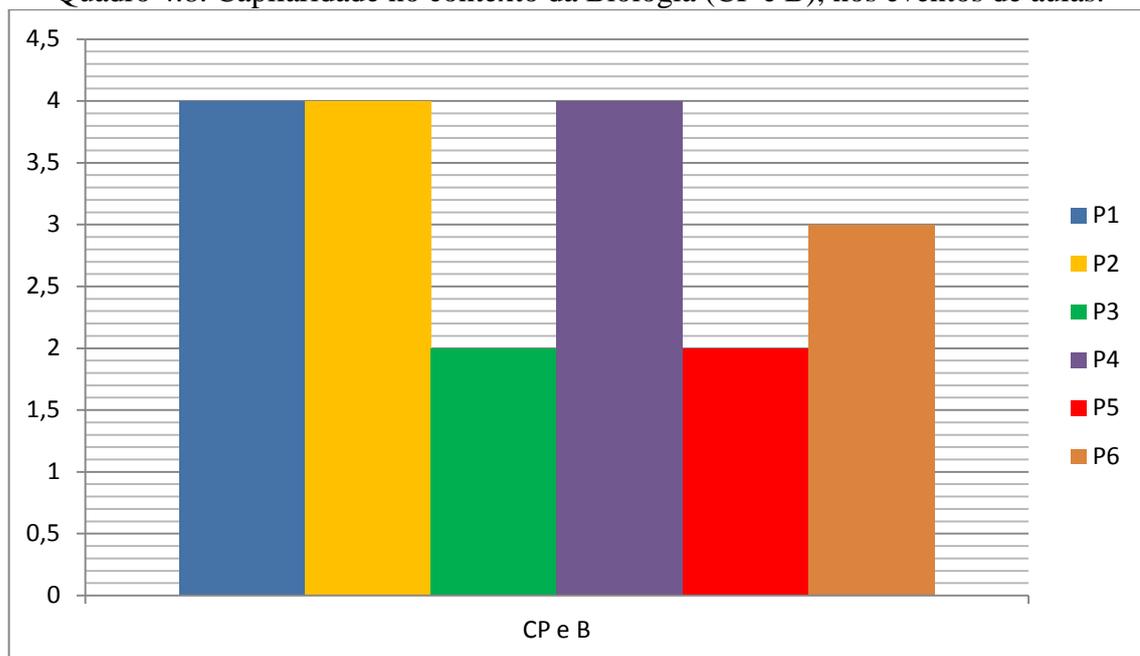
No contexto de conhecimento social, sobre o cabelo, nenhum estudante citou a proteção do couro cabeludo com respeito a agentes externos, como, por exemplo, a temperatura e a pequenos impactos, e nem citaram possibilidade de problemas para pessoas com calvície. A visão focou na estética, possivelmente devido à mídia cosmética.

Do ponto de vista da Biologia, não citaram a compreensão de cabelos como sendo composto de células mortas ao saírem do couro cabeludo. Não citaram como se dá a formação do cabelo e sua analogia com vasos capilares, o que é uma visão *Crítica*, este é o terceiro ponto analítico.

Do ponto de vista dos vasos capilares, importante ideia para compreender como se processo trocas de nutrientes e de gases com os tecidos e órgãos do corpo humano há a compreensão biológica *Adequada* (quarto ponto analítico), mas num olhar da Física envolvida no contexto, isto está ainda *Crítico* (quinto ponto analítico), isto porque faltam duas compreensões físicas: a) interações entre as forças de curto alcance e b) a compreensão Física da Lei de Laplace.

Há compreensão biológica da lipoproteína como surfactante nos alvéolos pulmonares, mas, de novo, não compreendem a Física da Lei de Laplace no contexto de explicação para esse fenômeno; também conhecem a rede de capilares que estão presentes por entre sacos alveolares que sobre pressão osmótica e atmosférica cumpre seu papel biológico. Dentro do da Física no contexto da Biologia este é um conceito *Intermediário*, sexto ponto analítico.

Quadro 4.8. Capilaridade no contexto da Biologia (CP e B), nos eventos de aulas.



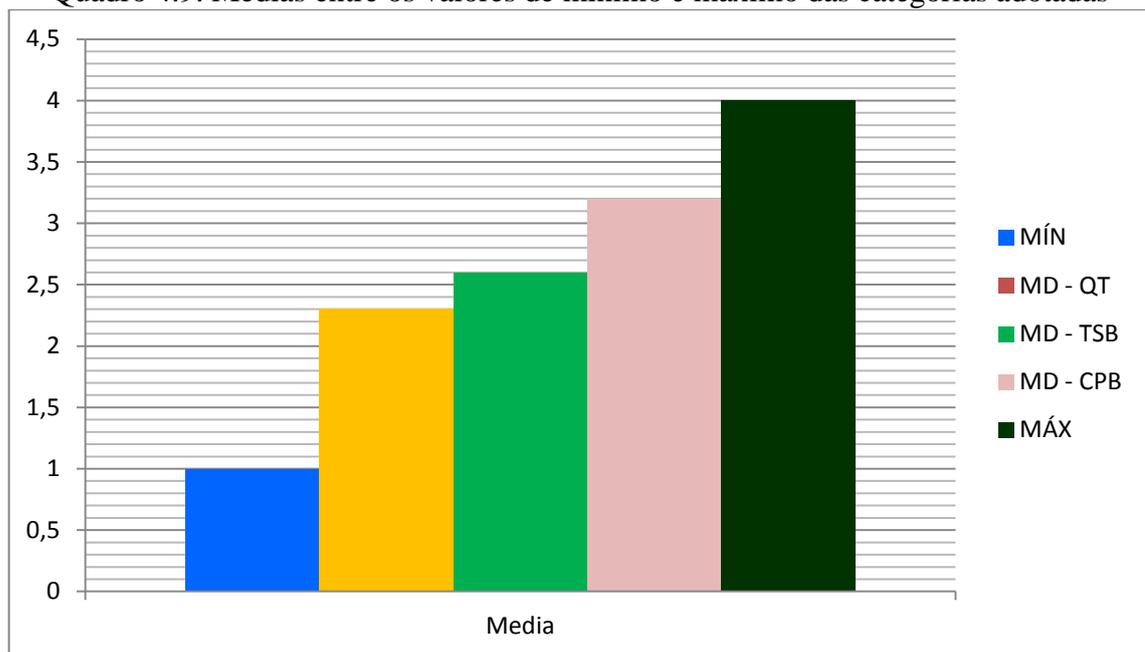
Protocolo: Mario de Souza

Esses seis pontos nas categorias idealizadas somam 19 pontos e média de 3,2 pontos, ou seja, é um conceito *Intermediário*, com tendência a ser *Adequado*. Embora tenha sido necessária a intervenção docente para desenvolver pontos da Física e Matemática no contexto da Biologia de modo a favorecer o rompimento de obstáculos. A reflexão é a mesma do item anterior. Ou seja, há um modelo mental para o conceito de capilaridade, porém ainda não completo, mas dentro do esperado para esse tema, dado o nível da turma.

#### 4.3.5 Análise e reflexão da metodologia multidisciplinar sistêmica

Compreendendo que nas categorias (AD, IT, CR e MC) com seus respectivos pontos (4, 3, 2, 1), respectivamente, gera um valor mínimo (1 ponto) e um valor máximo (4 pontos). Dentro dessa realidade e, tecendo um olhar crítico e analítico para: a) o questionário 1.2 que tem média de 2,3 e envolve tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, b) para os eventos de aulas, para tensão superficial no contexto da Biologia, com média de 2,6 e c) para a compreensão de capilaridade no contexto da Biologia com média de 3,2, pode-se dizer que, é possível, dentro da realidade de aplicação da metodologia multidisciplinar e sistêmica que foi possível construir um modelo de um conceito físico no contexto da Biologia. Esse fato pode ser apreciado no quadro 4.9 no qual se mostra a evolução dos construtos a partir da comparação desses valores médios e os limites extremos.

Quadro 4.9. Médias entre os valores de mínimo e máximo das categorias adotadas



Protocolo: Mario de Souza

Esse contexto de realidade da pesquisa metodológica, que está na visibilidade de uma turma que terminou a Educação Básica e está inserida numa Educação Superior, pelo menos, em princípio; isto é um diferencial de outras possíveis realidades institucionais na qual esta metodologia pode ser aplicada. Mas, independente desse fato, esse estudo pode gerar outras contextualizações da multidisciplinaridade sistêmica, entre Física e Biologia, em diferentes salas de aula do Ensino Médio.

Essa exposição serve de base, para professores de Física, no sentido de aplicação dessa metodologia, que em seus espaços de prática pedagógica terão características de realidade diferentes da que está aqui sendo analisada, mas que este fato não é um impedimento para a aplicação da referida metodologia, uma vez que o princípio aqui compreendido é o de que o conhecimento verificado nessa metodologia esteja dentro das realidades institucionais.

Daí se ter como um dos objetivos específicos dessa metodologia multidisciplinar e sistêmica, um Produto de Ensino (Apêndice A) que irá se maturar em sua aplicação no contexto da epistemologia do professor e de suas realidades institucionais.

Faz-se saber que não está sendo posto uma verdade inabalável, mas a possibilidade de tornar o Ensino de Física, além de suas relações, necessárias, no contexto disciplinar, ao contexto de ciências da natureza, um caminho metodológico dentro da prática multidisciplinar e sistêmica, como forma de verificar o entrelaçamento de redes de saberes, onde a cultura, a vida/social, façam parte do sistema Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, atrativo e possível de superar obstáculos de visão de mundo no século XXI.

Nesse contexto analítico e reflexivo dessa metodologia, nessa pesquisa, o ponto de destaque é compreender que o questionamento que induz essa pesquisa foi correspondido.

Claro que este *sim* não significa aprendizagem de 100 % para todos os temas que envolvem ou envolveram o processo de Ensino de Física e de sua aprendizagem para os conteúdos de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

Entende-se que nesse caminhar, houve e há problemas de interpretação da linguagem Matemática aplicada a conhecimentos da Física, afinal esses estudantes são do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas e a disciplina tem carga horária de 30 horas-aulas. Também não houve experimentos, embora exemplos deles e de sugestões experimentais fossem usadas quer seja nas aulas ou no questionário 1.2.

Qual a importância em se estudar Física no contexto da Biologia, junto a Química e a Matemática<sup>22</sup>? Questão posta para verificar a compreensão da prática metodológica por estudantes da turma quer eles sejam participativos da amostra ou não. Observe respostas interessantes para a análise e reflexão dessa metodologia. Será atribuída a nomenclatura “Equipe X”, “Equipe Y” e “Equipe Z”.

Equipe X. Todas as áreas do conhecimento são voltadas para melhoria da vida humana. A física tem uma maneira própria de explicar as coisas no mundo buscando a regularidade na conceituação e quantificação das grandezas investigando os fenômenos. A importância em estudar física junto à biologia, química e matemática (as ciências da natureza) é entender as diversas faces que pode ter um fenômeno, ou até mesmo algo simples, chamamos isso de multidisciplinaridade não analisando restritamente as coisas (Por estudantes de protocolos: E- 26; E – 32 e E – 21).

Equipe Y. Inicialmente é muito comum observar como a biologia, a física, a química e a matemática, são tratadas no Ensino Médio, na maioria dos casos, com pouca ou quase nenhuma relação entre si. No Ensino Superior, no entanto, a interseção entre essas quatro disciplinas acontece de forma cada vez maior. É através da química, por exemplo, que se compreende como as reações orgânicas ocorrem, como se dá a interação (por meio dos orbitais moleculares) entre um fármaco e os tecidos, etc.; por meio da física, compreende-se, através de grandezas como a pressão, por exemplo, como pode vir a ocorrer uma ruptura de vaso sanguíneo pela presença da hipertensão, ou mesmo, através do fenômeno da capilaridade, apresentar sobre a fluidez do sangue e o transporte de diversos fluidos orgânicos no corpo. A matemática, então, é a linguagem que permite a compreensão desses casos, seja por meio da estatística, da representação gráfica, dos estudos de mapeamento genético, etc.; e, tradução, em linguagem matemática, daquilo que a química e a física falam de biologia (Por estudante de protocolos: E – 38; E – 05; E – 34; E – 03 e E – 08).

Equipe – Z. De início parecem áreas distintas, mas é possível perceber a grande ligação entre elas. A física, matemática e química são importantíssimas para o entendimento da biologia, por muito tempo a física, a química e as ciências biológicas formavam uma grande área do conhecimento chamada de filosofia natural e parte da biologia foi influenciada pela física onde estudiosos tinham como objetivo de encontrar novas leis da física com os estudos de organismos biológicos (Por estudantes de protocolos: E – 12; E – 43; E – 40; E – 01 e E – 31).

---

<sup>22</sup> Trabalho de grupo com até cinco estudantes, onde essa questão fora posta para se ter ideia da percepção dos estudantes sobre essa visão de compreensão do Sistema Ciências da Natureza.

A análise das repostas dessas equipes de trabalho estudantil demonstra, em princípio, que eles buscaram por respostas, o que não deixa de ser uma ideia boa, mas que, além disso, há aspectos de intervenção pessoal em seus contextos e, de modo geral, a Matemática se torna presente, não somente nessas equipes, como nas demais e, destacam-se algumas afirmações de interesse, das falas/escritas citadas: *“toda a área de conhecimento são voltadas para melhoria da vida humana”*; *“a física tem uma maneira própria de explicar as coisas”*, *“a importância em estudar física junto à biologia, química e matemática (as ciências da natureza) é entender as diversas faces que pode ter um fenômeno”*, *“chamamos isso de multidisciplinaridade não analisando restritamente as coisas”*, *“é muito comum observar como a biologia, a física, a química e a matemática, são tratadas no Ensino Médio, na maioria dos casos, com pouca ou quase nenhuma relação entre si”*, *“tradução, em linguagem matemática, daquilo que a química e a física falam de biologia”*, *“parte da biologia foi influenciada pela física onde estudiosos tinham como objetivo de encontrar novas leis da física com os estudos de organismos biológicos”*.

A reflexão que se *conclui* é de que quanto aos aspectos de compreensão da didática das Ciências no estudo das representações dos alunos, de seus modos de raciocínio e de maneira como decodificam as expectativas de ensino foi bom e foi buscado em todo processo de ensino e aprendizagem, pois a busca por ampliar contextos dos conteúdos de Física no contexto da Biologia foi o modo de intervenção do docente a fim de sugerir uma gama de possibilidades e não seu fechamento numa modalidade única de intervenções junto aos estudantes. Esse foi o papel de condução do modo de operar a metodologia já explicitada.

Nesse contexto se buscou verificar a construção de percepções a cerca do Modelo Mental na perspectiva de Johnson-Laird, através de uso do conhecimento de seus princípios, e tomando a linha de pensamento de que uma das funções do professor é o de controle simbólico, entende-se que no princípio de identidade estrutural as representações mentais sobre tensão superficial e capilaridade foram decodificadas com maior aproveitamento no contexto da Biologia, como função de contextualização de buscar significados na compreensão conceitual dos objetos da Física, o que pode ser visto como construído um Modelo Mental nos estudantes para tensão superficial e capilaridade, dentro dos princípios da mecânica dos fluidos mesmo que em seus modelos possam coabitar, além dos conceitos científicos e experiências perceptivas de habilidades motoras e culturais a respeito desses objetos da Física, ideias paralelas da não cientificidade.

Assim o papel da Didática das Ciências na perspectiva de Astolfi, da Teoria de Aprendizagem nos Modelos Mentais na perspectiva de Johnson-Laird e os Processos

Investigativos na perspectiva de Ana Maria Pessoa de Carvalho formaram o trio de aplicação, análise e reflexão de todo esse processo na perspectiva qualitativa estruturada no arcabouço de ideias da Metodologia Científica que formaram o caminho de construção do Produto de Ensino para professores de Física, denominado: *A multidisciplinaridade sistêmica como metodologia de ensino: Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia.*

#### 4.3.6 O papel da mídia na condução metodológica

Para evidenciar o processo de construção das contribuições oriundas da metodologia multidisciplinar sistêmica fora feito uso de mídias. O fato foi proposto para suprir o problema de aulas somente nas quartas feiras (para o primeiro período de licenciatura em Ciências Biológicas em 2016.1) e, desenvolver uma cultura de acesso midiático ao facebook.

Desse modo, foi aberto pelo autor desse trabalho (Paul Dirac de Souza no facebook), um grupo fechado onde se postou o seguinte texto, por Mario de Souza (2016):

Este GRUPO tem o objetivo de contribuir parra com o desenvolvimento da Disciplina FÍSICA APLICADA A BIOLOGIA, do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, da Universidade de Pernambuco, Campus Mata Norte e, neste sentido está dirigido aos estudantes e professores envolvidos neste processo de Ensino e Aprendizagem. Dentro desse conceito, as publicações neste Grupo só serão aceitas se estiverem no contexto da Disciplina, tais como: Textos, Vídeos, Filmes, Aulas, Notas de Aulas, Discussões no Grupo sobre a Disciplina, sobre o Ensino e a Aprendizagem e outros contextos afins.

Com isso, disponibilizaram-se aulas, vídeos, artigos, textos, atividades, avisos dentre outras informações que julgar necessária ao curso e ao contexto de conteúdos em pauta. Foi uma experiência muito rica. Pude visionar argumentos (escritos) de estudantes em atividades e análise de vídeo ou filme, incluso discussão a posteriori em sala de aula, apresentar vídeos para contextualizar temas abordados na sala de aula, ou para complementar a aula, textos para leitura de conteúdos específicos, e inclusive respostas dos questionários de pesquisa de alguns estudantes por essa via de comunicação.

No início do curso a prática midiática não foi absorvida pelos estudantes, mas depois de procurar saber os motivos de alguns estudantes terem “curtido” a atividade e não terem respondido, houve, após essa discussão em sala de aula, uma total aceitação e participação.

Dessa forma, o papel da mídia no uso do ensino e da aprendizagem para os conteúdos de Física no contexto da Biologia na metodologia multidisciplinar e sistêmica, foi importante para os professores e estudantes envolvidos.

Inclusive, em um dos processos avaliativo na perspectiva de avaliação formadora, foi desejado que os estudantes ao escreverem suas respostas nas tarefas buscassem conhecimento na internet (texto e vídeos), mas que fizessem uso de um filtro de informações sobre o que está buscando de modo a evitar informações desqualificadas, já que a internet é um espaço público e democrático.

Essa prática pode ser adotada pelo professor do Ensino Médio, onde acrescento o uso do WhatsApp no contexto midiático como forma de promover discussões a cerca de temas expostos em aulas, ou de informações, bem como o uso de E-mail.

#### *4.3.7 Dados sobre o “gostar” ou “não gostar” de Física.*

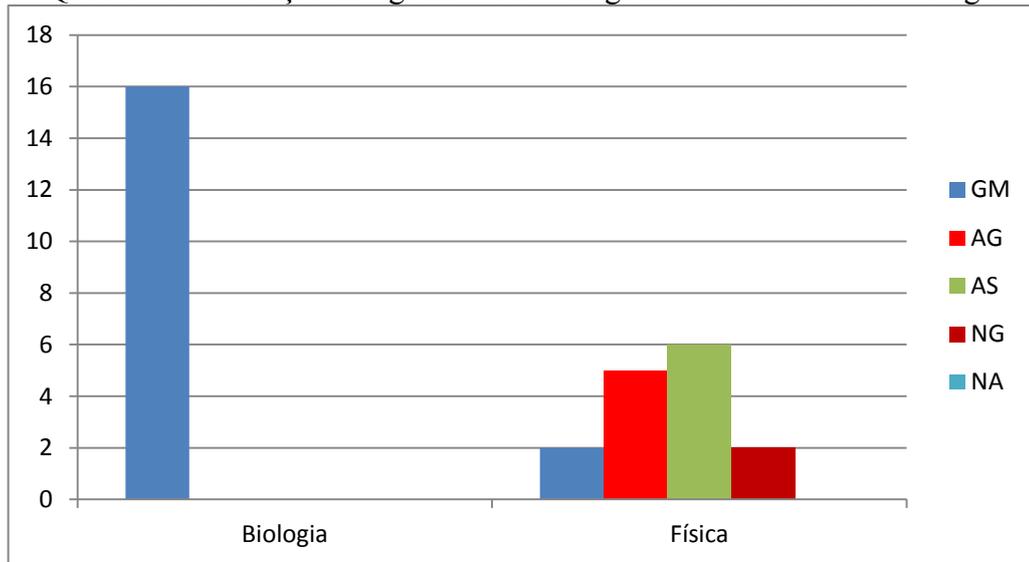
No contexto do questionário 1.0, procura-se verificar como os estudantes envolvidos na pesquisa estabelecem um gosto ou não pela disciplina Física, uma vez que para Biologia, essa apreciação tem significância.

Assim, outro dado de interesse nesse trabalho foi o de conhecer sobre o “gostar” ou “não gostar” de Física. Isto foi procurado saber, pois são estudantes do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas e, evidentemente, todos escolheram o curso por afinidade à Biologia, o que fora vista como concordância, mas o olhar para a Física, tinha interesse, pois o trabalho estava no construto de conceitos em Física no contexto da Biologia. Para tal, atribuem-se as categorias (pontos): Gostar Muito (GM = 5); Apenas Gosta (AG = 4); Apenas Simpatiza (AS = 3); Não Gosta (NG = 2) e Não Aprecia mesmo (NA = 1). Para Biologia todos os estudantes da amostra afirmam Gostar Muito. Para Física, o resultado foi: 2 para GM; 6 para AG; 5 para AS; 3 NG e 0 para NA.

Isso foi buscado no propósito de estabelecer um parâmetro de inserção dos conceitos físicos, numa linguagem Física e Matemática ou trabalhar os conceitos físicos dentro do contexto da Biologia e, buscar percepções e construções argumentativas de como estudantes está construindo seus modelos físicos a respeito dos conteúdos a serem vivenciados. Essa percepção foi traçada pelos professores da disciplina, depois do diagnostico da turma.

As respostas dos estudantes fez conduzir o curso com ênfase na Física, casando com o contexto da Biologia, de forma mais enfática, de modo que os resultados surgiram no transcorrer da disciplina, no sentido de construção de um modelo mental para tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia;

Quadro 4.10. Relação do “gostar” e o “não gostar” de Física e/ou Biologia



Protocolo: Mario de Souza

Observa-se que, para a Física o resultado aponta para o fato ver a disciplina como simpatizantes, isto talvez por tê-la visto no Ensino Médio. Assim, a proposta de metodologia multidisciplinar e sistêmica, pode ser apreciada pelo professor em execução, na construção de controle simbólico, na decisão por inserção de mais linguagem Física e Matemática do conteúdo tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia ou trabalhar só o conceito físico, diminuindo (não abandonando) a intensidade da linguagem Física e Matemática.

