

**UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES  
EDUARDO OLIVEIRA CARVALHO**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DIDÁTICAS PARA O  
ENSINO DE SISTEMAS TAMPÃO E PRINCÍPIOS DE  
TERMODINÂMICA APLICADOS AOS SISTEMAS BIOLÓGICOS**

Dissertação apresentada a Universidade de  
Mogi das Cruzes, como parte das exigências  
para a obtenção do título de Mestre em  
Biotecnologia  
(Área de concentração: Biológicas)

**Prof<sup>a</sup> Orientadora: Dr<sup>a</sup>. ISELI LOURENÇO NANTES**

**Mogi das Cruzes, SP  
2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Financiamento: FAEP: UMC

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

Carvalho, Eduardo Oliveira

Desenvolvimento de ferramentas didáticas para o ensino de sistemas tampão e princípios de termodinâmica aplicados aos sistemas biológicos / Eduardo Oliveira Carvalho. -- 2006.

97 f.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Mogi das Cruzes, 2006.

Área de concentração: Biológicas

Orientador : Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> Iseli Lourenço Nantes

1. Bioquímica – Métodos de ensino 2. Sistema tampão 3. Termodinâmica 4. Ferramentas didáticas

CDD 572

**ATAS**

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES**

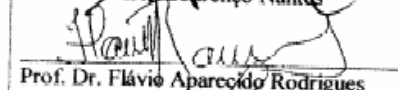
Às catorze horas do dia trinta e um de março de dois mil e seis, na Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa de dissertação "**Desenvolvimento de Ferramentas Didáticas para o Ensino de Sistemas Tampão e Princípios de Termodinâmica Aplicados aos Sistemas Biológicos**" para obtenção do grau de Mestre pelo(a) candidato(a) **Eduardo Oliveira Carvalho**. Tendo sido o número de créditos alcançados pelo(a) mesmo(a) no total de 50 (cinquenta), a saber: 26 unidades de crédito em disciplinas de pós-graduação e 24 unidades de crédito no preparo da dissertação, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obtenção do grau de Mestre. A Comissão Examinadora estava constituída dos Senhores Professores Doutores Iseli Lourenço Nantes e Flávio Aparecido Rodrigues da Universidade de Mogi das Cruzes, e Adelaide Faljoni-Alário da Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, como orientador da dissertação. A Sessão Pública da defesa de dissertação foi aberta pelo Senhor Presidente da Comissão que apresentou a candidata. Em seguida o(a) candidato(a) realizou uma apresentação oral da dissertação. Ao final da apresentação da dissertação, seguiram-se as arguições pelos Membros da Comissão Examinadora. A seguir a Comissão, em Sessão Secreta, conforme julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

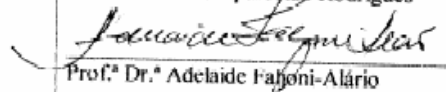
Aprovado por Unanimidade  
(aprovado(a)/reprovado(a)) (unanimidade/majoria)

Mogi das Cruzes, 31 de março de 2006

Comissão Examinadora

  
Prof. Dr. Iseli Lourenço Nantes

  
Prof. Dr. Flávio Aparecido Rodrigues

  
Prof.ª Dr.ª Adelaide Faljoni-Alário

Julgamento

aprovado  
(aprovado(a)/reprovado(a))

aprovado  
(aprovado(a)/reprovado(a))

aprovado  
(aprovado(a)/reprovado(a))

## ***DEDICATÓRIA***

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me concedeu a vida e a ele devo tudo que sou hoje.

Dedico também a minha mãe, irmãos e namorada que sempre estiveram ao meu lado.

Dedico também a minha orientadora por tudo que alcancei.

## **AGRADECIMENTOS**

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iseli Lourenço Nantes, que acreditou desde o início na realização dessa pesquisa e pela excelente orientação que me foi concedida ao longo do curso.

Ao Prof. Dr Pedro Frare Luiz Junior, pela colaboração na realização de nossa pesquisa.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adelaide Faljoni Alario, pela amizade e pela colaboração.

A Prof<sup>a</sup> Elizete Barros, pela colaboração na condução dos experimentos de ensino.

Ao aluno de iniciação científica do curso de Engenharia Elétrica (UMC) Marcelo Kikuo Araki pela colaboração e dedicação na construção dos vasos comunicantes.

A todos os alunos de graduação do curso de Biologia (UMC) e Fisioterapia (UnG) que participaram dessa pesquisa.

A Universidade de Mogi das Cruzes, pela oportunidade e em especial pela bolsa concedida.

A Fundação de Amparo ao Ensino e Pesquisa (FAEP), pela bolsa concedida.

A minha mãe Florinda de Oliveira Carvalho, pelo amor e dedicação e por ter me concedido o direito de viver.