## Capítulo 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho aqui desenvolvido foi configurado na proposta de criação e inovação de uma metodologia para o Ensino de Física, baseada em dois pressupostos: a visão de sistema e a visão de multidisciplinaridade.

Esta visão comunga com a visão de mundo do século XXI, assentada no conhecimento (princípio da *crença justificada*) e na informação/comunicação enquanto *alimento de códigos que atravessam o canal de comunicação até seu decodificador*, e que busca como princípio a vida no contexto da associação da técnica (e da tecnologia) no mundo hoje.

Esta compreensão está dentro do arcabouço de que o Ensino de Física ora desenhado foi visto dentro do processo argumentativo de construção da linguagem científica, casando com a ideia de Carvalho (2012), no sentido de que “a linguagem da ciência é argumentativa”, ou seja, “é necessário apresentar argumentação com justificativas para transformar fatos (científicos<sup>23</sup>) em evidências” (p. 23), o que se revelou na multidisciplinaridade entre Física e Biologia como metodologia de ensino.

Nessa direção, a circunscrição dessas argumentações no sentido de construir conceitos em Física, na estrutura das percepções e dos argumentos, dos estudantes, na visão sistêmica das Ciências da Natureza, foi estruturada dentro dos processos investigativos, da didática das Ciências Naturais e numa teoria de aprendizagem, como componentes estruturais do contexto multidisciplinar e sistêmico, enquanto método de ensino.

Assim, se essa metodologia descrita, se insere num processo de ensino que visa ser colaborativo, construtivo, crítico, analítico, lógico e dialogado na perspectiva de trocas de informações processuais que estão nas estruturas internas e externas de estudantes com vistas a produzir um modelo de percepção acerca do objeto de estudo físico em pauta, então ela é uma forma possível de produzir aprendizagem em Física no contexto da Biologia.

Isso porque, o diálogo argumentativo tem a perspectiva de olhar os estudantes, nesse processo de metodológico, como colaborador e partícipe ativo, também, de sua aprendizagem.

Assim, essa forma metodológica é possível, mas dentro de uma teia que envolva estudantes, professores e conteúdos, este último, estruturado, também, nas relações sociais, visão de mundo e de vida, que, junto às experiências (enquanto indivíduo e/ou grupo) dos estudantes e de suas habilidades motoras, casadas com a produção de seus argumentos (falas, escritas, desenhos) os quais se apresentam como possibilidades de aprimoramento das percepções e representações na construção de conceitos em Física, interior ao sistema das Ciências da Natureza. Essas considerações foram buscadas no processo pelas contribuições

---

<sup>23</sup> Inclusão do termo por Mario de Souza.

acerca de conceitos físicos tensão superficial e capilaridade, enquanto linguagem Matemática, Física, Química e no contexto da Biologia.

Esse desenho metodológico, enquanto aplicação pedagógica, pode ser introduzida no Ensino Médio, na série em que o professor se sentir apto a difundi-la, mas que, para melhor conduzir esse processo metodológico, *aconselha-se* elaborar um projeto de ensino para vivenciar esse contexto. Está é, apenas, uma *orientação* ao Professor de Física (ou professores) da Unidade Escolar, junto ao Produto de Ensino (Apêndice A), que pode ter participação do Professor de Biologia e/ou de Química, se assim desejar o Professor de Física, em sua prática de ensino. Esta necessidade ímpar está na compreensão de uso do tempo e da realidade de cada unidade escolar, são distintos e multifacetais, daí ser preciso tornar compatíveis os espaços e tempos escolares os quais estão inseridos os atores nesse processo.

Sendo assim, diante da construção e aplicação deste estudo, comunica-se que o mesmo não se revela como um fim em si mesmo. Ele tem apenas a pretensão de preencher a lacuna dos princípios da mecânica dos fluidos, na parte de hidrostática, para tensão superficial e capilaridade, criando a inovação da *metodologia de ensino multidisciplinar e sistêmica*, para viabilizar a compreensão dos referidos conceitos usando o contexto da Biologia, interior ao sistema das Ciências da Natureza, integrando-o com a Matemática e as diversas Tecnologias.

Muito embora esse estudo seja específico para o Ensino Médio, ele pode se apresentar em cursos de profissionalização cuja afinidade com o tema seja pertinente.

Esse fato assenta-se na contemporaneidade do mundo em constante transformação, como nos dias de hoje, fato que urge no indivíduo a capacidade de utilizar o conhecimento como valor de agregação social e, ao mesmo tempo, fazer ver indivíduo na perspectiva do mundo do trabalho, colocando-o na categorização de produtor de bens o que o agrega ao valor tecnológico e materializa o processo educativo na sua função social e cidadã.

Por fim, considera-se que este trabalho pode avançar na construção de uma pesquisa entre Física e Biologia, para a *densidade* e a *pressão*, de modo que, junto à tensão superficial e capilaridade venha a contemplar toda Hidrostática, indo posteriormente a Hidrodinâmica.

E no caso dos princípios educacionais essa metodologia multidisciplinar e sistêmica dentro da visão de mundo que ora se esmera neste século pode ter o avanço de construção de um Projeto Interdisciplinar, que teria nessa consideração três pontos de interesses mútuos e entrelaçados: *Ciência* (não mais a exclusividade de ciências da natureza), *Tecnologia* (não mais exclusiva para um objeto, mas dentro da visão de mundo, enquanto desenvolvimento, sustentabilidade e filosofias contemporâneas no contexto da vida) e a *Educação*, agora com mais elementos determinantes de confrontos filosóficos, princípio da complexidade, e numa teia relacional entre cultura e sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGOTTI, José A. Peres. Docentes habilitados, capacitados e a nova CAPES. (In, GARCIA, *et. al.* (org.); **A Pesquisa em Ensino de Física e a Sala de Aula: atualizações necessárias**, São Paulo: Livraria da Física, 2012). Capítulo VII, p. 319-327.

ASTOLFI, Jean-Pierre & DEVELAY, M. **A didática das ciências**. 4ª Ed. (Tradução de Magda Sento Sé Fonseca: La didactique des sciences. © Presses Universitaires de France, 1989). Campinas, São Paulo: Papirus, 2013 (2ª reimpressão).

BICALHO, Lucineia Maria; OLIVEIRA, Marlene. **Aspectos conceituais da multidisciplinaridade e da interdisciplinaridade e a pesquisa em ciência da informação**. Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 16, n. 32, p. 1-16, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/viewFile/1518-2924.2011v16n32p1/19336>>. Acesso em 18 de ago. de 2015.

BRANDÃO, Marcus Lira (Org.). **As bases biológicas do comportamento: introdução à neurociência**. São Paulo: EPU, Pedagógica Universitária (USP), 2004.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida** uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. (Tradução de Newton Roberval Eicheberg: The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems). São Paulo, Cultrix, 2006.

\_\_\_\_\_. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. (Tradução de Marcelo B. Cipolla: The Hidden Connection). São Paulo: Cultrix, 2005.

CARLOS, Jairo Gonçalves. **Interdisciplinaridade no ensino médio: desafios e potencialidades**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2007. Disponível em <[http://bdtd.bce.unb.br/tesdesimplificado/tde\\_arquivos/64/TDE-2007-08-31T085820Z-1698/Publico/Jairo%20Goncalves%20Carlos.pdf](http://bdtd.bce.unb.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/64/TDE-2007-08-31T085820Z-1698/Publico/Jairo%20Goncalves%20Carlos.pdf)>. Acesso em 19 de ago. de 2015.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de (2012), Formação e Prática Profissional de Professores de Física. In: GARCIA, Nilson Marcos Dias, *et. al.* **A pesquisa em Ensino de Física e a sala de aula**. São Paulo: Livraria da Física, 2013. Capítulo I, p. 21-43.

CASSIRER, Ernest. **A filosofia das formas simbólicas: A Linguagem**. (Tradução Marion Fleischer: Philosophie der symbolischen formen – die sprache) São Paulo: Editora Martins Fontes, 2001, Coleção Tópicos.

CORDIOLLI, Marcos. **O Currículo e as relações de inter, multi, trans, pluri e polidisciplinaridade na escola: Notas para debate conceitual**. TEMAS em Educação I; s1, Futuro, 2002, p. 303-314. Disponível em <[https://cordioli.files.wordpress.com/2009/06/cordioli\\_e004\\_disciplinaridade\\_ed01\\_print1.pdf](https://cordioli.files.wordpress.com/2009/06/cordioli_e004_disciplinaridade_ed01_print1.pdf)>. Acesso em 30 de set. de 2014.

GARCIA, Aurora Leal (1999). Teorias do Significado da Linguagem. In: MORENO, Montserrat, *et al.* **Conhecimento e mudança**. Coordenação Ulisses F. Araújo. (Tradução de Ana Venite Fuzitto: Conocimiento y Cambios). São Paulo: Moderna & Editora da Universidade de Campinas – UNICAMP, SP. 1999. Capítulo 3, p. 56-75.

HADJI, Charles. **Avaliação desmistificada**. (Tradução: Patrícia C. Ramos. L'évaluation désmythifiée. © ESF éditeur, 1997). Rio Grande do Sul: Artmed, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). Qualidade da educação: Uma nova leitura do desempenho dos estudantes da 3ª série do ensino médio. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade\\_educacao.pdf](http://download.inep.gov.br/download/saeb/2004/qualidade_educacao.pdf)>. Acesso em 06 de mai. de 2016.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora EPU, 1999, 195p.

\_\_\_\_\_. **Modelos mentais**. Rio Grande do Sul, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS: Porto Alegre: Brasil. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N3/moreira.htm>>. Acesso em 26 de mar. de 2002.

\_\_\_\_\_. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Livraria de Física, Porto Alegre, 2011.

MORIN, Edgar; et. al. **Educar na era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana**; (Tradução de Sandra Trabucco Valenzuela; Éduquer Pour L'Ère Planétaire. La pensée complexe comme Méthode d'apprentissage dans l'erreur et l'incertitude humaines). São Paulo: Cortez, Brasília: UNESCO, 2003.

\_\_\_\_\_: **Ciência com consciência**. (Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória, Science avec Conscience). Edição revisada e modificada pelo autor, 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

\_\_\_\_\_; **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. (Tradução de Eloá Jacobina. La Tête Bien Fait – Repenser la reforma, reformer la pensée). 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

NICHOLAS, J. S. **Ross G. Harrison 1870–1959**. Memória bibliográfica. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington D.C, Copyright 1961. Disponível em <<http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/harrison-ross.pdf>>. Acesso em 26 de ago. de 2015.

NÖTH, Winfried. **Panorama da semiótica: de Platão a Pierce**. São Paulo: Annablume, 1995 (Coleção E).

NUSSENZVEIG, H. Moysés. (org.). **Complexidade e caos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/COPEA, 2003, 280p. (Conjunto de conferências realizadas em 1995/1996, no Seminário Complexidade e Caos).

PIRES, Marília Freitas de Campos. **Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino**. Interface - Comunicação, Saúde, Educação. UNESP, v. 2, n. 2, p. 173-182, 1998. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/30363>>. Acesso em 16 de ago. de 2015.

SANTOS, Silvana S. Costa; LUNARDI, Valéria Lerch; ERDMANN, Alacoque Lorezini e CALLONI, Humberto. **Interdisciplinaridade: a pesquisa como eixo de formação/profissionalização na saúde/enfermagem**. Revista Didática Sistemática, v 5, Trimestral, Janeiro-julho, 2007. ISSN 1809-3108 Disponível em <[http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/631/Interdisciplinaridade\\_a\\_pesquisa.como.eixo.d](http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/631/Interdisciplinaridade_a_pesquisa.como.eixo.d)>

[e.forma%C3%A7%C3%A3o\\_profissionaliza%C3%A7%C3%A3o.na.sa%C3%BAde\\_enfermagem.pdf?sequence=1](#) >. Acesso em 16 de ago. de 2015.

SILVA, Ítalo Batista. **Uma pedagogia multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar para o ensino/aprendizagem da física.** Anais do 2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. Belo Horizonte – 12 a 15 de setembro de 2004. Disponível em <<https://www.ufmg.br/congrent/Educa/Educ173.pdf>>. Acesso em 30 de set. de 2014.

SZAMOSI, Géza. **Tempo & Espaço as dimensões gêmeas.** Rio de Janeiro: Editora: Jorge Zahar, 1988.

**Apêndice A**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
Unidade Acadêmica de Garanhuns

# **TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR**

(Produto de Ensino de Física)

**Por Mario de Souza**

**A MULTIDISCIPLINARIDADE SISTÊMICA COMO METODOLOGIA DE ENSINO**  
Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia

GARANHUNS / PE  
JULHO / 2016.

## SUMÁRIO

<b>1. Tensão Superficial</b> .....	79
1.1. Significado de tensão superficial .....	79
1.2. A compreensão de Interface na tensão superficial .....	82
1.3. Os três estados da matéria na visão clássica da Física .....	84
1.4. Os elementos Físicos e Matemáticos da tensão superficial .....	85
1.4.1 Tensão superficial representação matemática .....	86
1.4.2 Tensão superficial e trabalho realizado sobre a superfície .....	87
1.4.3 Tensão superficial para líquidos puros .....	87
1.4.4 Tensão superficial e alcance molecular .....	88
1.4.5 Lei de Tate .....	90
1.4.6 A força peso da agulha sobre a superfície da água .....	91
1.4.7 Inseto sobre a superfície da água .....	92
1.4.8 A variação de pressão e formação dos meniscos .....	94
1.4.9 Lei de Laplace .....	96
<b>2. Capilaridade</b> .....	100
2.1. Ângulo de contato .....	105
2.2. Determinação da altura capilar .....	106
2.3. Tensoativos ou surfactantes: a Física das interações moleculares .....	107
<b>3. Tensão Superficial e Capilaridade no contexto da Biologia</b> .....	109
3.1. Pontos que podem ser tratado no conteúdo densidade .....	110
3.2. Pontos que podem ser tratado no conteúdo pressão .....	110
3.3. Pontos que podem ser tratado no conteúdo tensão .....	116
3.4. Pontos que podem ser tratado no conteúdo tensão superficial. ....	117
3.5. Pontos que podem ser tratado no conteúdo capilaridade .....	118
3.6. Elementos midiáticos que podem complementar a metodologia em exposição ...	122
3.7 Compreendendo a Física do Equilíbrio: um complemento ao contexto físico .....	126
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	130

## 1. TENSÃO SUPERFICIAL

O caminho do conhecimento físico neste produto de Ensino de Física está na significação de tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, na perspectiva da metodologia de ensino multidisciplinar e sistêmica.

Esse contexto visa colocar o tema, dentro do sistema que envolve as Ciências da Natureza, a Matemática e suas Tecnologias e, também, na visão social e cultural que esse tema pode proporcionar junto aos estudantes, relativo às suas experiências vividas ou de algum conhecimento adquirido, mesmo que tosco, sobre tensão superficial e capilaridade..

Nessa perspectiva, *outros* conteúdos físicos devam fazer parte relacional ou integrador da construção dos conceitos de tensão superficial e capilaridade, tais como a compreensão de *atmosfera* que irá se casar com *densidade e pressão*, e o conceito de *tensão*, *foco* trazido para dar significado junto à tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia.

### 1.1 O significado físico de tensão superficial

Fisicamente, todo corpo tem na caracterização material, além da massa, a dimensão de volume (três dimensões). Mas, por vezes a caracterização se dá na forma de comprimento (uma dimensão) ou de área (duas dimensões). Estas duas últimas caracterizações Físicas estão contidas na *geometria do material*. Por exemplo, um trilho ou um fio é caracterizado como uma linha, enquanto que uma placa é caracterizada com superfície, que possui uma área. Embora, tanto a linha quanto a placa tenha existência Física de três dimensões. Este fato cria o conceito físico que relaciona objeto físico com essas dimensões, conhecidas como lineares, superficiais e volumétricas.. Assim, para o objeto físico massa, tem-se a densidade linear de massa (m/L), densidade superficial de massa (m/A) ou densidade volumétrica de massa (m/V) que é o conceito de densidade. Não muito diferente isto, também, é feito com o objeto físico força peso, onde se representa estas razões por:

$$\gamma = \frac{P}{L} \quad Eq. 1.1$$

$$p = \frac{P}{A} \quad Eq. 1.2$$

$$\delta = \frac{P}{V} \quad Eq. 1.3$$

Na categorização dessas equações, a primeira é chamada de Força Efetiva. A segunda de Pressão e, a terceira de Peso Específico.

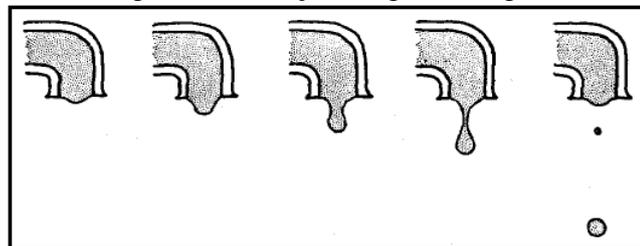
A segunda equação se estabelece na conceituação Física da força peso aplicada perpendicularmente numa área sobre uma superfície S, o que se compreende como a força peso que pressiona (comprime) a área, sobre a referida superfície, na qual atua a força peso.

A equação 1.3, é propriedade específica do material ou peso específico.

$$\delta = \frac{P}{V} \quad \therefore \quad \delta = \frac{mg}{V} \quad \therefore \quad \delta = \frac{m}{V}g \quad \therefore \quad \delta = \rho g \quad \text{Eq. 1.4}$$

Desse modo, no Sistema Internacional de Medidas (SI), a água tem peso específico de  $9,80 \text{ N/m}^3$ , enquanto que no Sistema Técnico de Medidas a mesma tem peso específico de  $1,00 \text{ kgf/m}^3$ . Semelhantemente, o mercúrio que tem peso específico,  $\cong 133,34 \text{ N/m}^2$  no SI e,  $\cong 13,60 \text{ kgf/m}^3$  no Sistema Técnico de Medidas. Esses elementos farão parte do contexto físico em que se busca compreender o significado de Tensão Superficial na contextualização Física, que se iniciará na compreensão da formação da gota de água por uma torneira que pode ser apreciado em suas etapas conforme a figura 1.1.

Fig. 1.1 Formação da gota de água



Fonte, ROGERES<sup>24</sup>.

Nessa figura 1.1 têm-se duas análises físicas importantes: *primeira*, a ação do Campo Gravitacional sobre a massa  $m$  na gota d'água; *segundo*, a formação esférica da gota d'água após desprendimento total da membrana tensional da água.

Nesta fase, a gota d'água experimenta ação do Campo Gravitacional na massa de água tornando-se esférica, por ação do Campo, uma vez que não existem preferências direcionais do Campo. A esfera é a geometrização de energia mínima de formação; seu volume é menor, guardada corretas proporções, que de outra figura como, por exemplo, um cubo. Vejamos essa comparação entre áreas de uma esfera (A) e um cubo (S) com volumes iguais.

Uma esfera tem volume  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$  e Área  $A = 4\pi R^2$  Para que um cubo de aresta "a" tenha o mesmo volume da esfera de raio R, deve-se ter:

<sup>24</sup> Physics for the Inquiring Mind, p. 87 (Ver bibliografia).

$$\text{Volume do cubo é } a^3 \quad \therefore \quad a^3 = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad \therefore \quad a = R \left(\frac{4}{3}\pi\right)^{1/3}$$

Então a área do cubo, representada por S é dada por:

$$S = \text{área do cubo} = 6a^2 = 6 \left(\frac{4}{3}\pi\right)^{2/3} R^2 = 6 \left[\left(\frac{4}{3}\pi\right)^2\right]^{1/3} R^2$$

A razão entre a área do cubo (S) e a área da esfera (A) é dada por:

$$\frac{S}{A} = \frac{6 \left[\left(\frac{4}{3}\pi\right)^2\right]^{1/3} R^2}{4\pi R^2} = \frac{6 \left[\frac{(4\pi)^2}{9}\right]^{1/3}}{4\pi}$$

Elevando ao cubo a razão S/A tem-se:

$$\left(\frac{S}{A}\right)^3 = \frac{6^3 \times (4\pi)^2}{9 \times (4\pi)^3} = \frac{216}{9 \times (4\pi)} = 1,91$$

O que leva a:

$$\frac{S}{A} = \sqrt[3]{1,91} = 1,24 \quad \text{ou} \quad S = 1,24 A$$

Compreende-se assim que o *esforço menor* é para formação da esfera que tem superfície de área menor que para o cubo de mesmo volume. Isto indica que há realização de um trabalho físico sobre a superfície da gota d'água devido a Tensão Superficial, na sua interface, fazendo uso físico do *Princípio de Mínima Ação*.

*Como então compreender uma superfície sobtensão superficial?* Tomando a visão figurativa ou experimental da água num recipiente aberto em contato com o ar numa temperatura ambiente é possível remeter, num primeiro momento, de forma tácita, uma comparação da superfície da água com uma fina membrana de borracha que cobre a abertura de um recipiente (um copo). Ao tocar na membrana de borracha tem-se a sensação de suas pequeníssimas oscilações devido a sua elasticidade e esta visão conecta, de forma tácita, com a membrana da água num recipiente, na interface entre a água e o ar, enquanto modelo físico.

Isto faz compreender que a água, nas condições normais de temperatura e pressão (CNTF), divide regiões que não se misturam (água e ar), tem superfície de tensão na interface entre ela e o ar. É evidente que este fenômeno também ocorra entre superfícies como entre sólida-líquida, dentre outras.

## 1.2 A compreensão de interface na tensão superficial

O que é, então, uma interface? Compreende-se como fina camada que existe entre duas superfícies em contato, onde sair de uma região para outra há mudanças de propriedades Física ou Química. Assim, quando a água sai do estado líquido para o estado de vapor ou vice versa, ocorrem mudanças de propriedades Físicas, como a densidade e pressão na região da interface, ou região de espessura zero (modelo que extrapola o contexto da membrana Física).

A interface é um lugar de transformações e tem haver com o líquido em questão, por exemplo, a água a temperatura de 20 °C, tem tensão superficial igual a  $\gamma = 73 \text{ dyn/cm} = 7,3 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ , porem esse resultado pode ser alterado se for mudada a composição Química da água, por exemplo, com a adição de solutos.

Assim, ao adicionar álcool (substância polar) na água, deve ocorrer interação molecular entre as moléculas da água e as do álcool; nesse processo o álcool produz aumento de tensão superficial; essa variação deve-se ao fato de concentrações mais efetiva na superfície dessa mistura que na região interior da mesma. Esse efeito é chamado de *absorção na interface*. É um processo físico e químico, que ocorre no limite entre as duas faces.

Observa-se com isto que a atividade superficial tem natureza Química, pois, do mesmo modo que o álcool aumenta a tensão superficial da água, o detergente faz ao contrário, pois, o detergente possui estrutura Química não polar. Em geral, as moléculas polares, denominadas de hidrofílica, têm estruturas que proporcionam afinidade com a água, diferente das não polares, conhecidas como hidrofóbica, que não tem afinidade com a água.

Nesse sentido, compreende-se que, além da afinidade superficial, há dependência da temperatura para a tensão superficial. Pois, se há aumento de temperatura, há aumento do grau de agitação das moléculas, ou aumento da energia cinética molecular.

Este efeito produz diminuição tensorial de vibração dessas moléculas em torno de um ponto, enquanto aumenta a energia cinética, tornando menos efetiva à força entre elas, fato que contribui com a diminuição da tensão superficial, na região da interface do sistema físico-químico. Esse é também um fato experimental. E, observar-se que a tensão superficial da água a 0 °C é  $7,6 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ , enquanto que a 4 °C é  $7,4 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ ; cria-se a relação de que: a temperatura cresce quando a tensão superficial,  $\gamma$ , diminui.

A dependência da tensão superficial com a temperatura foi descoberta pelo físico Húngaro Lóránd Baron von Eötvös (1848 – 1919) que estudara esse particular tema entre 1876 e 1886 junto com Franz Neumann em Königsberg, estabelecendo uma lei, em 1886:

$$\gamma V_m^{2/3} = C_E(T_C - T) \quad \text{Eq. 1.5}$$

$$C_E = 2,1 \times 10^{-7} \text{ J/Kmol}^{2/3} \quad \text{é a Constante de Eötvös}$$

$$V = M/\rho \quad \text{onde } M \text{ é a Massa Molar e } \rho \text{ é a densidade}$$

( $\gamma$  é a tensão superficial em N/m;  $V$  é o volume molar em  $\text{m}^3/\text{mol}$ ;  
 $T$  temperatura do sistema em K;  $T_c$  temperatura crítica em K)

A publicação do trabalho desse físico na Alemanha tem o nome de Roland, embora o mesmo tenha publicado tanto na Alemanha quanto na Hungria. Às vezes é conhecido por Roland, Barão de Eötvös, título húngaro chamado Vásárosnaményi Báro Eötvös Lóránd, ou Barão Eötvös de Vásárosnaményi, cidade húngara que faz fronteira com a Ucrânia, nos mapas atuais, segundo Connor e Robertson em 2006, pela Enciclopédia Britânica<sup>25</sup>.

Valores mais precisos da equação 1.5 foram obtidos experimentalmente por trabalho de químicos e esta equação passou a ser chamada de Lei Ramsey e Shields ou:

$$\gamma V_m^{2/3} = C_E(T_c - T - 6) \quad \text{Eq. 1.6}$$

Observe que quando  $T = T_c$  na equação 1.5 a tensão superficial deve ser nula, pois nessa temperatura a interface da superfície de tensão desaparece porém, *experimentalmente*, não é o que ocorre; a ocorrência do fato de desaparecer o menisco (interface onde ocorre a tensão superficial) está abaixo da temperatura crítica, ou  $T = T_c - 6$ . Daí ser a equação 1.6 de origem experimental e teórica. O fato é que esta equação é parte do fenômeno de tensão superficial numa interface, embora ela não seja própria para os argumentos de relacionar associação e dissociação de compostos químicos.

Outra análise Física na interface da tensão superficial é a queda de uma gota de água de uma torneira. A gota se forma com massa inicial  $M$  que vai se soltando da “boca” da torneira e neste processo a equação 1.2 faz valer sua aplicação, pois há a intensidade da força peso agindo sobre a massa da gota de água que deve se anular na forma vetorial (ação por toda superfície) com a tensão superficial, segundo Pilling.

Experimentalmente, verifica-se que a gota não se rompe na superfície da “boca” da torneira ou tubo por onde está passando. Há um processo de contração da gota entre dois níveis de estiramento do estilete de água, e esse fato físico faz com que a massa  $m$  da gota despreendida seja menor que a massa  $M$  da gota ideal ( $m < M$ ) e, esse fato acarreta o fator de contração  $f$ , conforme figura 1.2 que fornece subsídio para a Lei de Tate.

---

<sup>25</sup> Disponível em: <<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Eotvos.html>>. Acesso em 27 mar. de 2016.

Fig. 1.2 Fotografia de uma gota de água caindo



Fonte: Pilling<sup>26</sup>.

Antes da massa de água se tornar esférica, percebe-se que um percentual de sua massa fica preso à superfície de tensão superficial. Isto pode ser comparado com as figuras 1.1 (desenhada) e 1.2 (com câmara de alta velocidade).

### 1.3 Os três estados da matéria na visão clássica da Física.

Observa-se que, além do elemento físico tensão, a questão da temperatura e da energia que se estabelecem na membrana tensional, outras compreensões microscópicas devem ser esclarecidas, pois o contexto físico da tensão superficial está conjugado com fluidos.

Nesse ambiente, o fenômeno da tensão superficial exige uma compreensão dos estados da matéria, que na visão clássica; estão os três estados físicos que podem ser compreendidos como, compostos de moléculas ou íons que oscilam em torno de ponto fixo, para sólidos; enquanto que nos líquidos e gases as moléculas não possuem ponto fixo e, trocam de lugares num contínuo movimento aleatório, principalmente na natureza Física dos gases.

Isso produz a *diferença* entre líquidos e gases que está na força de interação entre moléculas, que no caso dos líquidos, são mais fortes que no caso dos gases, por isso se compreende a questão de líquidos tomarem as formas dos recipientes que ocupam, enquanto que gases ocupam todo o volume finito, por terem expansão volumétrica como característica física de ocupação gasosa num volume finito. Outra diferença é que líquidos admitem superfícies livres, como líquidos em repouso num recipiente, enquanto gases não admitem tal propriedade Física.

<sup>26</sup> PILLING, Sérgio. Texto de Físico-Química Experimental. Prática 5, sobre tensão superficial, para alunos do Bacharelado e Engenharia Química da Universidade do Vale do Paraíba em São José dos Campos – SP, disponível em <[http://www1.univap.br/spilling/FOE2/FOE2\\_Introducao.ementa.pdf](http://www1.univap.br/spilling/FOE2/FOE2_Introducao.ementa.pdf)>. Acesso em 24 mar.de 2016.

Essas características microscópicas explicam *outras diferenças* entre líquidos e gases, como o fato dos gases poderem ser comprimidos num volume finito, mas tal fato não é verdadeiro para líquidos; outra diferença, é que, se misturarmos água e óleo num recipiente, observa-se que a mistura não ocorre, e isto quer dizer que, na maioria das vezes a junção de líquidos não predomina a miscibilidade, enquanto que para gases isso é quase sempre verdadeiro. Exemplo: o ar que respiramos é composto de diversos gases, sendo o oxigênio, um deles.

Fazendo recorte para gases e líquidos, compreende-se que estes elementos físicos têm a *propriedade* de escoar ou fluir, e assim, *fluida é uma substância que pode escoar através dum duto* (condutor), como no caso do sangue que flui em artérias, veias e capilares.

#### **1.4 Os elementos físicos e matemáticos da tensão superficial.**

O fenômeno de tensão superficial apresenta uma geometria característica de produzir curvaturas (côncava ou convexa) no interior de um recipiente, fazendo com que o mesmo abandone a característica de superfície plana. Estas curvaturas são chamadas de menisco. E para a ocorrência dessa geometrização existem fatores que influenciam a tensão superficial:

1. Natureza química dos materiais: interface entre dois líquidos depende da assimetria das fases entre esses líquidos.
2. Temperatura, como já fora explicitado no contexto desse trabalho.
3. A interface entre as duas substancia e sua interação físico-química.
4. Interações moleculares ocorrem com forças que as mantém coesas, ou forças de coesão; tipo de Van der Walls ou pontes de hidrogênio.
5. As forças atrativas intermoleculares são dependentes da distância entre moléculas e são desprezíveis quando a distância é da ordem de  $10 \text{ \AA}$  ou  $1 \text{ nm}$ . Isto quer dizer que o campo de ação física dessas forças está limitado ao que se chama de alcance molecular.
6. Daí a presença de solutos, como as moléculas polares aumentam a tensão superficial da água (álcool) e moléculas não polares diminuem (detergente).
7. O conceito de tensão superficial foi associado à Energia Livre de Gibbs, que não será abordado neste trabalho<sup>27</sup>, que é uma componente da termodinâmica.

---

<sup>27</sup> Isto porque o destino deste produto de ensino é para o Ensino Médio e, este tema exige um condicionamento matemático não condizente para com o referido nível de ensino.

8. Outra componente termodinâmica da tensão superficial usada são os efeitos de concentrações em soluto para descrever a superfície de excesso, também estudada por Gibbs.

Esses fatores conduzem as consequências físicas para que se assentem a construção Física na linguagem Matemática sobre Tensão Superficial.

#### 1.4.1 Tensão Superficial: representação Matemática

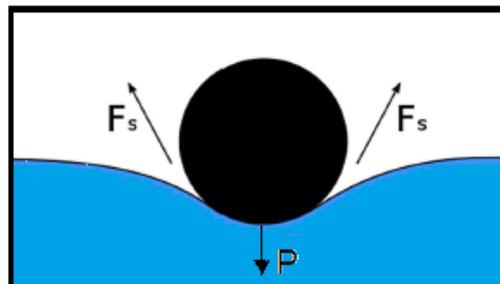
Um objeto, como uma agulha ou um clipe usado para agrupar papeis, pode flutuar na superfície da água. Fisicamente, a pequena ação da intensidade da força peso do objeto é igual a ação da tensão superficial do referido objeto que flutua na água mesmo que a densidade da agulha ou do clipe seja maior que a densidade da água.

A tensão superficial é *definida* como sendo a ação de forças tangenciais que resultam da interação de forças moleculares interiores e na superfície do líquido, cuja resultante é uma força de intensidade que age num ponto perpendicular a uma distância L, longitudinal do plano da superfície. Sendo assim, a tensão superficial é para *qualquer líquido*, representada matematicamente por:

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad \text{Eq. 1.7}$$

Essa compreensão pode ser vista na figura 1.3 onde se observa a agulha sobre a superfície da água, num corte vertical, e as forças superficiais  $F_s$ .

Fig. 1.3 Visão da agulha num corte vertical.



Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_tension](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension)>. Acesso em: 24 mar. de 2016.

Ou seja, forças tangenciais de superfícies com intensidade  $F_s$  e a força tangencial de origem do peso da agulha de intensidade P, mantém o equilíbrio físico. Isso mostra a visão de forças tangenciais sobre ação numa superfície tensionada.

*Fisicamente*, a tensão superficial exprime força por unidade de comprimento necessária para manter o perímetro da superfície que envolve a substância *fechado* e, sendo assim, essa força age tangencialmente à superfície e perpendicularmente ao perímetro da superfície, segundo Okuno (1982).

#### 1.4.2 Tensão superficial e trabalho realizado sobre a superfície

Observe a equação 1.1, tratada como força efetiva, aplicada num ponto perpendicular ao comprimento, e a equação de significado físico idêntico, com  $F \equiv P$ .

Ambas com representações Físicas e Matemáticas idênticas com significados particulares, mas no que diz respeito ao trabalho realizado sobre a área da superfície tensionada, há de fato a identidade energética. Pois:

$$\gamma = \frac{P}{L} = \frac{mgL}{L^2} = \frac{W}{A}$$

$$\gamma = \frac{F}{L} = \frac{FxL}{L^2} = \frac{W}{A}$$

Ou seja, de modo geral:

$$\gamma = \frac{W}{A} \quad Eq. 1.8$$

Isto diz que, dada uma superfície S há ação da força sobre um comprimento longitudinal L nesta superfície, produzindo energia potencial por unidade de área (A) que correspondente ao trabalho realizado pela força para produzir a configuração *superficial mínima*, com temperatura constante, fato físico que possibilita realizar variação de trabalho motor (positivo) ou resistente (negativo), sobre a superfície na capilaridade.

$$W = \gamma A \quad Eq. 1.9$$

#### 1.4.3 Tensão superficial para líquidos puros.

Outro conceito de tensão superficial, já referendado nesse texto, compreende ação de forças moleculares que conduzem a superfície do líquido serem mínima geram um trabalho,

num processo isotérmico (e isobárico) que pode ser reversível, para aumentar a superfície em uma unidade de área, ou seja, a tensão superficial é a energia livre (energia que pode ser usada para realizar trabalho) superficial. Daí a compreensão dada por Gibbs,

$$\gamma = \left( \frac{dG}{dA} \right)_{n, p, T} \quad \text{Eg. 1.10}$$

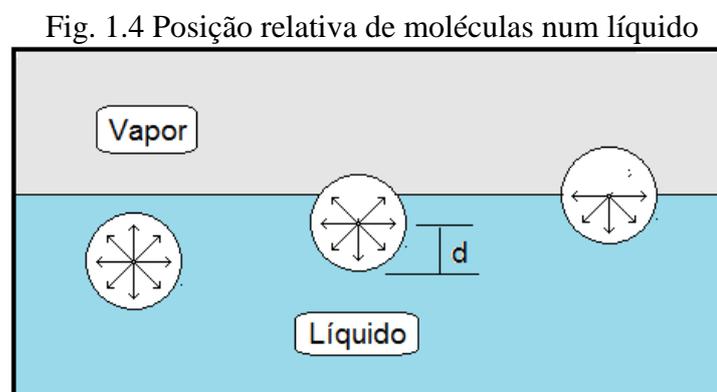
Onde  $\gamma$  é a tensão superficial;  $G$  é a energia livre de Gibbs, medida em Joules;  $A$  é a área, medida em  $\text{m}^2$ ;  $n$  é o número de moles (constantes) na amostra;  $p$  é a pressão (constante) e  $T$  é a temperatura (constante); sendo assim, a unidade de tensão superficial é  $\text{J}/\text{m}^2$ . Porém vale ressaltar que esta aplicação só é validada para *líquidos puros*, nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

Essa compreensão Física reporta ao fato de que os estudos da Tensão Superficial, também, estão inseridos no contexto da Termodinâmica.

#### 1.4.4 Tensão superficial e o alcance molecular

A força de atração entre moléculas num líquido têm comportamentos que diferem do fato destas moléculas estarem dentro ou na superfície. Considere a figura 1.4, onde há uma situação de três posições possíveis e diferentes de uma molécula ocuparem num líquido.

A primeira posição, lado esquerdo da figura 1.4 a molécula se encontra no interior do líquido e, nessa situação a força atrativa resultante sobre ela é nula.



Fonte. Adaptado de <<http://coral.ufsm.br/gef/Fluidos/fluidos20.pdf>>. Acesso em 24 mar.de 2016.

Na posição mais ao centro, a molécula se encontra numa posição menor que a distância  $d$ , aproximadamente  $1,0 \text{ nm}$  ( $10^{-9} \text{ m}$ ) e, nessa situação a resultante de forças sobre

esta molécula não é nula; há mais moléculas do líquido na porção limitada pela distância  $d$ , que na porção menor para atingir a superfície; nesse caso, há uma componente resultante, apontando para baixo.

Na posição do lado direito se encontra uma molécula na superfície, nesse caso a força resultante é diferente de zero, porém, diferente da molécula central, que tem resultante da soma vetorial de componentes resultantes no eixo vertical, esta tem resultante máxima, apontando para baixo, pois não tem outras componentes de forças na linha vertical, a soma vetorial aponta toda para baixo.

Fisicamente, a variação de trabalho realizado para que a superfície diminua, promove o deslocamento molecular que se dar para o interior do líquido, e assim, a energia associada à realização desse trabalho é positiva.

Enquanto que, a variação de trabalho é realizada para a superfície aumentar, o deslocamento molecular ocorre no sentido do interior do para a superfície do líquido, e assim a energia associada à realização desse trabalho é negativa.

Dessa forma a variação do trabalho realizado por forças moleculares, por unidade de área, deve explicitar a Física da tensão superficial no líquido; tomando essa energia como sendo necessária para diminuir a superfície (positiva) e negativa para aumentar (trabalho resistente) a superfície, compreendendo então o significado físico de tensão superficial na linguagem energética, explicitada na forma:

$$\Delta W = -\gamma \Delta A \quad Eq. 1.11$$

Isso porque, no caso da força ter resultante voltada para baixo a área final é menor que a área inicial e assim a variação de área será negativa, o que leva a se ter a variação de trabalho positiva e, no caso contrário, a variação de área é positiva implicando na variação de trabalho é negativa, ou trabalho resistente.

Fato físico que dá notoriedade a tensão superficial da água. Esse fato não é isolado e está ligado ao conceito de pressão na formação dessas superfícies.

Fisicamente isso que dizer que para dada superfície, há uma força capaz de realizar um trabalho de modo a aumentar esta superfície até um limite muito próximo de seu rompimento; esta mudança de configuração superficial é a energia potencial “gasta” na forma de variação do trabalho realizado pela força (tensão) superficial, daí sua compreensão de valor negativo.

### 1.4.5 Lei de Tate

A Lei de Tate é uma aplicação para medir a tensão superficial em líquidos. Também conhecida como Método do Peso da Gota. Observe a figura 1.5.

A análise Física é a de que a gota se forma com um diâmetro AB, mas à medida que vai se despreendendo há um afunilamento do diâmetro (CD).

Mas, supondo que não haja o afunilamento, o peso da gota deve se igualar com a força de tensão em AB.

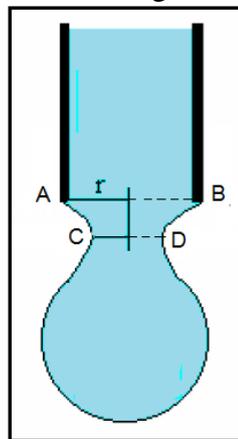
$$\sum F_y = 0 \quad \therefore \quad F_\gamma - P = 0 \quad \therefore \quad F_\gamma = P$$

$$\text{Como } \gamma = \frac{F}{L} \quad \therefore \quad F_\gamma = \gamma L \quad \text{onde } L = 2\pi r \quad \therefore \quad F_\gamma = \gamma(2\pi r)$$

$$\text{Sendo assim } \gamma(2\pi r) = P \quad \text{ou} \quad \gamma(2\pi r) = Mg$$

$$\gamma = \frac{Mg}{2\pi r} \quad \text{Eq. 1.12}$$

Fig. 1.5 Peso da gota de água



Fonte. Adaptada de: Pilling<sup>28</sup>

Esse fato vale para a gota ideal. Mas, fisicamente, a massa M da gota ideal, não é totalmente despreendida do tudo. Há um resíduo de massa que se prende ao tudo.

Logo, a massa m da gota despreendida é menor que M por um fator positivo e menor que a unidade e maior que zero.

<sup>28</sup> PILLING, Sérgio. Texto de Físico-Química Experimental. Prática 5, sobre tensão superficial, para alunos do Bacharelado e Engenharia Química da Universidade do Vale do Paraíba em São José dos Campos – SP, disponível em <[http://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2\\_Introducao.ementa.pdf](http://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2_Introducao.ementa.pdf)>. Acesso em 24 mar. de 2016

$$M > m \quad \therefore \quad Mf = m \quad \therefore \quad M = \frac{m}{f} \quad \text{sendo} \quad 0 < f < 1$$

Dessa forma a equação 1.11 se torna:

$$\gamma = \frac{mg}{f(2\pi r)} \quad \text{Eq. 1.13}$$

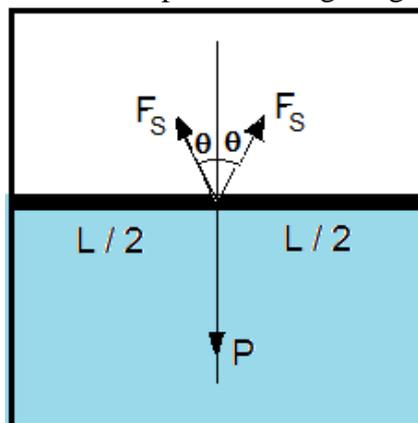
Na análise dessa equação 1.13 pode-se dizer que o fator  $f$  tem dependência com o raio do tubo e com o volume da gota e, sabendo do fato físico de que líquidos se dilatam, evidentemente que este fator deve também ter uma dependência com a temperatura, segundo Pilling (s/d).

Experimentalmente, medir a massa de apenas uma gota pode produzir erros de medidas consideráveis, para minimizar esse efeito mede-se a massa de  $n$  gotas.

#### 1.4.6 A força peso da agulha sobre superfície de água

Traçando a visão da figura 1.3, para a agulha de comprimento  $L$ , submetida a duas forças superficiais  $F_S$  fazendo um ângulo  $\theta$  com a vertical e a força peso. Isso pode ser visto na figura 1.6. Onde no eixo  $x$  não há contribuição Física da resultante de forças.

Fig. 1.6 Forças tangenciais na superfície da água agindo sobre uma agulha



Protocolo: Mario de Souza

Como a força superficial  $F_S$  tem mesma intensidade, logo suas componentes nos eixos  $x$  e  $y$  serão idênticas:

$$\text{Eixo } x \quad F_{S(x)} = F_S \text{ sen } \theta \quad \text{Eixo } y \quad F_{S(y)} = F_S \text{ cos } \theta$$

$$\sum F_x = 0 \quad \therefore F_S \sin \theta - F_S \sin \theta = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad \therefore F_S \cos \theta + F_S \cos \theta - P = 0$$

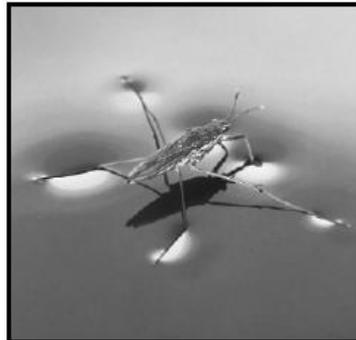
$$P = 2F_S \cos \theta \quad \text{como } \gamma = \frac{F_S}{L} \quad \text{logo } F_S = \gamma L$$

$$P = 2\gamma L \cos \theta \quad \text{Eq. 1.14}$$

#### 1.4.7 Inseto sobre a superfície de água

Outra consequência da tensão superficial da água é o passeio de pequenos insetos na superfície, fato da aplicação de Física na Biologia. Sendo assim, qual é então a condição Física para que isso ocorra?

Fig. 1.7 Inseto sobre a superfície da água



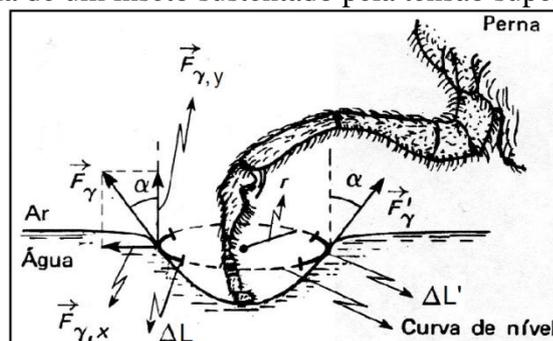
Fonte. Disponível em:

<<http://dragon.unideb.hu/~kolloid/colloid/lectures/chembsc/lecture%2003.pdf>>.