A minha namorada Euzete Santos da Silva, pelo incentivo e apoio.

*“Amantes da Química,  
como eu, tendem a achar que essa é a  
ciência central, em torno da qual  
gravitam todas as demais ciências, como  
obedientes planetas ao redor do sol.”*

*( Antonio Lembo )*

## R E S U M O

Muitos alunos, especialmente na área biológica, chegam ao ensino superior sem o prévio conhecimento de alguns temas fundamentais de Química. Dentre diversos temas da área biológica dois tem se destacado: O conhecimento do mecanismo de ação dos tampões e os Princípios de Termodinâmica. Esses temas são de grande importância para alunos e pesquisadores de várias áreas tais como Biologia, Química e Bioquímica. Contudo, a compreensão destes temas muitas vezes é árdua para os estudantes especialmente os da área biológica. Sendo assim este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e o uso de ferramentas didáticas para auxiliar os alunos no processo de ensino aprendizagem durante as aulas no curso de graduação. A metodologia empregada foi a seguinte: nos cursos de Biologia e Fisioterapia dividimos as turmas em dois grupos, sendo que um grupo teve uma aula tradicional sem os recursos das ferramentas didáticas enquanto o outro grupo teve a mesma aula, porém com uso das ferramentas didáticas. Ao término da aula aplicamos um teste de avaliação para ambas as turmas para verificar a influência das ferramentas no grau de aprendizado. Para ambos os materiais didáticos, em ambas as turmas, os resultados obtidos a partir dos testes de avaliação indicaram aproveitamento significativamente maior das aulas dadas com os recursos didáticos criados.

**Palavras-chave:** Ensino de Bioquímica, ferramentas didáticas, sistema tampão, Termodinâmica.



## A B S T R A C T

A significant number of students, especially in the biological area, access the undergraduate schools with deficit of basal chemical knowledge. Among several chemical topics taught in biological undergraduate schools and that are considered hard to learn by the students, two of them deserve special consideration: the mechanism of solution chemical buffering and the principles of Thermodynamic. These topics are fundamental grounds for undergraduate and graduate students of in courses of Biology, Chemistry and Biochemistry. Thus, in this work we describe the development, application and evaluation of two teaching tools with the objective to improve the learning of chemical buffering mechanism and the principles of Thermodynamic by undergraduate students. The employed methodology was the following: in the courses of Biology and Fisiotherapy, the students were separated in two groups, one of them had the classes with the teaching tool and the other one had the classes in the traditional way. At the final of the classes it was applied a test to evaluate the influence of the teaching tools in the efficiency of the learning. For both the tools, in both the groups, the quantitative and qualitative results obtained from the evaluation tests indicated a significant improvement in the learning for the groups that had the classes with the developed teaching tools.

**Keywords:** Learning of Biochemistry, teaching tools, solution chemical buffering, Thermodynamic.

# LISTA DE TABELAS

## PÁGINA

<b>Tabela 1:</b> Relação entre $k'_{eq}$ e $\Delta G^\circ$ e sentido das reações Químicas.....	36
<b>Tabela 2:</b> Tabela de valores mostrados no display convertidos para joule.....	51
<b>Tabela 3:</b> Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes e Fisioterapia da Universidade Guarulhos na Prova sobre Tampões.....	65
<b>Tabela 4:</b> Relação entre as constantes de equilíbrio de diferentes reações químicas e a variação da energia livre padrão das mesmas ( $\Delta G^\circ$ ).....	72
<b>Tabela 5:</b> Valores da energia liberada pelos vasos comunicantes (volume iguais) análogos a condição padrão $\Delta G^\circ$ em Joule.....	73
<b>Tabela 6:</b> Valores da energia liberada pelos vasos comunicantes (volume diferentes) análogos á condição não padrão $\Delta G$ em Joule.....	78
<b>Tabela 7:</b> Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica.....	83

# LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1:</b> Mecanismo de neutralização do sistema tampão.....	24
<b>Figura 2:</b> Forma ácido e base conjugada.....	25
<b>Figura 3:</b> Desenho esquemático da montagem experimental completa.....	44
<b>Figura 4:</b> Desenho esquemático do sensor eletro-óptico, utilizado para a contagem de voltas da hélice (Info Wester, 2005).....	46
<b>Figura 5:</b> Esquema eletrônico do contador digital.....	48
<b>Figura 6:</b> Foto do protótipo dos vasos comunicantes.....	49
<b>Figura 7:</b> Desenho esquemático da montagem no estado inicial e final.....	50
<b>Figura 8:</b> Com os pontos obtidos e sua respectiva linha de tendência exponencial.....	52
<b>Figura 9:</b> Tampão Bicarbonato. ....	55
<b>Figura 10:</b> Situação de acidose.....	56
<b>Figura 11:</b> Forma ácido conjugado do tampão bicarbonato com o próton sendo adicionado.....	57
<b>Figura 12:</b> Funcionamento do Tampão.....	58
<b>Figura 13:</b> Cartões representando as formas ácidos e bases conjugadas do tampão bicarbonato.....	59
<b>Figura 14:</b> Distribuição de notas obtidas pelos dos alunos dos cursos de Fisioterapia da Universidade Guarulhos e Biologia da Universidade Mogi das Cruzes na Prova sobre Tampões.....	61