Acesso em 24 mar. de 2016.

Suponha um inseto com  $n$  pernas, em *repouso* sobre a água. Mas, para a análise Física, vamos considerar apenas uma pata do inseto sobre o líquido, conforme figura 1.8.

Fig. 1.8 Perna de um inseto sustentada pela tensão superficial da água



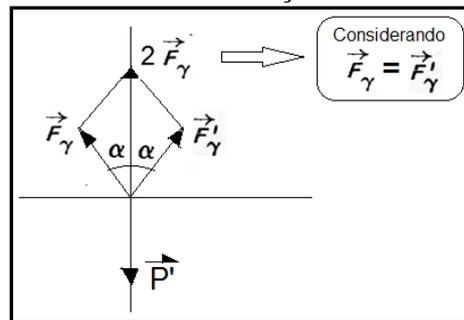
Fonte. Adaptada de OKUNO (1982, p.329).

A força  $F_\gamma$  tem ação em cada ponto da superfície do líquido depressionada e é tangencial a esta superfície e perpendicular a cada curva de nível, que passa no ponto de interesse. Esse é o caso em que o inseto exerce seu movimento promovido por ação biológica.

Observe a figura 1.9 que, as componentes horizontais da força de tensão se anulam, conforme já visto no cálculo da força peso da agulha; enquanto que as componentes verticais (eixo y), de mesmo sentido e direção se somam, promovendo a resultante R, no eixo y, de forças que atua sobre o comprimento  $\Delta L$ .

Isto porque o inseto está sendo considerado em repouso (equilíbrio). Assim, no caso de haver movimento em certa direção, o procedimento físico é não considerar a força  $\vec{F}'_\gamma$ , fato que leva a se ter uma componente no eixo x, na direção e sentido do movimento do inseto.

Fig. 1.9 Resultante de forças no eixo vertical



Protocolo: Mario de Souza

$$\sum F_y = 0 \quad \text{leva a} \quad P' = R_y \quad \text{Eq. 1.15}$$

Onde  $P'$  é o peso de uma pata do inseto. Para duas patas o peso será  $2P'$  e, para  $n$  patas o peso será  $nP'$ . Ou seja:

$$nP' = P \quad \text{ou} \quad P' = \frac{P}{n} \quad \text{enquanto} \quad R_y = 2F_{\gamma,y} \quad (\text{no equilíbrio})$$

$$\text{De 2.15 tem - se} \quad \frac{P}{n} = 2(F_\gamma \cos \alpha) \quad \text{ou} \quad \frac{P}{n} = 2(\gamma \Delta L) \cos \alpha$$

$$\frac{P}{n} = 2[\gamma(2\pi r)] \cos \alpha \quad \text{ou} \quad \frac{P}{n} = 4\pi\gamma(r \cos \alpha)$$

$$P = (4\pi r)n(r \cos \alpha)$$

A condição Física para que o inseto fique apoiado e, *em repouso*, sobre a película da água que tem tensão superficial  $F_\gamma$  é estabelecida pela relação entre o raio  $r$  da curva de nível e a inclinação da superfície do líquido ao longo dessa curva, segundo Okuno (1982, p. 329).

$$r \cos \alpha = \frac{P}{n(4\pi\gamma)} \quad \text{Eq. 1.16}$$

Assim, encontre o ângulo para um pequeno inseto de 6 patas com massa de 0,05 g e raio da curva de nível, promovido pelo pouso da pata é de 0,15 mm, sobre a superfície da água de tensão superficial igual a  $73 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$  e  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ .

$$\cos \alpha = \frac{1}{r} \frac{mg}{n(4\pi\gamma)} = \frac{1}{1,5 \times 10^{-4}} \frac{5,0 \times 10^{-5} \times 9,80}{6 \times 4 \times 3,14 \times 7,3 \times 10^{-2}}$$

$$\cos \alpha = 0,59 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 53,8$$

A *condição física* para que um inseto de 6 patas com massa de 0,05 g pouse sobre a superfície da água e, nessa condição, abrir uma curva de nível de raio igual a 15 mm é dada por  $r \cos \alpha = 1,5 \times 10^{-4} \times 0,59 = 0,0885 \text{ mm}$ . Qual será o valor dessa *condição física* se não considerarmos  $\vec{F}_\gamma'$ ? Observe que o pouso do inseto não é feito com a ponta das patas, mas com a pata como um todo, daí o tratamento ser semelhante ao caso da agulha, *em equilíbrio*.

#### 1.4.8 A variação de pressão e a forma dos meniscos

Foi compreendida até o momento a concepção Física de fluido como sendo a capacidade de escoarem, ou seja, o conjunto de moléculas de um líquido pode se mover uma com relação às outras e todas numa determinada direção do fluir de escoamento do líquido, mesmo que o desequilíbrio para tal escoamento seja de ação mínima possível.

Essa compreensão faz ver que fluidos possuem elasticidade. Ou seja, se diminuirmos a pressão o fluido tende a aumentar seu volume. Isto revela a grandeza física *compressibilidade*.

Ou seja, os líquidos possuem um limite de compressibilidade isto quer dizer que sobre ação da pressão esse volume diminui, embora a massa do líquido seja a mesma pela Lei de Conservação das Massas, sua massa específica ( $\rho$ ) aumenta devido à diminuição do volume. Essa variação de volume é infinitesimal. Essa capacidade de elasticidade é fisicamente conhecida como um parâmetro que descreve essa situação, chamado de Módulo Volumétrico, definido como:

$$K \equiv -V \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad \text{Eq. 1.17}$$

Observe que  $K$  ou Módulo Volumétrico é uma grandeza positiva e expressa o fisicamente a compreensão de empacotamento da matéria. Na relação variação de pressão e variação de volume, mostra-se que o Módulo Volumétrico é positivo.

$$\begin{aligned}\Delta p < 0 &\Rightarrow p - p_0 < 0 \Rightarrow p_0 > p \\ \Delta V > 0 &\Rightarrow V - V_0 > 0 \Rightarrow V_0 < V \\ \Delta p > 0 &\Rightarrow p - p_0 > 0 \Rightarrow p_0 < p \\ \Delta V < 0 &\Rightarrow V - V_0 < 0 \Rightarrow V_0 > V\end{aligned}$$

Essa propriedade era conhecida para gases, mas em 1850 Marcellin Pierre Eugène **Berthlot**<sup>29</sup> (1827–1907), segundo Gomes<sup>30</sup> (s/d), conferiu esta propriedade aos líquidos.

Em seus trabalhos a concepção fundamental que lhes norteou foi a de que todo fenômeno químico depende da ação de forças físicas as quais podem ser medidas e, determinadas<sup>31</sup>. O que lhes confere o grau de físico-químico. Ele toma o inverso da equação anterior que se apresenta na forma:

$$\frac{1}{K} = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad \text{ou} \quad -\frac{1}{K} V \Delta p = \Delta V$$

Nessa condição o Módulo Volumétrico é chamado de Módulo de Elasticidade  $K \equiv E$  e, tem-se variação de volume ocorre quando se dá variação de pressão.

$$\Delta V = -\frac{1}{E} V \Delta p \quad \text{Eq. 1.18}$$

Essas análises físicas revelam que, quando a variação de pressão é menor que zero ( $h > 0$ ) a variação de volume cresce, num tubo fino, de diâmetro  $d$  da ordem de milímetros. Isto leva a variação de trabalho negativa ou resistente. Nesse caso, forma a superfície livre chamada de menisco, que nessas condições tem a forma geométrica côncava.

Em caso contrário ( $h < 0$ ), a variação de pressão é positiva a que conduz a variação de volume negativo, que promove variação de trabalho positiva (motor). A superfície livre, nestas condições tem forma geométrica convexa, ver figura 1.10.

Uma vez que:

$$\Delta p = p - p_0 \quad \text{e que} \quad \Delta p = -\rho gh \quad \text{Eq. 1.19}$$

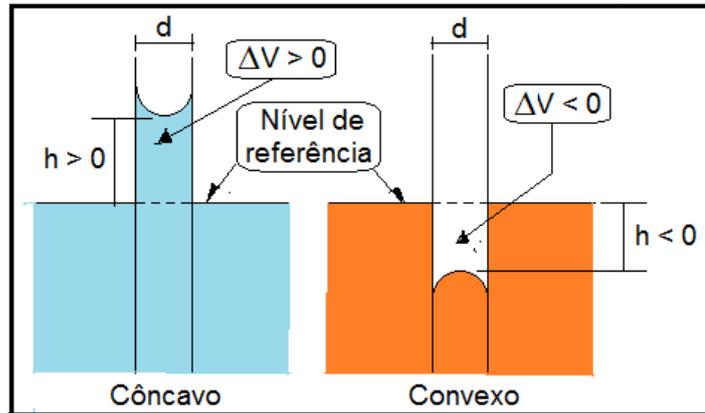
<sup>29</sup> Químico francês.

<sup>30</sup> <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mec%C3%A2nica-dos-Fluidos.pdf>>.

Acesso em 24 mar. de 2016.

<sup>31</sup> <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Marcellin\\_Berthelot](https://pt.wikipedia.org/wiki/Marcellin_Berthelot)>. Acesso em 03 abr. de 2016.

Fig. 1.10 Características Físicas e Matemática na formação de meniscos



Protocolo: Mario de Souza

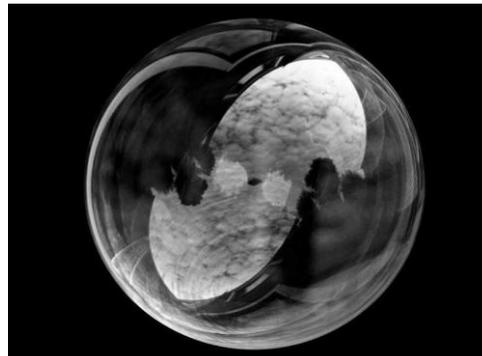
#### 1.4.9 Lei de Laplace

É fato que ao se encher um balão de festa e depois soltá-lo percebe-se que o mesmo fica a rodopiar no ambiente enquanto se esvazia. O rodopiar do balão se deve aos efeitos de movimento do ar no ambiente, enquanto que, o esvaziamento do mesmo está ligado ao fato de que a pressão interna dele é maior que a pressão atmosférica. Isto se compreende como ar comprimido.

A razão Física para que haja pressão interna maior que a externa no balão é que no processo de enchimento do balão a membrana elástica sofre distensão e, no momento em que o balão é solto (aberto) a membrana elástica tenta contrair-se ou voltar ao seu estado inicial. O balão tem pressão interna maior que a pressão do ar que está a enchê-lo.

Agora, considera-se uma bolha de sabão esférica contendo duas superfícies (interna e externa) e fina camada de líquido entre elas. Quem já brincou de fazer bolinhas de sabão percebe este fato experimental.

Fig. 1.11 Uma bolha de sabão flutuando com reflexão das nuvens



Fonte. Disponível em: <<http://www.cns.gatech.edu/~predrag/courses/PHYS-4421-13/Lautrup/surface.pdf>>. Acesso em 03 de abr. de 2016.

De forma semelhante ao balão de festa, na bolha de sabão, a pressão interna é maior que a externa. Agora se cria um *modelo físico* para compreender este fato.

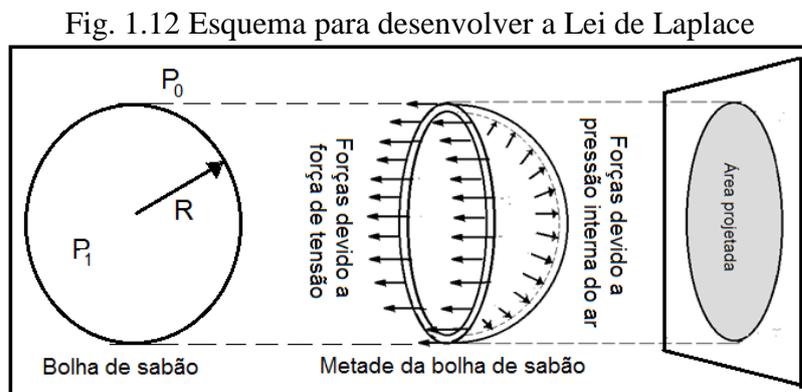
Primeiro: vamos supor que não haja pressão externa, denominada de  $p_0$  logo,  $p_0 = 0$ . Sendo assim, a bolha de sabão se torna estacionária.

Segundo: corta-se ao meio a referida bolha estacionário, que por está nessa condição física, não possui movimento (está em repouso); assim, cada metade está com aceleração nula e vale a Lei de Equilíbrio  $\sum \vec{F} = 0$  (Ver item 3.7).

Fisicamente, sabe-se que existe a força resultante apontando para esquerda devido à tensão superficial e a força resultante apontando para direita devido a diferença de pressão na área da bolha de sabão (área projetada).. Ver figura 1.12.

A força devido à tensão superficial é o produto de  $\gamma$  pelo comprimento da circunferência de raio  $R$ , que é  $2\pi R$  Como há duas superfícies (interior e exterior), então a resultante será o dobro de  $\gamma(2\pi R)$ . Este resultado aponta para esquerda, logo a resultante de forças no lado esquerdo é  $-2[\gamma(2\pi R)] = -4\pi\gamma R$ .

Outro fato físico nesse modelo é assumir que as películas são tão finas que *seus raios podem ser considerados idênticos*. E que a pressão no interior da *bolha* de sabão age perpendicularmente em cada ponto da superfície e, dessa forma a força resultante é o produto da variação de pressão pela área da superfície ( $\pi R^2$ ). Ou seja,  $+\Delta p(\pi R^2)$ .



Trabalhando estas expressões na condição de equilíbrio já compreendida.

$$-4\pi\gamma R + \Delta p(\pi R^2) = 0 \quad \text{ou} \quad \Delta p(\pi R^2) = 4\pi\gamma R$$

$$\Delta p = \frac{4\gamma}{R} \quad \text{Eq. 1.20}$$

No caso da *gota líquida*, onde só há uma película, tem-se a força devido à tensão superficial é dada pela equação  $F = \gamma L$ , com  $L = 2\pi R$ ; dessa forma  $F = 2\pi R\gamma$ .

Semelhantemente, a força devido à variação de pressão é dada pela equação  $F = (\Delta p) \cdot A$ , onde  $A$  é a área projetada ou  $A = \pi R^2$  ou  $F = (\Delta p)\pi R^2$ . Como essas forças são iguais:

$$\Delta p(\pi R^2) = 2\pi R\gamma \quad \Rightarrow \quad \Delta p = \frac{2\pi R\gamma}{\pi R^2}$$

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{R} \quad \text{Eq. 1.21}$$

Essas equações (1.20 e 1.21) afirmam que a pressão manométrica<sup>32</sup> dentro de um balão ou membrana elástica é diretamente proporcional a tensão superficial da membrana e inversamente proporcional ao raio de curvatura da referida membrana.

Compreende-se que, a pressão atmosférica (fora do balão) é constante e, dentro do balão está em equilíbrio, logo a pressão manométrica é constante. Como a tensão superficial é constante, de imediato se observa que o raio de curvatura é constante também. Logo, se  $R =$  constante, então a configuração da bolha de sabão é uma esfera de raio  $R$ , conforme diz Silveira e Levin (2004).

Da lei de Laplace<sup>33</sup> decorre que, sendo constante a tensão superficial, a pressão manométrica diminui conforme aumenta o raio de curvatura da membrana. Em bolhas de sabão, por exemplo, a tensão superficial da mistura de água com sabão é uma propriedade exclusiva dessa mistura: independe do raio e, portanto, do volume da bolha. Desta forma, quanto maior é o raio da bolha de sabão, tanto menor é a pressão manométrica no seu interior. Logo que duas bolhas de sabão aderem uma na outra, e se interconectam permitindo a passagem de ar entre elas, a bolha menor se esvazia e a grande infla. A soma dos volumes iniciais das duas bolhas é menor do que o volume da bolha única que se forma no final;

Os autores ainda apresentam duas explicações práticas. *Primeira*: Esse resultado é contra intuitivo, pois as pessoas costumam pensar que quanto maior for a bolha, tanto maior deveria ser a pressão no interior dela. *Segunda*: Quando produzimos espuma em um balde, agitando água com sabão, pode-se notar que, depois de cessada a agitação, o volume da espuma continua crescendo. O crescimento do volume da espuma é explicado pela não conservação (aumento) do volume total das bolhas que se interconectam.

<sup>32</sup> Diferença de pressão entre o interior e exterior de um balão, ou membrana elástica.

<sup>33</sup> Ver o trabalho. “Pressão e Volume em Balões de Festa: podemos confiar em nossa intuição?” disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~levin/Pdfs.dir/Baloes.pdf>>. Acesso em 31 de jan. de 2016. Está publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, n. 3: p. 285-295, dez. 2004.

Exemplo:

Uma bolha de ar tem diâmetro igual a 1,0 mm, quando ela está 0,5 m abaixo da superfície da água que tem tensão superficial de  $73 \times 10^{-3}$  N/m. Calcule a *pressão de calibre* dentro da bolha ( $\Delta p' = p_d - p_0$ ), com  $p_d$  *pressão dentro da bolha*.

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{R} = \frac{2 \times 73 \times 10^{-3}}{(1/2) \times 10^{-3}} = 292 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = p_d - p_{\text{água}} \quad \text{ou} \quad p_d - p_{\text{água}} = 292$$

$$\text{Mas } p_{\text{água}} = \rho gh + p_0 \quad \therefore \quad p_d - (\rho gh + p_0) = 292$$

$$p_d - p_0 - \rho gh = 292 \quad \text{ou} \quad p_d - p_0 = \rho gh + 292$$

$$\text{Usando } \Delta p' = p_d - p_0$$

$$\Delta p' = 1,0 \times 10^3 \times 9,80 \times 0,5 + 292 = 5,2 \times 10^3 \text{ Pa.}$$

Para situações onde a membrana elástica não é uniforme em sua elasticidade tem-se superfície que não são perfeitamente esféricas e, mesmo assim, a equação de Laplace é ainda aplicável, atribuindo a R um valor em cada ponto derivados dos raios de curvaturas de duas secções normais à superfície e perpendiculares entre si, segundo Hunter,1986 (*Apud FERREIRA, s/d*)<sup>34</sup>. Tem-se, nesse caso que:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{Eq. 1.22}$$

O que leva a equação de Laplace para:

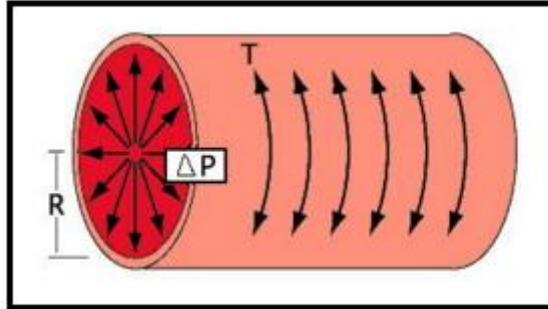
$$\Delta p = \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{Eq. 1.23}$$

Observa-se que a equação 1.23 se torna idêntica a 1.21 quando ocorrer  $R_1 = R_2 \equiv R$ .

A mesma dependência proporcional da variação da pressão com a tensão superficial e o raio, vale para a geometria do cilindro de comprimento L e raio R, que pode ser comparado a um vaso sanguíneo, a parede do cilindro (artéria) fornece uma pressão para dentro e o líquido (sangue, por exemplo) fornece uma pressão para fora.

<sup>34</sup> Disponível em: <<http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/618/article/30001960/pdf>>. Acesso em 15 de abr. de 2016.

Fig. 1.13 Figura da tensão superficial num cilindro



Fonte. Disponível em: <<http://www.insula.com.au/physics/1279/L8.html>>. Acesso em 15 abr. de 2016

Conhecendo que:

$$\gamma = \frac{W}{A} \rightarrow \gamma = \frac{dW}{dA} \quad \text{onde} \quad dW = \Delta p \cdot dV$$

$$\gamma = \frac{\Delta p \cdot dV}{dA} = \Delta p \frac{dV}{dA} = \Delta p \frac{dV/dR}{dA/dR}$$

$$V = \pi R^2 L \quad \therefore \frac{dV}{dR} = 2\pi R L \quad e \quad A = 2\pi R L \quad \therefore \frac{dA}{dR} = 2\pi L$$

$$\gamma = \Delta p \frac{2\pi R L}{2\pi L} \quad \text{ou} \quad \gamma = (\Delta p) R$$

$$\Delta p = \frac{\gamma}{R} \quad \text{Eq. 1.24}$$

Entende-se assim que a dinâmica da tensão superficial contribui para muitos fenômenos que se estabelecem em interfaces. Ela é um fenômeno natural que pode ser associada às pequenas ondulações superficiais formadas no líquido, segundo<sup>35</sup>, Thurey, Wojtan, Gross e Turk (s/d).

## 2. CAPILARIDADE

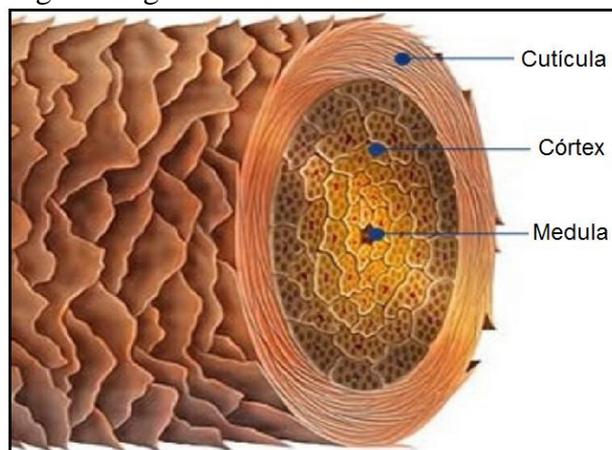
No senso comum, provavelmente por propaganda midiática, quando se fala de capilaridade algumas pessoas lembram-se de imediato de cabelo, já que existem propagandas como “o seu cabelo são vasos capilares” ou “perda capilar terá fim com uso do produto x”, referindo-se a queda do cabelo. Embora, em geral, pessoas não saibam que a palavra latina *capillus* é que origina o significado de cabelo.