<b>Figura 15:</b> Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes e Fisioterapia da Universidade Guarulhos na Prova sobre Tampões.....	63
<b>Figura16:</b> O gráfico mostra a opinião dos alunos em relação á aula com o material pedagógico kit tampão.....	66
<b>Figura 17:</b> A Relação entre $\Delta G^\circ$ e $K_{eq}$ .....	68
<b>Figura 17:</b> B Relação entre $\Delta G^\circ$ e $K_{eq}$ .....	69
<b>Figura 17:</b> C Relação entre $\Delta G^\circ$ e $K_{eq}$ .....	70
<b>Figura 18:</b> A Relação entre $\Delta G$ e $\Delta G^\circ$ .....	74
<b>Figura 18:</b> B Relação entre $\Delta G$ e $\Delta G^\circ$ .....	75
<b>Figura 18:</b> C Relação entre $\Delta G$ e $\Delta G^\circ$ .....	76
<b>Figura 19:</b> Distribuição de notas obtidas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica.....	79
<b>Figura 20:</b> Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica.....	81
<b>Figura 21:</b> O gráfico mostra a opinião dos alunos em relação á aula com o material pedagógico vasos comunicantes.....	85

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

$\Delta G$	Variação de Energia Livre
$\Delta G^\circ$	Variação de Energia Livre Padrão
$\Delta H$	Variação de Entalpia
$\Delta S$	Variação da Entropia do Sistema
Cal	Calorias
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
Fig	Figura
J	Joule
$K_{eq}$	Constante de Equilíbrio
K	Temperatura Unidade Kelvin
Log	Logaritmo
MEC	Ministério de Educação e Cultura
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
pH	Potencial Hidrogênionico
UNG	Universidade Guarulhos
UMC	Universidade de Mogi das Cruzes

## S U M Á R I O

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Sistema Tampão.....	21
1.1.2.Importância dos Tampões.....	21
1.1.2.1.Importância Biológica dos Tampões.....	22
1.1.3.Fórmula para Cálculo de pH em um Sistema Não Tamponado.....	23
1.1.4.Fórmula para o Cálculo de pH em um Meio Tamponado.....	24
1.2. Princípios de Termodinâmica.....	26
1.2.1.A primeira lei da Termodinâmica.....	30
1.2.2.A segunda lei da Termodinâmica.....	31
1.2.3. A mudança espontânea .....	31
1.2.4. A variação da energia de livre de uma reação química pode ser calculada.....	34
1.2.5.Relação de Energia Livre e Constante de Equilíbrio.....	35
1.2.6.Há uma diferença Importante entre $\Delta G^{\circ}$ e $\Delta G$ .....	36
1.3 Uso de Analogias no Ensino.....	37
2. OBJETIVOS.....	41
2.1 Objetivos Gerais.....	41
2.1.2 Objetivos Específicos.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	42
3.1.Procedimento.....	42
3.1.1.Sistema Tampão.....	43
3.2.Princípios de Termodinâmica.....	44
3.2.1 Montagem Experimental.....	44

3.2.2 Sistema de Vasos Comunicantes.....	45
3.2.3. Sensor Eletro-Óptico.....	45
3.2.4. Circuito Eletrônico.....	46
3.2.5. Montagem Experimental Completa.....	49
3.2.6. Equação de Conversão de Energia.....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 Sistema Tampão.....	54
4.1.2. Análise Quantitativa.....	61
4.1.3. Análise Qualitativa.....	63
4.2.Princípios de Termodinâmica.....	67
4.2.1. Análise Quantitativa.....	79
4.2.2. Análise Qualitativa.....	81
5 . CONCLUSÕES.....	86
6. REFERÊNCIAS.....	87
7. ANEXO – 1: Teste: Sistema Tampão.....	94
7.1. ANEXO – 2: Teste: Princípios de Termodinâmica.....	96