Realmente, o fio de cabelo é um vaso capilar, que pode ser visto na figura 2.1, como composto de três partes: camadas externas chamadas de cutículas, o córtex, parte

<sup>35</sup> Disponível em: <[http://pub.ist.ac.at/group\\_wojtan/projects/surface\\_tension/surface\\_tension.pdf](http://pub.ist.ac.at/group_wojtan/projects/surface_tension/surface_tension.pdf)>. Acesso em 16 abr. de 2016.

intermediária entre cutículas e a medula, parte central do fio de cabelo. Observa-se assim que esse é um problema dermatológico, pois o fio de cabelo é um duto (condutor) para a epiderme, onde ele nasce, sendo assim, problemas dessa natureza (seborreia, calvície, queda), deve-se consultar um dermatologista.

Fig. 2.1 Figura da estrutura de um fio de cabelo



Fonte. Disponível em: <<http://artistasdocabelo.com.br/author/admin/page/2/>>. Acesso em 16 fev. de 2016.

Mas, na compreensão física, como entender a capilaridade? Já se tem ideia de se tratar de um fenômeno que ocorre em tubo (tubo capilares), como o cabelo. Mas sua origem está nos estudos da tensão superficial de líquido quando um tubo fino (pequeno diâmetro) é introduzido em líquidos, como na figura 1.10.

A compreensão desse fenômeno traz consigo o que se chama de ação capilar ou capacidade que tem o líquido (dentro do tubo de pequeno diâmetro) em subir ou descer. Esta característica tem haver com forças de coesão e de adesão.

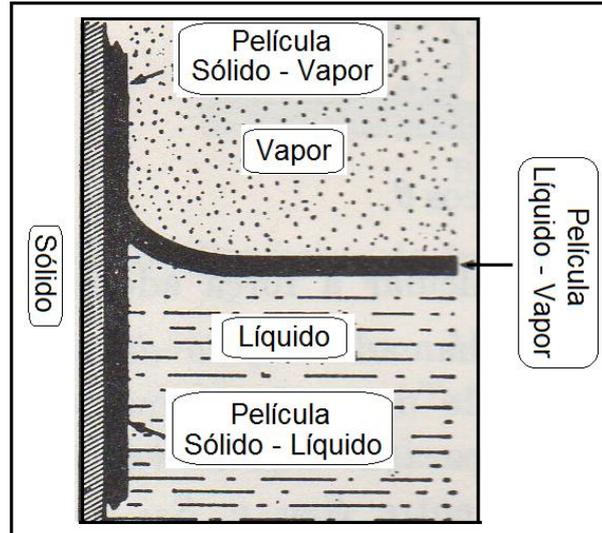
O estudo sobre tensão superficial até o momento descrito revelou interesse particular do fenômeno de superfície relativo à interface entre líquido e gás. Embora se saiba que há outras possíveis separações entre dois meios distintos.

Assim, podem-se ter separações do tipo líquido e parede sólida (vidro, prata) ou entre líquido e vapor, além da separação líquido gás ou líquido vapor, como se ver na figura 2.2, onde o significado de película é compreendido como finíssima camada de algumas moléculas.

Fica evidente que cada película sofre tensão superficial. Para descrever estas tensões, primeiro se se estabelece a nomenclatura entre superfícies: sólido – líquido por SL; sólido – vapor por SV e líquido – vapor por LV.

Nesse sentido, Sears & Zemansky (1970, p. 285), apresenta uma notação para a tensão superficial entre as superfícies denotadas, por:

Fig. 2.2 Diferentes separações físicas entre sólido, líquido e vapor.



Fonte. Adaptada de Sears & Zemansky, vol. 1 (1970, p.285)

$\gamma_{SL}$  = tensão superficial da película sólido – líquido

$\gamma_{SV}$  = tensão superficial da película sólido – vapor

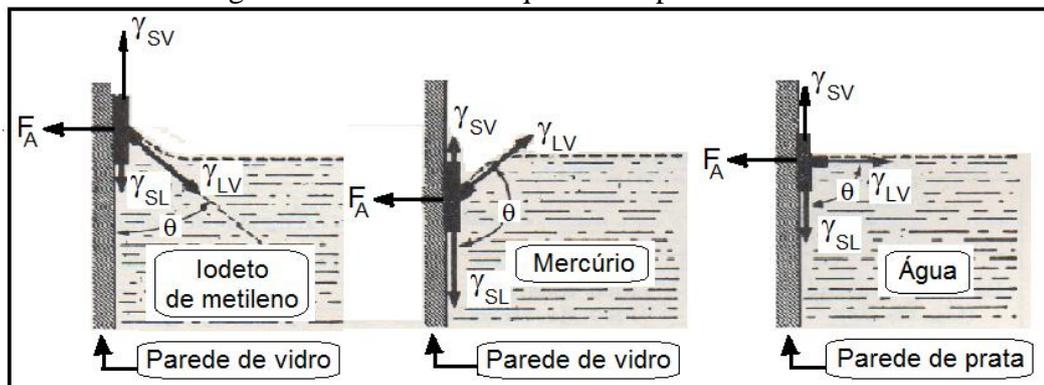
$\gamma_{LV}$  = tensão superficial da película líquido – vapor.

Vê-se assim que, a curvatura da superfície do líquido junto à parede, (sólida) tem haver com a diferença entre as tensões superficiais  $\gamma_{SV}$  e  $\gamma_{SL}$ .

Anteriormente fora visto que a curvatura tinha haver com o objeto físico da diferença de pressão, mas agora se vê outro componente físico pertinente à curva que o líquido faz junto a uma parede sólida, como se ver na figura 2.3, diferentes paredes junto a diferentes líquidos.

Observa-se que, a água, num recipiente de parede de prata não tem curva e, nesse caso  $\gamma_{SV} = \gamma_{SL}$ , logo a curvatura acontece se  $\gamma_{SV} \neq \gamma_{SL}$ , como no caso do iodeto de metileno e o mercúrio, ambos num recipiente de vidro.

Fig. 2.3 Curvaturas de líquidos em paredes sólidas



Fonte. Adaptada de Sears & Zemansky, vol. 1 (1970, p. 285).

Olhando o estado de equilíbrio físico, apresentado na figura 2.3, nota-se que há um conjunto de quatro forças, sendo três delas referentes a tensão superficial e a quarta força é a denominada força de adesão ( $F_A$ ).

Como já citado que a capilaridade é um fenômeno que está, também, ligado as forças de adesão e coesão, assim, se a força de adesão for maior que o força de coesão à superfície perto da parede do vidro é curvada para cima e, em caso contrário a superfície do vidro é curvada para baixo.

Pode-se dizer então que no caso do iodeto de metileno num tubo de vidro tem força de adesão maior que a força de coesão, diferente do caso do mercúrio, onde a força de coesão deve ser maior.

Voltando a figura 2.3 e aplicando as condições de equilíbrio, tem-se, para o caso do iodeto de metileno e do mercúrio que:

$$\sum F_x = 0 \quad \therefore \quad \gamma_{LV} \text{sen } \theta - F_A = 0 \quad \therefore \quad F_A = \gamma_{LV} \text{sen } \theta$$

$$\sum F_y = 0 \quad \therefore \quad \gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma_{LV} \cos \theta = 0 \quad \therefore \quad \gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta$$

Mas, o que diz fisicamente estas equações? Observe:

$$F_A = \gamma_{LV} \text{sen } \theta \quad \text{Eq. 2.1}$$

Permite calcular a *força de adesão*, se for conhecida a tensão superficial entre o Líquido e o Vapor e o ângulo de contato. Enquanto que:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta \quad \text{Eq. 2.2}$$

Diz que a medida de curvatura (segundo membro da referida equação) da superfície de separação entre o líquido e o vapor que está adjacente à parede, conforme figura 2.3, depende da diferença de tensões superficiais entre interfaces: sólido-vapor e sólido-líquido.

$$\begin{aligned} \text{Se } 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \text{ então } \cos \theta \text{ é positivo} &\Rightarrow \gamma_{SV} > \gamma_{SL} \\ \text{Se } 90^\circ < \theta \leq 180^\circ \text{ então } \cos \theta \text{ é negativo} &\Rightarrow \gamma_{SV} < \gamma_{SL} \end{aligned}$$

Assim, no primeiro caso o líquido *molha o vidro*, como no caso do iodeto de metileno; e no segundo caso se diz que o líquido *não molha o vidro*, como no caso do mercúrio.

O fato de molhar ou não o vidro liga-se ao *ângulo de contato*, que tem dependência com a parede do tubo fino e do líquido, como no caso da água num tubo fino de prata onde:

$$\cos 90^\circ = 0 \text{ e, por isso, } \gamma_{SV} = \gamma_{SL} \text{ e, tem-se } F_A = \gamma_{LV} \text{ sen } 90^\circ = \gamma_{LV},$$

(Ver figura 2.3)

Há agora mais um elemento físico, ângulo de contato, para explicar a curva de líquidos num tubo fino; dessa forma, quando este ângulo é menor que um ângulo reto, a curvatura é côncava e o líquido molha as paredes do vidro, caso contrário, quando o ângulo é maior que um ângulo reto, a curvatura é convexa e o líquido não molha as paredes do vidro (figura 2.3).

Esse processo de molhar ou não as paredes é denominado de umidificação “que surge da interação entre as moléculas do líquido e as moléculas do corpo sólido e tem como resultado a curvatura da superfície do líquido junto à superfície do corpo sólido” (BUKHOVTSEV, *et. al.* 1987, p. 108) e, está ligada a capilaridade.

Por isso, corpos de grandes números de canais (dutos) finos, ou capilares, absorvem líquidos e, para tal, basta que esses líquidos umedeçam a superfície dos corpos, como, por exemplo, uma toalha que, quando boa, absorve bem a água.

No Recife é comum se ver, em alguns de seus bairros, um problema nas paredes de casas devido à umidificação das mesmas, causando problemas de estética (mancha nas paredes), de saúde (problemas respiratórios devido a frieza, criação de fungos) e de limpeza (cuidados permanentes serão necessários, como pintura e lavagem do local para evitar a criação do mofo). Este fato se dá porque o tijolo é um corpo sólido poroso que absorve a umidade do solo. Uma vez que, devido aos capilares no solo a água sobe através de seus caminhos aleatórios e finos.

Os efeitos da capilaridade da água no solo são ditos casos de percolação que ocorrem na natureza, pois percolação é a perda do movimento da água num terreno maciço pelo atrito viscoso da água com as partículas do solo; logo, entre dois pontos distintos de um filete de água há perdas e essas são devidas ao que se conhece fisicamente como forças de percolação, segundo Feitosa (s/d)<sup>36</sup>..

Esse é o problema enfrentado pela engenharia na construção de estradas, pois a água sobe por capilaridade e diminui a durabilidade da pavimentação; já nas construções de barragens, tem-se o problema da água que pode ultrapassar barreiras impermeáveis fluindo

---

<sup>36</sup> FEITOSA, Laércio. Movimento da água no solo (percolação). Texto disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA0GIAB/movimento-das-aguas-no-solo-percolacao>>. Acesso em 16 abr. de 2016.

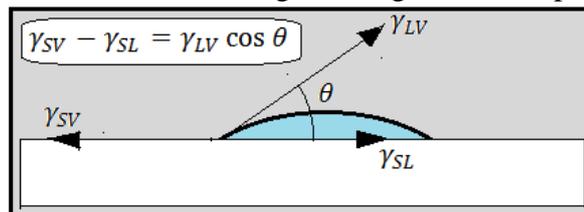
para reservatórios subterrâneos. Esses processos são devidos ao fenômeno da capilaridade e, daí sua importância física para sistemas porosos com a ocorrência da transferência de umidade na engenharia civil.

## 2.1 O ângulo de contato

Colocando uma gota de água sobre uma superfície de vidro a mesma tende a molhar a superfície, pelo processo de umidificação ou molhabilidade, e apresenta ângulo de contato no contorno da superfície da gota e a interface líquida – sólida.

O ângulo de contato se relaciona com as tensões entre as interfaces: sólida e vapor; sólida e líquida; líquida e vapor, conforme equação 2.2. Ver figura 2.4

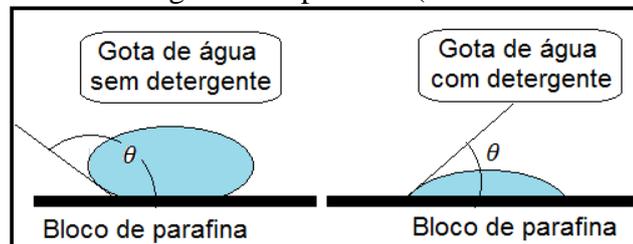
Fig. 2.4 ângulo de contato entre a gota de água numa superfície de vidro



Protocolo: Mario de Souza

Situação idêntica ocorre se a gota de água está sobre superfície de cera (parafina). Neste caso, o ângulo de contato é maior que  $90^\circ$ , ver figura 2.5 (lado esquerdo); porém, se for adicionada uma impureza (detergente), o ângulo de contato muda de forma considerável (lado direito da mesma figura).

Fig. 2.5 Gota de água sobre parafina (sem e com detergente)



Protocolo: Mario de Souza

Essas substâncias (como o detergente) são chamadas de surfactantes e têm o papel de diminuir a tensão superficial. O ângulo de contato foi descoberto por Thomas Young (1805), ao estudar a caracterização de propriedades de superfícies sólidas buscando interação entre superfícies de líquidos e sólidos.

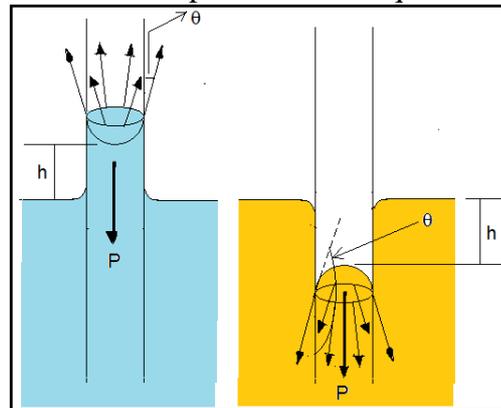
## 2.2 A determinação da altura capilar

Observa-se outro elemento físico na compreensão do ângulo de contato que é a força de coesão (entre moléculas). Já se tinha visto da força de adesão.

Assim, quando a força de adesão ( $F_A$ ) é maior que a força de coesão ( $F_C$ ) ( $F_A > F_C$ ) o líquido tem  $h > 0$  e, em caso contrário ( $F_A < F_C$ ) o líquido tem  $h < 0$ . Para tal, a análise Física será feita com a semelhança da figura 1.10, que fica assim compreendida.

Assim têm-se nos dois casos da figura 2.6 ações capilares. Com  $h > 0$  onde há um equilíbrio das forças de tensão superficial sobre a curva de nível e a força peso da coluna de líquido do cilindro de área  $A$  e altura  $h$ . A condição de equilíbrio é que a soma de todas as forças nessa direção (eixo  $-y$ ) seja nula.

Fig. 2.6 Forças de tensão superficial num líquido num tubo capilar



Protocolo: Mario de Souza

$$\sum f_s = F \quad \therefore \quad F = \gamma_{LV} L \cos\theta \quad \therefore \quad F \equiv \gamma(2\pi r) \cos\theta$$

$$P = mg \quad \therefore \quad P = \rho V g \quad \therefore \quad P = (\pi r^2 h) \rho g$$

$$\sum F_y = 0 \quad \therefore \quad F - P = 0 \quad \therefore \quad F = P$$

$$\gamma(2\pi r) \cos\theta = (\pi r^2 h) \rho g \quad \therefore \quad 2\gamma \cos\theta = r h \rho g$$

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{r \rho g} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Esta é a chamada *Lei de Jurin* ( $h \propto r^{-1}$ ) e, dela se pode ter que:

$$\gamma = \frac{r h \rho g}{2 \cos\theta} \quad \text{Eq. 2.4}$$

Se o líquido molha totalmente a parede capilar (ver figura 2.3 quando  $\theta = 0^\circ$  o que ocorre com  $\gamma_{LV}$  aqui tratada como idêntica a  $\gamma$ ), tem-se  $\cos\theta = 1$  assim, tem-se:

$$h = \frac{2\gamma}{r\rho g} \quad \text{Eq. 2.5} \quad e \quad \gamma = \frac{rh\rho g}{2} \quad \text{Eq. 2.6}$$

$$\text{De 3.5 tem-se: } \frac{2\gamma}{r} = \rho gh \quad \therefore \Delta p = \frac{2\gamma}{r} \quad \therefore \Delta p = \rho gh$$

Com  $h < 0$ , o equilíbrio está entre forças de tensão superficial sobre a curva de nível e o empuxo devido ao peso da coluna de líquido do cilindro de área  $A$  e altura  $h$ , cuja soma de todas essas forças (eixo  $y$ ) seja nula. Observe que  $h < 0$  e  $\cos\theta < 0$ , também, logo os dados são idênticos, para as equações 2.3 e 2.4.

### 2.3 Tensoativos ou surfactantes: a Física nas interações moleculares

É de conhecimento popular a existência de produtos de diferentes marcas com o objetivo de tirar manchas e sujeiras de roupas, no processo de lavagem.

Esses produtos são adicionados à água como forma de diminuir sua tensão superficial e, dessa forma, permitir maior espalhamento e profundidade da água no local a ser limpo. Compostos com esta finalidade são chamados de tensoativos ou surfactantes.

Um exemplo de um elemento surfactante é o sabão (ou detergente) que adora substâncias aquosas e gordurosas. Quem lava pratos e roupas sabe muito bem disso. Mas, o que fisicamente conduz a esse fato?

Esse fato se deve a geometria molecular dos tensoativos que tem uma cabeça polar (que tem afinidade com a água) e uma cauda apolar (que não tem afinidade com a água).

As cabeças polares são por esse motivo, chamadas de *hidrofílica* e que, fisicamente, estão carregadas eletricamente. Enquanto que as moléculas apolares são chamadas de *hidrofóbica* e que fisicamente não estão carregadas eletricamente, são moléculas neutras.

Assim, numa superfície ensaboada (água e sabão) as moléculas de sabão tendem a orientar-se com suas caudas hidrofóbicas saindo da superfície enquanto que as cabeças hidrofílicas ficam enterradas na água<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Segundo fonte disponível em: <<http://www.cns.gatech.edu/~predrag/courses/PHYS-4421-13/Lautrup/surface.pdf>>. Acesso em 24 mar. de 2016.

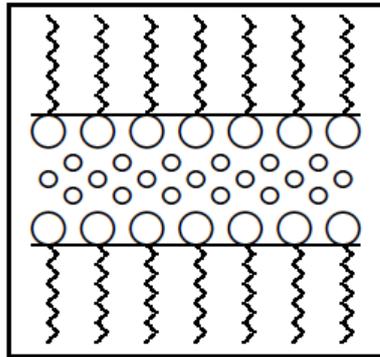
Na figura 2.7 tem-se uma camada dupla de moléculas de sabão. Observe o grupo hidrofóbico com caudas para fora nos dois lados da molécula, enquanto que o grupo de cabeças hidrofílicas fica no interior entre as duas camadas.

Os mecanismos físicos de ação dos tensoativos ou surfactantes estão na proposição de mudar a tensão superficial do líquido.

Por exemplo, o álcool quando misturados à água aumenta a tensão superficial da mesma. Isto ocorre porque o álcool é uma substância orgânica polar, logo pertence ao grupo hidrofílico.

Desse modo, compreende-se que mecanismos físicos de interação molecular, atração/repulsão eletrostática e capacidade de concentração molecular são próprios dos materiais tensoativos ou surfactantes.

Fig. 2.7 Esquema de camada dupla de moléculas de sabão



Fonte. Disponível em: <<http://www.cns.gatech.edu/~predrag/courses/PHYS-4421-13/Lautrup/surface.pdf>>. Acesso em 24 de mai. de 2016.

Assim, álcool e água, por exemplo, criam mecanismos de concentração do soluto com mais intensidade na superfície que no interior das substâncias. Diz-se então que há uma adsorção na superfície. No caso de uma solução diluída, não iônica, tem-se a equação de Gibbs<sup>38</sup>, dada por (R constante universal dos gases):

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\gamma}{dc} \quad \therefore \quad \frac{c}{dc} \equiv \frac{1}{d \ln c} \quad \Rightarrow \quad \Gamma = -\frac{1}{RT} \frac{d\gamma}{d \ln c} \quad \text{Eq. 2.7}$$

E que,  $\Gamma$  é o excesso de concentração do soluto na camada superficial por unidade de área e  $c$  é a concentração do mesmo soluto no interior da solução.

A adsorção é a compreensão da concentração de substâncias em superfícies de materiais sólidos, líquidos e/ou bases. Sua natureza é Física quando há adsorção Física que

<sup>38</sup> Texto da UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas, DQ sobre Tensão Superficial, disponível em <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/07\\_08\\_TensaoSuperficial.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/07_08_TensaoSuperficial.pdf)>. Acesso em 24 mar. de 2016.

são forças Interatômicas e as de ligações químicas ou adsorção Química. A adsorção Física ocorre com interações das forças de Van der Waals<sup>39</sup> (o que não é de interesse desse produto de ensino, daí não ser necessário falar dessas forças).

A adsorção é um processo que busca o equilíbrio dinâmico entre moléculas interagentes nas substâncias envolvidas que são adsorvidas e desorvidas num processo com temperatura constante, segundo op. cit..

Quando esta concentração aumenta, ocorre a saturação e a consequência é à diminuição da tensão superficial, fazendo com que moléculas tenham no interior do líquido as mesmas orientações que na superfície gerando agregados coloidais, as micelas, que devido ao decréscimo da energia livre ocorre o fenômeno da Concentração Crítica Micelar (CCM)<sup>40</sup>.

### **3. TENSÃO SUPERFICIAL E CAPILARIDADE NO CONTEXTO DA BIOLOGIA.**

Agora se faz abordagem da tensão superficial e capilaridade na Biologia e/ou biomedicina ou medicina como princípio metodológico deste Produto de Ensino de Física. Os pontos aqui retratados não estão em sua totalidade.

Isso evidencia o fato de que outros conhecimentos podem ser adicionados aos contextos pontuais aqui delineados, dependendo da proposta de trabalho em sala de aula do professor, ou professores (Física e Biologia), caso se evidencie num projeto multidisciplinar dentro da visão curricular da Escola, se assim for concebido.

A relevância está concentrada no princípio físico da hidrostática o qual confere ao professor de Física a possibilidade de trabalhar os conteúdos: *densidade* e *pressão*, no contexto da tensão superficial e capilaridade, ou desenvolve-los antes de forma particularizada. Essa questão é do professor em sala de aula. O fato nesta proposta está posto como possibilidade de não desenvolver o conteúdo de Física, apenas com o olhar da Física, mas apontar contextos da Biologia, de modo a fomentar o interesse e o desejo de aprender Física.

*Alguns pontos que podem ser tratados nesse contexto aqui estruturado.*

Os pontos a serem tratados não dizem somente a respeito da tensão superficial e capilaridade, mas compõe-se dos temas Físicos que norteiam processos de construção do significado conceitual da tensão superficial e a capilaridade no contexto da Biologia.

---

<sup>39</sup> Texto do IQ-USP, disponível em: <<http://www2.iq.usp.br/docente/hvlinner/adsorcao.pdf>>. Acesso em 18 abr. de 2016.

<sup>40</sup> Texto da UFSM do Grupo de Ensino da Física, sobre Tensão Superficial, disponível em <<http://coral.ufsm.br/gef/Fluidos/fluidos20.pdf>>. Acesso em 24 mar. de 2016.

### 3.1 Pontos que podem ser tratados no conteúdo densidade

☀ O *sangue* tem densidade normal de  $1,06 \text{ g/mL}$ , porém com o aumento de concentração de células vermelhas esta densidade aumenta; se uma pessoa tem densidade sanguínea menor que a normal isto mostra que há indícios da patologia clínica de anemia.

☀ Da mesma forma para a *urina* que tem densidade normal de  $1,02 \text{ g/mL}$ , mas se há aumento nessa densidade urinária isto indica uma excreção de sais e/ou outros corpos minerais que elevam o valor desta densidade.

### 3.2 Pontos que podem ser tratados no conteúdo pressão

☀ O sistema de circulação do sangue no corpo humano pode ser tratado como um transporte de fluido e dessa forma a pressão sanguínea é outro exemplo clássico de importância vital, que tem relação com o clima e saúde de pessoas. Assim, buscas de controle de doenças cardiovasculares (medicina preventiva), é fator de importância social, onde a frequência cardíaca e a pressão arterial são dois elementos fundamentais, bem como fatores atmosféricos.

Em condições normais o coração bombeia sangue numa faixa de frequência entre 60 a 80 *batimentos por minuto*. Essa funcionalidade tem como princípio levar oxigênio e nutrientes para os organismos em todo o corpo humano, assim, conforme diz Foss; e Keteyian, (apud, PINHO JÚNIOR, LIMA & OLIVEIRA, 2007)<sup>41</sup>

A frequência cardíaca corresponde á frequência com que as câmaras cardíacas – átrios e ventrículos contraem-se (sístoles) e relaxam-se (diástoles). A frequência cardíaca varia de acordo com o grau de atividade e situação emocional em que o indivíduo se encontra. Os padrões de frequência cardíaca estabelecidos são: Para homens, o padrão de normalidade estabelecido é de 70 batimentos por minuto. Já para as mulheres é de 80 batimentos por minuto.

Partindo do conceito de pressão manométrica, compreende-se então que a pressão arterial corresponde à força com que o sangue em circulação exerce sobre as paredes das artérias, que são *dutos* de condução do fluido sanguíneo. Fato que é compreendido pelo princípio de Pascal, o qual diz que pressão aplicada num ponto no interior de um fluido e transmitida, sem perdas, a qualquer outro ponto do fluido e as paredes do recipiente no qual este se encontra.

---

<sup>41</sup> Disponível em:

<[http://www.unama.br/graduacao/fisioterapia/pdf/2007/Estudo\\_comparativo\\_da\\_frequencia\\_cardiaca\\_e\\_da.pdf](http://www.unama.br/graduacao/fisioterapia/pdf/2007/Estudo_comparativo_da_frequencia_cardiaca_e_da.pdf)>  
. Acesso em 15 mai. de 2014.

Dessa forma, a *pressão arterial é maior quando o coração bombeia o fluido sanguíneo e é menor quando há um relaxamento do coração entre os batimentos*. Este fato explica ter-se uma pressão de valor máximo e outra de valor mínimo. Por isso, os médicos consideram um limite saudável para o corpo humano a *pressão sistólica* de 120 mmHg (máxima) e a *pressão diastólica* de 80 mmHg (mínima), expressando a fala 12 por 8, que significa 120 mmHg/80 mmHg.

Sua compreensão está no comportamento do músculo cardíaco denominado de sistólico e diastólico. E tem a seguinte caracterização. (DE PAULA, *et. al.* 2005).

Na sístole ocorre uma contração do músculo cardíaco, causando assim um aumento do volume sanguíneo na aorta, o que provoca um aumento da pressão, que chega a atingir, em níveis normais, 140 mm Hg. O contrário ocorre na diástole, onde há uma distensão do músculo cardíaco, diminuindo o volume sanguíneo na aorta, que provoca uma diminuição da pressão, a qual, em níveis normais, atinge 90 mmHg

Onde o fator principal dessa bomba cardíaca é manter o fluxo sanguíneo em todo corpo com finalidade de nutrir diferentes tecidos que compõe a malha corpórea.

☀ Com igual importância está o fato da administração de *terapia* intravenosa, onde o profissional que vai executar tal procedimento, ao encontrar a veia, deita o embolo junto com a agulha, próximo do braço do paciente e faz a agulha penetrar na veia de forma vagarosa, deixando o sangue se misturar com a solução química dentro do embolo, por um pequeno intervalo de tempo, esperando a igualdade da pressão sanguínea com o produto a ser injetado, para que depois, de forma lenta, faça entrar o produto na corrente sanguínea do paciente, vagorosamente, ou seja, sem modificar de forma drástica a pressão arterial do paciente, evitando a *embolia aérea* que é à entrada de ar de forma acidental no sistema venoso no momento de injeção endovenosa, fato que expressa à possibilidade de levar a óbito o paciente.

☀ Ainda sobre esse tema tem-se o caso de pessoas quando são medicadas e levadas a tomar soro (solução salina) que é um processo de terapia intravenosa. Observa-se sempre que o bulbo com o soro (solução salina) fica pendurado num suporte para soro, numa altura  $h$  entre o braço, onde está sendo aplicado o soro e o bulbo, com  $p = \rho gh$ , uma vez que no bulbo fechado  $p_0 = 0$  logo  $\Delta p = p$ . Esta é a medida da pressão hidrostática, ou pressão efetiva, que é a pressão exercida pelo peso da coluna fluídica em equilíbrio, como o bulbo que contém a solução salina com coluna fluídica até o braço do paciente.

✿ Outra doença que se origina dos mecanismos de pressão é o *glaucoma*, que pode ser chamado de doença silenciosa<sup>42</sup>; sua ação não é sentida, no início, e sem dor física, não apresenta sintomas “palpáveis” pelo paciente com problema na visão.

O glaucoma é uma neuropatia óptica de característica visual, cujo principal fator de risco é o aumento da pressão intraocular (PIO). Conforme Agência Nacional de Vigilância Sanitária<sup>43</sup> (ANVISA) é a segunda maior causa de cegueira no mundo. Segundo a ANVISA, a doença tem como princípio o distúrbio no qual a pressão do globo ocular aumenta, devido ao acúmulo de humor aquoso (líquido fino que preenche as câmaras do olho) lesando o nervo ótico e causando a perda da visão.

Porém a *pressão intraocular* (PIO) não é sempre uma patologia, se ela tem níveis aceitáveis (valores menores que 21 mmHg). Na realidade os movimentos dos olhos promovidos pelo piscar, mudança de direção do olhar e o movimento de pálpebras, promovem pressão sobre o globo ocular e a diferença da pressão intraocular e a pressão atmosférica, produz uma pressão relativa, fator de equilíbrio para evitar a deformação do globo ocular como também é o modo de prevenir o inchaço de alguns tecidos dos olhos, segundo Dantas, 2009. Este fato é importante trabalhar na sala de aula, pois o glaucoma é uma doença que pode atacar crianças, jovens e adultos, tendo tendência de estarem presentes em pessoas maiores de 40 anos. Deve-se ressaltar, no entanto que a pressão intraocular (PIO) não é a causalidade do glaucoma, que tem aparecimento devido às lesões no nervo óptico.

No processo de descrição do glaucoma pode-se descrever em linhas gerais o funcionamento do globo ocular relativo aos fluidos nele existentes e denominados de humor aquoso e vítreo. Estes fluidos têm a finalidade de transmitir a luz incidente no olho até a retina, onde esta membrana converte estímulos nervosos em imagens.

Os humores aquoso e vítreo (fluidos do globo ocular) têm na normalidade, valores médios de 15 mmHg.. O humor aquoso está entre a córnea e a íris, numa região denominada de *câmara anterior do olho* formada por uma solução de baixa concentração. Enquanto que o humor vítreo está na *câmara posterior*, que fica entre o cristalino e a retina e tem aparência gelatinosa e maior quantidade de concentração que o humor aquoso.

Outro fato importante na constituição ocular é a íris, que funciona como um diafragma que controla a luminosidade através do cristalino fazendo aumentar ou diminuir a pupila. Enquanto que o cristalino forma uma lente variável que refrata a luz incidente no olho, ou

---

<sup>42</sup> GLAUCOMA A DOENÇA SILENCIOSA, apostila da Editora INESP, produzida pela Assembleia Legislativa do Ceará, disponível em <<file:///C:/Users/Mario/Downloads/glaucoma.pdf>>. Acesso em 20 mai. de 2014. Este é um artigo de Luiz Bezerra DANTAS.

<sup>43</sup> ANVISA, Revista; Saúde e Economia: Glaucoma. Ano I, Edição N<sup>o</sup> 2, Novembro de 2009. Disponível em <<http://200.214.130.94/rebrats/publicacoes/Saude%20e%20Economia.pdf>>. Acesso em 05 mai. de 2014.

seja, raios que penetram no globo ocular; e tem camadas concêntricas de células fibrosas, contendo cerca de 60 a 70 % de água (fluido), e são capazes de concentrar raios luminosos para formação de imagens na retina.

✿ A pressão osmótica é outro aspecto que deve ser explorado dentro dum projeto multidisciplinar quando o tema físico for pressão.

A pressão osmótica ocorre quando há diferença de concentração de água: por exemplo, água pura (solvente) e água numa solução (soluto).

Compreende-se a **osmose** como um processo onde a água se movimenta de forma autônoma e livre, atravessando uma membrana semipermeável das regiões de maior concentração de água (solução diluída ou solvente) para regiões de menor concentração da água (solução concentrada ou soluto), onde maior concentração de soluto implica numa menor concentração de água.

A idealização da membrana semipermeável significa que a mesma permite a passagem da água e *não* de solutos, na natureza ela é constituída de materiais que permite a passagem do solvente, mas não a passagem do soluto nessa solução.

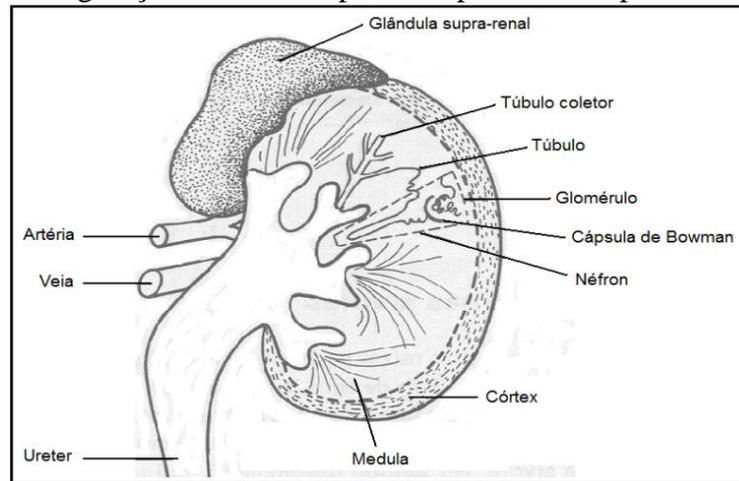
Como todas as células vivas são revestidas por membranas semipermeáveis, então a osmose tem importância ímpar em processos biológicos e, desse modo a passagem de fluidos (solutos) através das membranas celulares pode ser efetuada pela ação osmótica, pela difusão ou por qualquer outra atividade ativa de transporte. E dentro desse espectro de compreensão, a *diálise*, “processo pelo qual produtos metabólicos inúteis e/ou tóxicos são removidos do sangue pelos rins” (OKUNO, 1982, p. 339). Nos rins, as membranas semipermeáveis, que também têm a função de filtragem, são os chamados glomérulos contidos nos néfrons, ver figura 3.1. A mecânica processual é a de que. (*Idem.* p. 339).

A separação de solutos do solvente (sangue) ocorre devido a pressão osmótica (da ordem de 30 mmHg)<sup>44</sup> existente face a variação de concentração dos solutos; enquanto que a filtragem só se processa quando há uma diferença de pressão hidrostática (da ordem de 40 mmHg) através da membrana. Assim, para que os rins, com cerca de 1.000.000 de néfrons, em cada um, possam funcionar, a pressão sanguínea deve ser no mínimo, da ordem de 70 mmHg. Portanto, uma queda de pressão prolongada, pode provocar graves problemas.

Embora saibamos que, se apenas um dos rins estiver funcionando bem, a função de depurar o sangue pode ser resolvida sem problema. Este é o caso de algumas pessoas fazerem *doação* de um desse órgão para familiares ou parentes. Mas, se os dois rins falharem ocorrem à *uremia* (intoxicação do sangue por retenção de toxinas nocivas ao mesmo e, se não for feito o procedimento da *hemodiálise*, a pessoa poderá vir a óbito).

<sup>44</sup> 30 mmHg = 0,04 atm; 40 mmHg = 0,05 atm; 70 mmHg = 0,09 atm.

Fig. 3.1. Configuração de um Rim para compreensão do processo de diálise.



Adaptada de Okuno, (1982, p. 339)

✿ Da Biologia sabe-se que alguns animais fazem uso do Princípio de Pascal para seu movimento como o caso de minhoca da terra, chamados gogos ou cobra de duas cabeças. O seu movimento é conhecido como “esqueleto hidrostático”, uma vez que seus músculos produzem movimento nos ossos do esqueleto de modo a permitir o deslocamento rastejante. Vamos entender este processo modelando um animal de forma cilíndrica fechada e elástica com líquido em seu interior, ou seja, cria-se um modelo físico e mecânico do movimento.

Sabe-se que o verme produz um movimento ao longo do caminho tomado na direção do movimento, ou seja, movimento longitudinal promovido pela contração de seus músculos e, um movimento circular promovido pelos músculos ao redor das paredes do cilindro hipotético, conforme Davidovits (2008).

Por ser o volume constante de líquido no cilindro (verme) isto sugere que as contrações provoquem o fato de vermes mais finos. E as contrações longitudinais vão definir se os vermes são cumpridos ou curtos, segundo op. cit.

Assim o caminhar de um verme pode ser compreendido como a superposição de dois movimentos (longitudinal e circular) de forma sequencial fazendo com que o verme se mova para frente ou para trás. Assim, o verme ou “minhoca modelo” tem aparência cilíndrica de raio  $r$ , com músculos circulares distribuídos uniformemente ao longo do corpo (cilindro) do animal. Este animal se movimenta produzindo uma força por unidade de comprimento, ou força efetiva.

✿ Outra questão interessante sobre a Física dos fluidos se refere a responder: *porque os peixes ficam parados dentro da água (aquários) se sua densidade é maior que da água?*

Para peixes permaneçam parados na água sua densidade tem que ser igual à densidade da água. Mas, se densidades de tecidos do peixe e de seus ossos são maiores que a densidade

da água; então esses peixes possuem um mecanismo biológico capaz de igualar sua densidade com a da água.

Esses mecanismos são os ossos porosos e a bexiga natatória localizada na cavidade abdominal do peixe que contém um gás cuja variação permite alterar o volume e manter a densidade do animal igual à densidade da água (OKUNO, 1982; DAVIDOVITS, 2008). Como o gás na bexiga natatória tem densidade desprezível com relação à densidade dos tecidos do peixe, então o volume da bexiga natatória é pequeno comparado com dos ossos porosos, de modo a reduzir a densidade do corpo para igualar a densidade da água, segundo Davidovits (2008).

Ainda segundo op. cit. a lula tem um mecanismo de retirar ou injetar fluido de seus ossos porosos para alterar sua densidade alterando a quantidade de gás na bexiga natatória.

Exemplo, a lula é um peixe que tem ossos porosos com densidade igual  $0,62 \text{ g/cm}^3$  e todo o seu resto com densidade  $1,067 \text{ g/cm}^3$ . Que percentual de densidade do corpo desse peixe faz com que a densidade média do mesmo seja igual a da densidade da água do mar ( $1,026 \text{ g/cm}^3$ )? Este é um tipo de peixe que vive no mar a profundidade de 150 m.

*Seja  $x$  o percentual de densidade do corpo do peixe*

*Então há  $0,62x + (\text{restante})1,067$*

$$1,026 = 0,62x + (1 - x)1,067$$

$$1,026 = 0,62x - 1,067x + 1,067$$

$$1,026 - 1,067 = (0,62 - 1,067)x \therefore x = 0,092 \text{ ou } x = 9,2\%$$

Como estes peixes vivem a profundidade de 150 m, então os mesmos estão submetidos a uma pressão de  $\Delta p = 1,026 \times 10^3 \times 9,80 \times 150 = 15,39 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Como  $1,0 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ , então  $\Delta p = 15,39 \times 10^5 \text{ Pa}$  ou  $\Delta p = 15 \text{ atm}$ .

Sendo a pressão entre os espaços porosos de 1 atm, pode-se compreender que ossos porosos podem suportar pressão de  $p = 15 \text{ atm} - 1,0 \text{ atm}$ , ou  $p = 14 \text{ atm}$ . Embora este resultado seja de uma pressão alta, experimentos têm mostrados que ossos podem suportar pressão de até 24 atm, segundo Davidovits (2008).

✿ Outra questão interessante sobre a Física dos fluidos se refere à questão da natação. Pois, pelo que se conheceu anteriormente, isto mostra que um corpo, à medida que vai se aprofundando no mar, sobre esse corpo vai aumentando a pressão sobre todos seus lados. Então, em mergulhos subaquáticos se a pressão nos dois lados do ouvido não se igualarem, pode ocorrer uma diferença de pressão de 120 mmHg, que segundo Okuno (1982), pode causar a ruptura do tímpano.

Daí, ser importante, no mergulho, manter a boca e o nariz fechados, forçando um pouco do ar dos pulmões irem para as trompas de Eustáquio (op. cit. p. 310). Assim, para evitar mal-estar nos tímpanos, num mergulho, é aconselhável fazer bocejo ou mastigação de modo a manter a pressão externa e a pressão interna do ouvido equalizada, segundo Okuno.

Outro fato é que a pressão dos pulmões, em qualquer profundidade num mergulho é maior que a pressão ao nível do mar e, isto provoca um aumento parcial da pressão dos componentes do ar (oxigênio) e, dependendo desse aumento, diz Okuno (1982, p. 310), pode ocorrer um envenenamento por oxigênio, ou seja, pode ocorrer a oxidação de enzimas dos pulmões, vindo a ocorrer convulsões.

Ainda dentro desse contexto de mergulho, quando um bebê prematuro é indicado a tomar (um banho) oxigênio puro, há, segundo Okuno (1982, p. 310) a ocorrência de grandes riscos de desenvolver a cegueira devido ao bloqueio do desenvolvimento de vasos sanguíneos.

### 3.3 Pontos que podem ser tratado no conteúdo tensão

✿ Na estrutura do corpo humano os ossos tem papel importante nesse contexto. E um de seus comportamentos e de características físicas é dar respostas imediatas quando está sobre tensão, na forma<sup>45</sup>:

*Características Anisotrópicas:* comportamento varia de acordo com a direção da aplicação da carga. Suporta maiores cargas no sentido longitudinal.

*Características Viscoelásticas:* comportamento varia de acordo com a velocidade com que a carga é aplicada e com a duração da mesma.

*Resposta Elástica:* quando a carga é aplicada, o osso deforma-se por uma mudança de comprimento ou formato ( $\epsilon = 3\%$ ). Retirada a carga o osso volta ao comprimento normal.

*Resposta Plástica:* após atingir o ponto de deformação, começa aparecer microrrupturas, o osso deforma-se permanentemente, podendo chegar a faturar-se.

Os ossos têm estrutura irregular e podem sofrer diferentes cargas sobre sua estrutura, que são chamadas cargas combinadas, pois os ossos do corpo humano estão submetidos a diferentes tipos de forças concomitantemente. Segundo Mota, Carlos Bolli (s/d), biomecânica: *ossos*. Texto da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Laboratório de Biomecânica<sup>46</sup>, essas forças são:

<sup>45</sup> Texto de resumo de aula da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, disponível em <[http://webensino.unicamp.br/disciplinas/EF920-289819/apoio/1/aulas12e19\\_03\\_07.pdf](http://webensino.unicamp.br/disciplinas/EF920-289819/apoio/1/aulas12e19_03_07.pdf)>. Acesso em 16 abr. de 2016.

<sup>46</sup> Disponível em <<http://www.ufsm.br/labimec/biomecânica/ossos>>. Acesso em 16 abr. de 2014.

Força gravitacional, forças musculares e outros tipos de forças, eles geralmente estão submetidos a mais de um tipo de carga. A combinação de duas ou mais formas puras de carga é chamada carga combinada. A forma irregular e a estrutura assimétrica dos ossos também contribuem para o surgimento de cargas combinadas.

### 3.4 Pontos que podem ser tratado no conteúdo tensão superficial

✿ Uma referência para tensão superficial é os pulmões. Os pulmões são constituídos de alvéolos pulmonares. Para, Okuno (1982, p. 343)

Os alvéolos pulmonares são fisicamente semelhantes a milhões de pequenas bolhas de 100 a 300  $\mu\text{m}$  de diâmetro, interligados, formando sacos alveolares e, num adulto existe cerca de 250 a 350 milhões alvéolos, cobrindo uma superfície de 75  $\text{m}^2$ , que aumenta quando ocorre a respiração. Uma rede interna de capilares<sup>47</sup> cobre quase a totalidade dessa área. Os sacos alveolares possuem dimensões variadas, e suas paredes são compostas por uma membrana fina, que é banhada por uma camada de fluido. As propriedades elásticas dos alvéolos dependem principalmente das propriedades mecânicas da membrana e da tensão superficial do fluido.

Além disso, nos pulmões existe uma secreção de uma mistura lipoproteínas, segundo Okuno, por células secretoras especiais, que tem como efeito o de diminuir a tensão superficial, do mesmo modo como faz o detergente na água. Essas lipoproteínas seriam as substâncias surfactantes, como é o detergente para água.

✿ O tratamento de canal ou tratamento endodôntico, na odontologia, tem em seus estudos físico-químicos a necessidade do conhecimento da tensão superficial. Isto se dá devido à “necessidade que o líquido irrigante dos canais radiculares ou medicação intracanal tenha o maior contato possível com as paredes dentinárias e sistema de canais”, segundo Ottoni, *et. al.* (2007, p. 16). A necessidade física está atrelada a “capacidade de molhamento da substância irrigante ou medicamento para que o efeito químico seja o esperado” (op. cit).

Nos estudos sobre tensão superficial foi caracterizado que ele depende do material ou composto químico e da temperatura e, nesse contexto o hipoclorito de sódio, com concentração de 1% é usado em consultório odontológico e tem tensão superficial de 60,75 *dina/cm*, medido por Ottoni, *et. al.*

---

<sup>47</sup> Capilares, são túbulos delgados em cujas paredes ocorre o intercâmbio metabólico entre o sangue e os tecidos, têm estrutura física da ordem alguns micrômetros, e “são permeáveis, e estão presentes nos tecidos do corpo humano, cedendo nutrientes, oxigênio e hormônios às células”, como uma teia. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Corpo/Circulacao3.php>>. Acesso em 01 de fev. de 2016.

Mas, estudos em “mensuração da tensão superficial de diferentes substâncias utilizadas na terapia endodôntica<sup>48</sup>” aponta parecer (op. cit. p 17):

uma contradição o hipoclorito de sódio ser um fármaco tão difundido se este tem pouca capacidade de contato com as superfícies, em razão de sua tensão superficial ser de 60,75 dinas/cm. Porém, é plausível mencionar que o hipoclorito de sódio ao reagir com as gorduras forma sabões que agem de forma a melhorar as forças adesivas do fármaco com o meio.

Essas informações da medicina odontológica justifica a necessidade desse conhecimento no contexto da Física e da Química. Neste contexto há exigência dos conhecimentos de tensão superficial e capilaridade, como se pode ver na citação de Lopes *et. al.*, 2014 (*Apud* op. cit. p. 12-13).

Como os sólidos, no caso as paredes do canal radicular, exercem força de atração sobre as moléculas dos líquidos, quando essa força é maior do que a tensão superficial dos líquidos, ocorre o molhamento ou umectação das paredes do canal. Esta interação também explica a capilaridade, que é o poder de o líquido se elevar em tubos capilares ou entre duas superfícies próximas entre si. A capilaridade, que é inversamente proporcional à tensão superficial, traduz o comportamento do líquido em anfractuosidades, reentrâncias ou ramificações na cavidade pulpar. Estudos *in vivo* e *in vitro* mostram que a tensão superficial das soluções químicas auxiliares determina a profundidade de penetração do líquido no canal. Portanto, quanto menor a tensão superficial de uma substância, maior será a sua capacidade de umectação e penetração, aumentando a efetividade de limpeza das paredes do canal radicular.

Este caso particular da odontologia mostra o quanto é importante esse estudo da capilaridade e tensão superficial dentro da concepção Física, mas também dentro do contexto da Medicina, que não deixa de ser uma ponte com a Biologia.

### 3.5 Pontos que podem ser tratados no conteúdo capilaridade

☀ O ponto interesse para explicar a elevação da seiva é o fenômeno de capilaridade. E, segundo Okuno (1982, p. 340), no sentido ascendente, das raízes às folhas, o líquido flui transportando os nutrientes minerais retirados do solo, que mantém viva as células da árvore. E no sentido descendente, flui um líquido, fixado pelo processo da fotossíntese, que serve de alimento para crescimento de árvores.

---

<sup>48</sup> Stomatos, vol. 13, núm. 24, janeiro-junho, 2007, pp. 11-20, Universidade Luterana do Brasil. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/850/85002403.pdf>>. Acesso em 27 de out. de 2014.

Mas, a pressão atmosférica de 1 atm significa corresponder a uma coluna de altura de 10,3 m, pois:

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad \text{daí} \quad h = \frac{1,013 \times 10^5}{10^3 \times 9,80} = 10,3 \text{ m}$$

Com este resultado pode-se questionar: como pode haver vida em árvores maiores que 10,3 m de altura? Como é o caso do eucalipto. Neste contexto se pode perceber que a ação única da pressão não justifica por se só a elevação da água do solo até a ponta de árvores.

Ou seja, o líquido que sobe e desce, constitui a seiva, cujo transporte se dá através do xilema. Que se situa na parte interna das árvores, em diferentes secções, segundo Okuno (1982).

Exemplo:

O condutor de xilema de uma árvore com 50 m de altura possui um raio médio  $r = 0,050$  mm. Sendo a tensão superficial média da seiva bruta  $\gamma = 0,55$  N/m; a densidade  $\rho = 1,0$  g/cm<sup>3</sup> e o ângulo de contato de  $45^\circ$ , qual a altura alcançada pela seiva bruta? Que análise você faz desse resultado?

Solução:

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r} = \frac{2 \times 0,55 \times 0,707}{1,0 \times 10^3 \times 10 \times 0,05 \times 10^{-3}} = 15,554 \quad \text{ou} \quad h = 15,6 \text{ m}$$

Observe que a altura encontrada está longe de 50 m, porém a seiva bruta deve alcançar o pico da árvore. Isto significa que não é somente a compreensão da capilaridade que faz o xilema conduza seiva bruta da raiz ao topo da árvore, há outras forças envolvidas além dos mecanismos próprios da ação biológica.

Assim, um mecanismo a mais para explicar a subida da seiva é a osmose. Por exemplo, qual a pressão osmótica necessária para conduzir seiva ao topo de uma árvore de 30 m de altura, num ambiente com temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ?

$$\pi = \Delta P \quad \text{Eq. 3.1}$$

Esta equação diz que a osmose cessa quando a pressão osmótica é compensada pelo aumento da pressão hidrostática, segundo Okuno (1982). E, sendo assim:

$$\pi = \rho g h = 10^3 \times 9,80 \times 50 \cong 5,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 5,0 \text{ atm}$$

Para baixas concentrações:

$$\pi = C \cdot R \cdot T \Rightarrow \pi = C_M RT \quad \text{ou} \quad C_M = \frac{\pi}{RT} \quad \text{Eq. 3.2}$$

Daí:

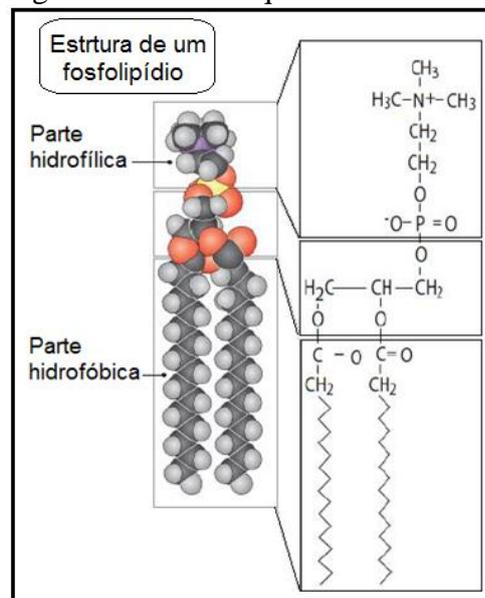
$$C_M = \frac{\pi}{RT} = \frac{\Delta P}{RT} = \frac{5 \text{ atm}}{(0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{osmol} \cdot \text{K}})(293\text{K})} = 0,21 \text{ osmol/L}$$

Logo, a concentração mínima para pressão osmótica de 5,0 atm é de 0,21 osmol/L. Para uma altura média de árvores, se toma  $h = 30 \text{ m}$  e, fazendo os cálculos acima se tem a pressão osmótica de 3,0 atm, levando a constituir uma concentração de 0,12 osmol/L, onde, este é um valor, segundo op. cit. que é encontrado nas árvores na primavera, mas em outras estações esse valor de concentração não é encontrado o que dificulta a elevação da seiva.

✿ No contexto da capilaridade pode-se ver uma composição Química que resulta da formação das moléculas mais abundante nas membranas celulares: os fosfolipídios que têm uma parte hidrofílica e outra hidrofóbica. Segundo Rocha (s/d) sua estrutura resulta da ligação de uma molécula de glicerol com dois ácidos gordos e com uma molécula de ácido fosfórico. Esta molécula está presente nos pulmões, ver figura 3.2

✿ Na capilaridade o fenômeno dos tensoativos ou surfactantes tem papel importante na biologia. Sabe-se da Lei de Laplace que se duas esferas de raios diferentes estão conectadas e cheias de ar, a esfera de menor raio exerce uma pressão maior que a esfera de raio maior.

Fig. 3.2 Figura da estrutura química de um fosfolipídio



Fonte. Disponível em: <<file:///C:/Users/Mario/Downloads/organizacaoabiologica.pdf>>.

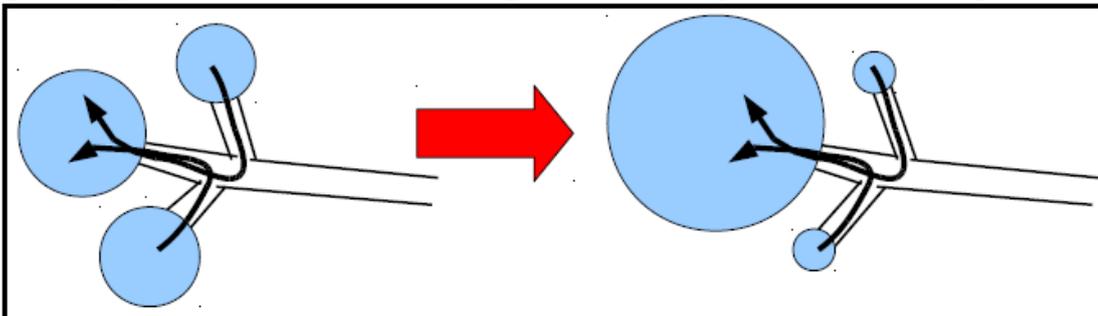
Acesso em 21 de set. de 2013.

Esse conhecimento da Física é observado nos pulmões, cujo princípio está na retirada de oxigênio do ar para que possamos manter a vida. A constituição Física e biológica desse órgão são feitas de um tecido esponjoso possuindo em seu interior os alvéolos pulmonares, que tem formato geométrico quase esférico.

O mecanismo físico de retirada do oxigênio do ar inspiração está associado ao mecanismo de expiração para jogar fora dos pulmões o gás carbônico. Tudo isto é feito pelos alvéolos e pelos capilares que se situam ao redor dos alvéolos.

Assim, durante expiração a pressão dentro dos alvéolos menores é maior que a dos grandes, desse modo, estes pequenos alvéolos deveriam esvaziar para dentro dos grandes; porém, isto não acontece porque o surfactante modifica seletivamente o valor da tensão superficial mantendo a estabilidade entre os alvéolos.

Fig. 3.3 Figura da mecânica da Lei de Laplace de como agiriam nos alvéolos pulmonares



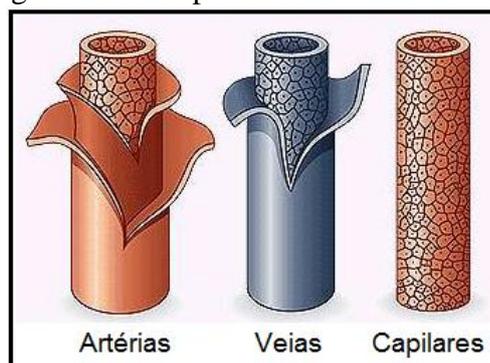
Fonte. Disponível em: <<http://w3.ualg.pt/~rguerra/CBM/aula3.pdf>>. Acesso em 31 de jan. de 2016.

Esse surfactante é constituído das moléculas de fosfolipídios que reduzem a tensão superficial nas superfícies dos alvéolos para facilitar a difusão do oxigênio.

Entende-se então que há um ciclo respiratório (inspirar e respirar), ou colocar oxigênio para dentro dos pulmões e jogar para fora dos mesmos a gás carbônico. E durante esse ciclo o volume de ar dos alvéolos varia e, quando aumentam seu volume que leva conseqüentemente ao aumento da superfície entram em ação as moléculas de fosfolipídios adsorvendo as paredes internas dos alvéolos. Ao mesmo tempo, quando diminuem o volume e conseqüentemente sua superfície comprimem as moléculas adsorvidas. Onde se compreende a físico-química do fenômeno da adsorção como sendo a capacidade de retenção de partículas por interações moleculares na superfície de um líquido.

✿ Os mecanismos de fluxos sanguíneos é outro ponto de interesse na Física da capilaridade, pois este é o caminho da circulação do sangue nos seres vivos. E para tal, existem os dutos por onde o sangue circula.

Fig. 3.4 Figura de dutos por onde ocorre o fluxo sanguíneo



Fonte. Disponível em: <<http://www.icarito.cl/2010/05/estructura-de-los-vasos-sanguineos-2.shtml/>>. Acesso em 23 de abr. de 2016.

Onde nas artérias se tem três capas: a interna chamada de endotelial; a central formada por fibras musculares e elásticas e, a externa formada por tecidos conjuntivos. As veias são formadas por duas capas: a interna chamada endotelial e a externa formada por fibras musculares, elásticas e conjuntivas. Os capilares só possuem uma camada formada por tecidos endotelial. É bom deixar claro que outras nomenclaturas para vasos sanguíneos, com mais especificidade da Biologia existem só que o interesse aqui é mostrar a função Física da capilaridade na Biologia.

Na construção da multidisciplinaridade sistêmica como metodologia de ensino para temas de Física como tensão superficial e capilaridade no contexto da Biologia, não é salutar o professor dar conotação estruturalista, ou sequencial em suas aulas (ao pé da letra), como a que se posta neste produto de ensino, enquanto apresentação escrita.

A ideia central é a Formação do Professor (Física) nas abordagens de Física e Biologia, aqui já delineada. Sendo assim, o professor poderá desenvolver suas atividades no ministério de suas aulas, buscando compreender como estudantes representam percepções acerca desses conteúdos, levantando questionamentos (processos investigativos) para buscar a compreensão de tensão superficial e capilaridade junto às atividades experimentais e conjuntamente vistas na concepção de argumentos da Biologia, Biomedicina ou da Medicina, como forma metodológica multidisciplinar e sistêmica. Isto para fornecer a possibilidade de que o todo é maior que a soma das partes.

### 3.6. Elementos midiáticos para metodologia multidisciplinar sistêmica

No momento se apresenta elementos midiáticos para o professor usar, se assim ele desejar, como uma colaboração a mais para vivenciar em suas aulas de Física a metodologia multidisciplinar sistêmica. Buscando compreender essa linha de pensamento como condição

de necessidade aos jovens em sua aprendizagem de Física, verificando interesses na dimensão da aprendizagem dos temas, tensão superficial e capilaridade, nessa abordagem metodológica.

1. O livro *As Conexões Ocultas: ciência para uma vida sustentável*, de Fritjof Capra é uma leitura recomendada e indispensável ao professor de Física. A abordagem da primeira parte desse livro trata da vida, mente e sociedade. É um tripé uno. E a compreensão de sociedade com a comparação de um organismo vivo é muito boa. A segunda parte trata dos desafios do século XXI e, este é o ponto crucial de que professores devem compreender. Por isso, compreende-se ser leitura essencial, na formação do professor de Física.

2, O livro *A Teia da Vida*, de Fritjof Capra também se apresenta como leitura que não deve faltar ao professor de Física, pois em sua construção está a estrutura do *pensamento complexo* (que é o pensamento e visão de mundo do século XXI) e da *natureza do pensamento sistêmico*. E neste espectro a compreensão de vida e de natureza fundamenta-se no pensamento complexo, essencial para a metodologia multidisciplinar e sistêmica.

3. Um texto para o professor trabalhar a compreensão de tensão superficial e dos surfactantes é apresentado pela *Washington University Medical School* (é um texto em inglês) num programa Jovem Cientista, incluso um kit (DVD e materiais) que não temos. O programa em inglês é The Young Scientist Program Surface Tension Teaching Kit; de Handout. Está disponível em: <http://ysp.wustl.edu/KitCurriculum/SurfaceTension/Surface%20Tension-Teacher.pdf>. Esta é uma recomendação para trabalhar o conhecimento físico de forma prática.

4. Um livro para o professor compreender a Física atrelada a Biologia e a Medicina é o livro de Paul Davidovits, *Physicis in Biology and Medicine*. É um excelente texto. Escrito com muita propriedade e deve ser um título útil no uso dessa metodologia. [http://server2.phys.uniroma1.it/doc/giansanti/FISICA\\_TO\\_2010/Davidovits%20P.%20Physic%23553671.pdf](http://server2.phys.uniroma1.it/doc/giansanti/FISICA_TO_2010/Davidovits%20P.%20Physic%23553671.pdf). Esta é uma recomendação ímpar.

5. Um livro que o professor deve fazer uso, embora essa referência não seja para o Ensino Médio, mas é um livro ímpar para o tema tensão superficial e capilaridade no contexto da biologia, que tem título *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* de Emico Okuno, Iberê Caldas e Cecil Chow, e é uma literatura brasileira e, dois capítulos são destaques. O capítulo 19: *Fluidos num Sistema Biológico* e o capítulo 20 que trata de *Movimento e Propriedades de*

*Fluidos*. Este livro tem papel importante para o professor de Física no sentido de compor mais conhecimento acerca da Física no contexto da Biologia.

6. Para trabalhar a concepção da atmosfera e, conseqüentemente, da vida na terra, a recomendação são dois vídeos sobre *Física e Meio Ambiente*, produzido pela Universidade Estadual da Bahia. No primeiro vídeo o trabalho é feito sobre o uso do Sol, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=82BD4G0aXiQ>. E explica a fotossíntese de forma excelente. Além disso, o segundo vídeo aborda também a questão ambiental, e a problemática da produção de energia, formação da luz; está disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=syw7lZ1mm58>. São vídeos curtos que devem ser apresentados na turma e depois abrir discussão sobre o tema. Buscando compreender como estudantes representam suas percepções acerca de um objeto da Física junto a Biologia.

7. Quando abordar o tema densidade sabe-se que a densidade urinária faz parte de recurso da biomedicina não invasiva e, desta forma o vídeo *Física na Urina* é muito bom. Disponível em [https://www.youtube.com/watch?v=gOkXD\\_XlaQM](https://www.youtube.com/watch?v=gOkXD_XlaQM). Este vídeo também ressalta a importância da segurança biológica.

8. A compreensão da pressão arterial traz consigo a necessidade de entender como se processa os batimentos cardíacos. E este vídeo mostra como medir a frequência cardíaca. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=GOIYaE3-7yY>. Isto é bom que jovens e adultos conheçam. Principalmente quando realizar exercícios.

9. Este vídeo mostra como acontece um ataque cardíaco. É muito importante para entender como é ruim a falta do fluxo sanguíneo por acúmulo de gorduras. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=INag1QZJ-Pk>; Este vídeo tem função social excelente e faz parte do conhecimento sistêmico da Física e Biologia.

10. Estes dois vídeos são importantes porque mostra como funcionam os fluidos no corpo humano, principalmente no que diz respeito ao infarto, a importância desse vídeo não é somente Física e Biológica, mas também social. É aconselhável exibi-lo numa aula sobre fluido e pressão. É bom exibir na ordem, pois os mesmos contam uma história em 30 minutos (15 minutos para cada vídeo) que envolve esforço físico e má alimentação como causas possíveis de um infarto, além de mostrar a importância do socorro imediato de uma pessoa

que inicia o infarto. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2NEv74sZEEc> PARTE 1; A parte 2 está disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=sCluygXhqpQ>.

11. Vídeo sobre tensão superficial e o uso de surfactantes. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=fjxEBiH7YHw> Que deve ser explorado na sala de aula, no contexto dos processos investigativos, para buscar argumentações de estudantes.

12. Para falar de força de coesão e tensão superficial, o vídeo tensão superficial e adesão faz isto. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nQwjsFvBMqY>. No vídeo há outros exemplos na vida prática sobre surfactantes. Muito bom para exibir numa aula de física e depois abrir uma discussão sobre o tema. Também fala um pouco sobre a formação de meniscos e da capilaridade.

13. A capilaridade é um fenômeno que também atinge o solo. No caso o vídeo Água no solo – Capilaridade é desenvolvido a compreensão química de formação da água, apresentando características de água, trabalhando forças de coesão, tensão superficial, capilaridade (forças de coesão e adesão). Está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QP9hlDHkbDs>. Um vídeo de quase 25 minutos e, numa aula deve ser trabalhado conforme desejo do professor. O importante é mostrar o fenômeno físico da capilaridade para o solo.

14. Este vídeo mostra um dos efeitos da capilaridade. Como é um experimento que envolve um tempo enorme para uma aula, ele pode ser executado numa escola durante um período (manhã). Serve também de um complementar da aula sobre o tema. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=fphGwNF8NRk>.

15. Aqui é indicação própria para o professor que é o livro. *Fundamentos de Mecânica dos Fluidos* de Rogério M. Saldanha Gama. Este livro tem estrutura de mecânica dos fluidos com *formulação matemática de bom nível*, mas esta formulação não está ao alcance do Ensino Médio. Livro publicado pela UERJ / 2012.

*Indicação de Livros no Ensino Médio que formaram a motivação desse trabalho*

(Possivelmente, esses livros não mais existam em livrarias do Recife).

➤ *Imagens da Física* (volume único), de Ugo Amaldi (1992) retrata num capítulo de mecânica o texto “*as propriedades da matéria*”, lugar onde está às forças intermoleculares

que é um texto simples no qual aborda a tensão superficial com o exemplo clássico de insetos pousados na superfície da água e sobre força elástica ou Lei de Hooke, apresenta a expressão vetorial correta dessa lei, porém não mais que isto. Publicação italiana de 1992.

➤ *Física na Escola Secundária* (2 volumes) de Oswald H. Blackwood, Wilmer B. Herron e William C. Kelly retrata no capítulo do volume 1 o tema “*Forças entre moléculas*”, as diferenças entre gases líquidos e sólidos, um pouco de cristalografia, plasticidade e atração entre moléculas. Neste capítulo eles abordam a elasticidade e um pouco da construção da Lei de Hooke. Depois tensão superficial e capilaridade. Publicação na língua inglesa em 1958.

➤ *Física 3* (4 volumes) de Bukhovtsev, Hlimontovitch e Miakichev, é um livro russo de 1982, traduzido para a língua portuguesa de Portugal pela Editora Mir Moscovo; o referido aborda no capítulo 6: *Tensão Superficial dos líquidos* com subitens *Força de Tensão Superficial e Fenômenos da Capilaridade*. No capítulo 7 no tema *Corpos Sólido* aborda a visão microscópica desses corpos, bem como o problema das *deformações* indo para construção física e analítica da Lei de Hooke; em seguida trabalha a contextualização da plasticidade e fragilidade de corpos sólidos, dando maior significação a Física do Estado Sólido. Excelente livro para o Ensino Médio.

➤ *Mecânica dos Fluidos: experimento – teoria – cotidiano* de Hélio Bonadiman destinado ao Ensino Médio (antigo 2º grau) com ênfase experimental. Assim, no capítulo *Atividade 8* o autor fala dos Fenômenos de Superfícies e desenvolve atividades experimentais sobre Tensão Superficial, Superfícies Mínimas e Capilaridades. Depois, faz comentários complementares da compreensão teórica dos fenômenos abordados, inclusive de Agentes Umificadores e Agentes Impermeabilizantes. Este é um livro brasileiro de 1989 e, nele também se encontra exercícios sobre as atividades aplicadas.

➤ *Mecânica*, de nível intermediário entre o Ensino Médio e o Ensino Superior, é o de *Sears & Zemansky* (1970), que aborda no capítulo 13 do volume 1 o tema Tensão Superficial envolvendo a Capilaridade. Tem uma descrição Física e Matemática muito apropriada ao Ensino Médio. Este livro é de uma publicação americana.

### **3.7. Compreendendo a física do equilíbrio: um complemento ao contexto físico**

A hidrostática trabalha com as Leis da Física Clássica newtoniana e, um dos princípios que se usa é o da Física do Equilíbrio. Considere um sistema de forças atuando sobre um corpo de massa  $M$ , representado num plano cartesiano.

Tem-se pela primeira lei de Newton que, se a força resultante (soma de todas as forças) que atuam no corpo for nula, o corpo está em repouso (velocidade nula) ou em movimento retilíneo uniforme (velocidade constante), num referencial inercial e, isto ocorre porque a aceleração do corpo é nula e, assim deve permanecer a não ser que outra ação entre em contato com o referido corpo.

Olhando para a condição de equilíbrio, este proporciona na linguagem Física que, a soma de todas as forças sobre o corpo deve ser nula e, para tal, num plano cartesiano, diz-se que a soma das forças no eixo das abscissas e no eixo das ordenadas deve ser nula. Esta é a primeira condição de equilíbrio.

$$\sum \vec{F}_x = 0 \quad Eq. 3.3$$

$$\sum \vec{F}_y = 0 \quad Eq. 3.4$$

Essas condições para o corpo rígido denotam no conjunto que a *aceleração linear do centro massa do corpo rígido é nula*, que é a primeira lei de Newton. Mas, sozinha esta condição permite que o corpo rígido gire. Para que a condição geral de equilíbrio esteja completa deve-se exigir a não rotação do corpo rígido, ou seja, a *aceleração angular* deve ser nula. Isso impõe a condição de Equilíbrio dos Torques.

Para verificar a segunda condição parte-se do pressuposto de que um corpo rígido de massa  $M$  tem-se  $n$  massas pequeníssimas.

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad Eq. 3.5$$

Tomando a compreensão Física de força central, onde esse tipo de força só depende do raio de ação de aplicação dessa força (torque), pode-se considerar o centro de massa desse corpo rígido com relação a uma distância  $r$  da origem do sistema cartesiano. Como esse corpo possui  $n$  massas pequeníssimas e diferentes, então cada uma dessas massas está ligada a  $n$  raios diferentes entre si. Assim, o produto da massa  $M$  por  $\vec{r}$  é o momento total do corpo rígido. Então essa grandeza  $M\vec{r}$  é a soma de  $n$  momentos pequeníssimos e diferentes entre si.

$$M\vec{r} = m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + m_3\vec{r}_3 + \dots + m_n\vec{r}_n = \sum_{i=1}^n m_i\vec{r}_i$$

Se for tomado o momento com relação à origem do sistema cartesiano ( $\vec{r} = 0$ )

$$0 = m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \dots + m_n \vec{r}_n = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i$$

Multiplicando esta expressão pela aceleração da gravidade

$$0 = m_1 \vec{r}_1 x \vec{g} + m_2 \vec{r}_2 x \vec{g} + m_3 \vec{r}_3 x \vec{g} + \dots + m_n \vec{r}_n x \vec{g} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i x \vec{g}$$

$$0 = \vec{r}_1 x m_1 \vec{g} + \vec{r}_2 x m_2 \vec{g} + \vec{r}_3 x m_3 \vec{g} + \dots + \vec{r}_n x m_n \vec{g} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i x m_i \vec{g}$$

$$0 = \vec{r}_1 x \vec{P}_1 + \vec{r}_2 x \vec{P}_2 + \vec{r}_3 x \vec{P}_3 + \dots + \vec{r}_n x \vec{P}_n = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i x \vec{P}_i$$

Como  $m_i \vec{g}$  é a força peso ou força da gravidade, então cada vetor  $\vec{r}_i$  que é componente do vetor  $\vec{r}$ , representa um braço de alavanca entre a linha de ação da força peso e a origem do sistema que é o centro de massa.

A origem dessa compreensão Física está na concepção de momento angular total de um sistema de  $n$  partículas, é definido por:

$$\vec{J} = \sum_i m_i \vec{r}_i x \vec{v}_i \quad \text{Eq. 3.6}$$

$$\vec{J} = \sum_i m_i \vec{r}_i x \vec{v}_i = \sum_i \vec{r}_i x m_i \vec{v}_i = \sum_i \vec{r}_i x \vec{p}_i \quad \text{Eq. 3.7}$$

Kibble (1970, p. 154), faz a leitura da dinâmica dos corpos rígidos dizendo que “quando as forças internas forem centrais, a derivada temporal do momento angular é igual a soma dos momentos das forças externas”. Assim:

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \sum_i \vec{r}_i x \vec{F} \quad \text{pois} \quad \frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}$$

$$\text{Desse modo, :} \quad \sum_{i=1}^n \vec{r}_i x m_i \vec{g} \equiv \sum_{i=1}^n \vec{r}_i x \vec{P} = \frac{d\vec{J}}{dt}$$

Segundo Kibble (1970), para sistemas isolados tem-se a Lei de Conservação do momento angular:

$$\vec{J} = \text{constante} \Rightarrow \frac{d\vec{J}}{dt} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{P} = \frac{d\vec{J}}{dt} = 0$$

Ou seja:

$$\sum \sigma_{Total} = 0 \quad Eq. 3.8$$

Essa concepção Física está no fato de que a aceleração angular é nula. Supondo que não seja nula, isso quer dizer que há giro livre do corpo rígido em torno de um eixo principal, nessas condições:

$$\vec{J} = I\vec{\omega} \quad Eq. 3.9$$

Onde  $I$  é momento de inércia do corpo e  $\omega$  é a velocidade angular. Assim, desde que *nenhuma força externa* atue sobre o corpo, tem-se que:

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad \text{como} \quad \frac{d\vec{J}}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{\omega}}{dt} = 0 \quad Eq. 3.10$$

Fisicamente, esta equação impõe na condição de equilíbrio o fato de que a *aceleração angular* ser nula é a segunda condição de equilíbrio de forças atuando sobre um corpo rígido, fato que se impõe na equação 3.8.

Esse espaço de discussão mostra a Física (Estática e Dinâmica) de corpos rígidos com a fundamentação para mostrar as condições de equilíbrio estático e dinâmico dentro da dimensionalidade Física. Isso se fez necessário para mostrar que os princípios físicos de tensão superficial e capilaridade estão no contexto da Física Clássica, estruturados nos princípios do equilíbrio de forças dentro da natureza da mecânica dos fluidos.

A ideia aqui está na visão de que o referido tema pode ser apresentado aos estudantes no contexto da Física pela Física, mas, também tem a possibilidade de contextualizar o tema dentro do arcabouço da Biologia, numa prática de ensino multidisciplinar com vistas ao sistema das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, oferecendo, nesse sentido, a compreensão de multidisciplinaridade sistêmica. Não é um trabalho fácil! Mas, é um caminho. É um princípio para se atingir o limite da busca de um projeto interdisciplinar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>49</sup>

AMALDI, Ugo. **Imagens da física**. (Tradução de Giuseppe Ferrari do original Immagini della Física, Copyright © 1992). São Paulo: Scipione, 1995.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), Revista; Saúde e Economia: **Glaucoma**. Ano I, Edição N<sup>o</sup> 2, Novembro de 2009. Disponível em <<http://200.214.130.94/rebrats/publicacoes/Saude%20e%20Economia.pdf>>. Acesso em 05 de mai. de 2014.

BLACKWOOD, Oswald H.; HERRON, Wimer B. KELLY, Willian C. **Física na escola secundária**. (2 volumes), vol. 1 (Tradução de José Leite Lopes, Jayme Tiomno do original High School Physics, Copyright © 1958). Rio de Janeiro: Fundo de Cultura SA. 1<sup>a</sup> Edição brasileira em 1958.

BONADIMAN, Helio. **Mecânica dos fluidos: experimento – teoria – cotidiano**. Ijuí, RS: UNIJUÍ, 1969 (Coleção: ensino de 2<sup>o</sup> grau).

BUKHOVTSEV. B; KLIMONTOVITCH, In e MIAKICHEV, G, **Física 3**. (4 volumes). (Tradução do original, de 1982, por K. Asryantz da língua russa). Lisboa/Portugal: Mir Moscovo, 1987.

DAVIDOVITS, Paul. **Physics in biology and medicine**. 3rd ed. (Complementary science series). Academic Press: United States of America, 2008. Disponível em <[http://server2.phys.uniroma1.it/doc/giansanti/FISICA\\_TO\\_2010/Davidovits%20P.%20Physic%23553671.pdf](http://server2.phys.uniroma1.it/doc/giansanti/FISICA_TO_2010/Davidovits%20P.%20Physic%23553671.pdf)>. Acesso em 06 de jul. de 2007.

DANTAS, Luiz Bezerra (2009). **Glaucoma a doença silenciosa**; apostila da Editora INESP, produzida pela Assembleia Legislativa do Ceará, disponível em <<file:///C:/Users/Mario/Downloads/glaucoma.pdf>>. Acesso em 20 de mai. de 2014.

DE PAULA, *et. al.* **A Química inorgânica no planejamento de fármacos usados no controle da hipertensão**. Revista Química Nova. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, n. 6, julho de 2005.

**Definition of interface Liquid-gas and liquid-liquid interfaces** (surface tension, spreading, adsorption and orientation at interfaces). Sem autoria [2016?]. Disponível em <<http://dragon.unideb.hu/~kolloid/colloid/lectures/chembsc/lecture%2003.pdf>>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

FEITOSA, Laércio. **Movimento das águas no solo** (percolação). Texto disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA0GIAB/movimento-das-aguas-no-solo-percolacao>>. Acesso em 16 de abr. de 2016.

FERREIRA, João Paulo Medeiros. **Tensão superficial** – sua natureza e efeitos. Escola Superior de Biotecnologia. Universidade Católica Portuguesa. Porto/Portugal, s/d. Disponível em <<http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/618/article/30001960/pdf>>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

---

<sup>49</sup> As figuras retiradas de imagens da internet têm endereço eletrônico citado abaixo de cada figura. Os vídeos citados têm seus endereços eletrônicos no contexto da fala sobre o referido vídeo.

GAMA, Rogério M. Saldanha. **Fundamentos de mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: UERJ / 2012.

GOMES, Maria Helena Rodrigues. **Mecânica dos fluidos** (apostila). Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Disponível em <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mec%C3%A2nica-dos-Fluidos.pdf>>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

KIBBLE, Thomas Walter Bannerman. **Mecânica clássica**. (Tradução por A. L. da Rocha Barros e Redondo do original Classical Mechanics, Copyright 1966) São Paulo: Polígono, 1970

MOTA, Carlos Bolli. **Biomecânica: ossos**. Texto em Power Point da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, do Laboratório de Biomecânica, s/d. disponível em <<http://www.ufsm.br/labiomec/biomecanica/ossos>>. Acesso em 16 de abr. de 2016.

OKUNO, Emico, CALDAS, Iberê e CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: HARBRA, 1982.

OTTONI, Andréia B.; SOARES, R. G.; IRALA, Luiz E. D.; SALLES, Alexandre A.; LIMONGI, Orlando. **Mensuração da tensão superficial de diferentes substâncias utilizadas na terapia endodôntica**. Revista Stomatos, v. 13, n. 24, p. 11-20, jan./jun de 2007. Disponível em <<http://www.redalyc.org/pdf/850/85002403.pdf>>. Acesso em 30 de jan. de 2016.

PINHO JÚNIOR, *et. al.* **Estudo comparativo da frequência cardíaca e da pressão arterial, antes e após exercício aeróbico no solo e na água em idosos do “projeto vida ativa na terceira idade**. TCC, apresentado ao Curso de Fisioterapia do Centro de Saúde da Universidade do Amazônia (UNAMA), em 2007, disponível em <[http://www.unama.br/graduacao/fisioterapia/pdf/2007/Estudo\\_comparativo\\_da\\_frequencia\\_cardiaca\\_e\\_da.pdf](http://www.unama.br/graduacao/fisioterapia/pdf/2007/Estudo_comparativo_da_frequencia_cardiaca_e_da.pdf)>. Acesso em 15 de mai. de 2016.

PILLING, Sérgio. Físico-Química Experimental. Prática 5, **Tensão superficial**, para Universidade do Vale do Paraíba em São José dos Campos – SP. Disponível em <[http://www1.univap.br/spilling/FOE2/FOE2\\_Introducao.ementa.pdf](http://www1.univap.br/spilling/FOE2/FOE2_Introducao.ementa.pdf)>. Acesso em: 24 de mar. de 2016.

ROGERS, Eric M. **Physics for the inquiring mind: the methods, nature, and philosophy of physical science**. Princeton, New Jersey: Princeton University, 1960.

SEARS, Franis Weston e ZEMANSKY, Mark W. **FÍSICA**. (3 volumes). Vol. 1. (Tradução de Carlos Campos de Oliveira do original University Physics. 1ª Impressão de 1959). Rio de Janeiro: Livros Técnicos AS, 1970.

SILVEIRA, Sérgio Lang & LEVIN, Yan. **Pressão e volume em balões de festa: podemos confiar em nossa intuição?** Revista Cad. Bras. Ens. Fís., v. 21, n. 3: p. 285-295, dez. 2004. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~levin/Pdfs.dir/Baloes.pdf>>. Acesso em 29 de jan. de 2016.

Surface Tension (cap. 5. Rodapé do texto: Copyright1 © 1998–2010 Benny Lautrup). Disponível em: <<http://www.cns.gatech.edu/~predrag/courses/PHYS-4421-13/Lautrup/surface.pdf>>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

THUREY, Nils; WOJTAN, Chris; GROSS, Marcus e TURK, Greg. **A Multiscale approach to mesh-based surface tension flows**. Artigo (s/d) disponível em <[http://pub.ist.ac.at/group\\_wojtan/projects/surface\\_tension/surface\\_tension.pdf](http://pub.ist.ac.at/group_wojtan/projects/surface_tension/surface_tension.pdf)>. Acesso em 16 de abr. de 2016.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Departamento de Química (IQ-USP), **Adsorção de solução**. Disponível em <<http://www2.iq.usp.br/docente/hvlinner/adsorcao.pdf>>. Acesso em 18 de abr. de 2016.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC). Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) do Departamento de Química (DQM), para o Laboratório de Físico-Química Experimental, sobre **Tensão superficial**. Disponível em <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/07\\_08\\_TensaoSuperficial.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/07_08_TensaoSuperficial.pdf)>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP).: **Ossos**. Disponível em <[http://webensino.unicamp.br/disciplinas/EF920-289819/apoio/1/aulas12e19\\_03\\_07.pdf](http://webensino.unicamp.br/disciplinas/EF920-289819/apoio/1/aulas12e19_03_07.pdf)>. Acesso em 16 de abr. de 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). Grupo Ensino de Física. **Tensão superficial**. Disponível <<http://coral.ufsm.br/gef/Fluidos/fluidos20.pdf>>. Acesso em 24 de mar. de 2016.

## Apêndice B

## UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)<sup>50</sup>

## UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

Campus Mata Norte

<b>PROTOCOLO</b>  E – _____	<b>Questionário 1.0</b>  <b><u>Informal</u></b>	<b>Visto em</b>  ____ / ____ / 2016
-----------------------------------	---	---

Estudante: \_\_\_\_\_

1º Período de Licenciatura em Biologia. Idade: \_\_\_\_\_ anos. Sexo: [ ] M [ ] F

Professor/Pesquisador: Mario de Souza. Data: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2016.

01. Marque um X na origem de sua escolaridade na Educação Básica.

Escolaridade	SÉRIE / ANO	Escola Pública Federal	Escola Pública Estadual de Aplicação	Escola Pública Estadual - EREM	Escola Pública Estadual	Escola Pública Municipal	Escola da Rede Privada (particular)
Ensino Fundamental	5ª Série ou 6º Ano						
	6ª Série ou 7º Ano						
	7ª Série ou 8º Ano						
	8ª Série ou 9º Ano						
Ensino Médio	1º Ano						
	2º Ano						
	3º Ano						
	4º Ano						

02. Se você fez algum curso Técnico indique:

---



---

03. Você veio do Curso de Magistério no Ensino Médio?

[ ] Sim [ ] Não

---

<sup>50</sup> MNPEF – Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física

**Apêndice C****UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)**Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)<sup>51</sup>**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**

Campus Mata Norte

<b>PROTOCOLO</b>
E – _____

**Questionário 1.1****Informal**

<b>Visto em</b>
____ / ____ / 2016

Estudante: \_\_\_\_\_

1º Período de Licenciatura em Biologia. Idade: \_\_\_\_\_ anos Sexo: [ ] M [ ] F

Professor/Pesquisador: Mario de Souza. Data: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2016.

01. Como você compreende a necessidade de estudar Física no mundo hoje?

-----

-----

-----

-----

-----

02. Com respeito à disciplina Física você (marque só uma alternativa).

- [a] (5 pontos) gosta muito [ ]
- [b] (4 pontos) apenas gosta, mas nem tanto [ ]
- [c] (3 pontos) apenas tem simpatia [ ]
- [d] (2 pontos) não gosta [ ]
- [e] (1 ponto) não tem nenhuma apreciação, mesmo [ ]

03. Com respeito à disciplina Biologia você (marque só uma alternativa).

- [a] (5 pontos) gosta muito [ ]
- [b] (4 pontos) apenas gosta, mas nem tanto [ ]
- [c] (3 pontos) apenas tem simpatia [ ]
- [d] (2 pontos) não gosta [ ]
- [e] (1 ponto) não tem nenhuma apreciação, mesmo [ ]

---

<sup>51</sup> MNPEF – Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física

04. Enquanto estudante do Ensino Médio você assistiu aulas de Física que formam envolvidas com conhecimentos da Biologia?

[a] Sim

[b] Pouco

[c] Muito pouco

[d] Raramente

[e] Não.

05. Enquanto estudante do Ensino Médio você assistiu aulas de Biologia que foram envolvidas com conhecimentos de Física?

[a] Sim.

[b] Pouco

[c] Muito pouco

[d] Raramente

[e] Não.

06. No Ensino Médio você estudou o tema físico, ministrado pelo professor de Física, denominado Tensão Superficial?

[a] Sim.

[b] Não.

07. No Ensino Médio você estudou o tema físico, ministrado pelo professor de Física, denominado Capilaridade?

[a] Sim.

[b] Não.

08. Você faz alguma ideia do que seja Tensão Superficial e Capilaridade?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Apêndice D****UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)**Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)<sup>52</sup>**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**

Campus Mata Norte

<b>PROTOCOLO</b>  <b>E – _____</b>
--

**Questionário 1.2**  
**Tensão Superficial**  
**e Capilaridade**

<b>Visto em</b>  ____ / ____ / 2016
---

Estudante: \_\_\_\_\_

1º Período de Licenciatura em Biologia. Idade: \_\_\_\_\_ anos Sexo: [  ] M [  ] F

Professor/Pesquisador: Mario de Souza. Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2016.

**Verificando conhecimento Físico e Biológico**

01. Como você compreende o significado de tensão?

---



---



---

02. O que significa para você os contextos: superfície e área?

---



---

03. Você já ouviu falar de tensão superficial? O que significa para você?

---



---



---

04. Você já viu algum inseto andando sobre a água? Se sim, por que ele realiza este mecanismo?

---



---



---

<sup>52</sup> MNPEF – Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física

05. Se Torricelli tivesse realizado a experiência dele usando água ao invés de usar mercúrio ele necessitaria de uma coluna de 10,3 m de altura, para que ele visse seu resultado experimental. Mas, e as plantas com mais de 20 ou 30 m de altura, como pode a água chegar a essa altura?

---

---

---

06. Por que podemos dizer que um fio de cabelo é um vaso capilar?

---

---

07. Qual a utilidade dos vasos capilares em nosso corpo?

---

---

---

08. Se num recipiente com água e sabão em pó você mistura até fazer bastantes espumas. Depois que você para de fazer isto, o volume de espuma aumenta ou diminui após você parar? Justifique-se.

---

---

---

09. Qual a função das células secretoras especiais de lipoproteínas nos alvéolos pulmonares?

---

---

---

10. Qual a finalidade do uso de detergente para lavar pratos, sob o ponto de vista da Tensão Superficial?

---

---

---

## Apêndice E

## UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)<sup>53</sup>

## UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

Campus Mata Norte

<b>PROTOCOLO</b>  <b>E – _____</b>
--

**Questionário 1.3**  
**Tensão Superficial**  
**e Capilaridade**

<b>Visto em</b>  ____ / ____ / 2016
---

Estudante: \_\_\_\_\_

1º Período de Licenciatura em Biologia. Idade: \_\_\_\_\_ anos Sexo: [  ] M [  ] F

Professor/Pesquisador: Mario de Souza. Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2016.

## Verificando conhecimento Físico-Matemático

01. Qual a massa de uma gota de água produzida por um conta-gotas que tem raio de 2,00 mm? Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a tensão superficial da água a  $0^\circ\text{C}$  de  $7,50 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ . Use a equação  $P = F_s$  ou  $mg = 2\pi r\gamma$ .
02. Calcule a altura que se elevará o éter ( $\rho = 0,730 \text{ g/cm}^3$ ) num tubo capilar de raio  $r = 0,05 \text{ mm}$ , sabendo-se que a tensão superficial é  $\gamma = 18,00 \text{ dyn/cm}$ . Expresse sua resposta no SI. Considere  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ .
03. O condutor de xilema de uma árvore com 50 m de altura, possui um raio médio  $r = 0,050 \text{ mm}$ . Sendo a tensão superficial média da seiva bruta  $\gamma = 0,055 \text{ N/m}$ ; a densidade  $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$  e o ângulo de contato de  $45^\circ$ , qual a altura alcançada pela seiva bruta? Que análise você faz desse resultado?

Observação:

- [a] Resolva na página em branco de caneta azul ou preta
- [b] Deve usar máquina de calcular e pode consultar livros textos de física.
- [c] Tente fazer sozinho(a). Isto não é avaliação **é uma verificação** de como está seu conhecimento na área de física, quando você tem que aplicar um procedimento matemático.
- [d] Se você não souber resolver escreva na questão. **Não sei resolver.**
- [e] Depois isto será resolvido para você.

---

<sup>53</sup> MNPEF – Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física