## 1 INTRODUÇÃO

Um grande número de artigos publicados em revistas como *Journal of Chemical Education* e *Education in Chemistry* enfocam o uso de novas metodologias educacionais associadas à aprendizagem por descoberta. Por meio de condições proporcionadas por estas novas metodologias, por exemplo, "softwares" de simulação, os alunos poderiam isolar variáveis, estudar seus padrões e comportamentos e, a partir disto, encontrar as relações, os princípios e as leis que regem o fenômeno estudado<sup>1</sup>. Embora o uso de simulações e aprendizagem por descoberta apareçam correntemente associados na literatura, de Jong e van Joolingen<sup>2</sup> observaram, a partir de uma revisão ampla da literatura, que, diante da constatação da inexistência das habilidades específicas necessárias aos alunos para a aprendizagem por descoberta (por exemplo, gerar hipóteses, projetar experimentos para testar estas hipóteses, interpretar os dados obtidos e administrar o processo de aprendizagem) existe a necessidade de se realizar mais investigações e implementações que busquem desenvolver a percepção adequada de modelos e de sua aplicabilidade no currículo de Química<sup>3,4</sup>. Seria igualmente importante desenvolver suporte teórico e técnico quanto à metodologia e à avaliação, uma vez que a implementação destas novas tecnologias alterará inevitavelmente os papéis dos alunos e professores dentro de uma sala de aula e no contexto educacional<sup>5</sup>.

A grande dificuldade em oportunizar aos alunos o desenvolvimento da compreensão conceitual em Química reside no fato de que, apesar de encontrarmos, às vezes, estudos de fenômenos macroscópicos, a maior parte do



universo dos fenômenos estudados nesta ciência aborda fenômenos que ocorrem em nível microscópico, o que dificulta bastante a aquisição da compreensão dos conceitos, uma vez que, neste nível, faltaria aos alunos o contato com informações sensoriais<sup>6,7,8</sup>. Além desta dificuldade, a Química é uma ciência que pode ser representada de maneira simbólica, isto é, trabalha com símbolos para representar elementos e fenômenos, e o aluno, além de ter que conhecer tais símbolos, ainda deve ter a capacidade de transformar determinada forma de representação em outra equivalente, de maneira mais apropriada<sup>9</sup>. Ou seja, os estudantes deveriam desenvolver uma competência representativa, justamente uma das capacidades que diferenciam o nível de conhecimento dos novatos do nível dos especialistas<sup>10</sup>.

Para explicar e explorar fenômenos, processos e idéias abstratas<sup>11</sup>, bem como para proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de representação em seus distintos níveis e auxiliá-los na competência representativa, os pesquisadores têm sugerido várias abordagens pedagógicas, dentre as quais tem se destacado nos últimos anos, o uso de simulações computacionais e de ferramentas de modelização<sup>9</sup>. Há décadas atrás os únicos meios disponíveis para os educadores consistiam em representações pictóricas, esquemáticas ou modelos estáticos<sup>12</sup>. Com o advento do desenvolvimento tecnológico, atualmente os profissionais de Educação Química já podem dispor de ferramentas que proporcionam visualização de representações de modelos dinâmicos. Neste sentido, os "softwares" de simulação e as ferramentas de modelização, podem ser de grande utilidade para que os educadores consigam proporcionar condições aos alunos, a partir da modelização de determinado fenômeno, desenvolverem a compreensão conceitual dos estudos desenvolvidos, não mais fazendo o uso mecânico dos conceitos que envolvem os fenômenos estudados<sup>13</sup>.

Porém não podemos esquecer da problemática dos modelos tradicionais de ensino de algumas escolas publicas inclusive no Ensino Médio, que ainda não têm recursos para uso de tais tecnologias, pois em muitas escolas publicas ainda não se encontram materiais como computadores, reto-projetor de imagens, ou mesmo softwares educacionais. Apesar da grande importância do uso desses materiais, como ferramentas educacionais para o aprendizado dos alunos, muitos ainda, não têm acesso a esse benefício.

É possível que se possa atribuir à subutilização desta tecnologia educacional à falta de preparo adequado de profissionais da educação para trabalhar com este novo tipo de instrumento que surgiu ao longo dos últimos anos<sup>14</sup>. Ou seja, o desenvolvimento da projeção de "softwares" para Educação Química não estaria sendo acompanhado por uma formação adequada para os professores, que não encontram com facilidade suporte teórico e técnico que lhes propicie segurança para desenvolver um trabalho pedagógico com este tipo de ferramenta.

Além disso, ainda nos resta o problema da carga horária de Química que no Ensino Médio está reduzida. Parece estar cada vez mais difícil o professor selecionar um rol de conteúdos programáticos significativos e úteis para seus alunos<sup>15</sup>.

O que trabalhar com tão poucas aulas de Química? Que objetivos o professor poderá alcançar com uma, ou no máximo duas aulas de Química por semana?

Todavia, cabe ressaltar a necessidade dos programas não se perderem em excessos de conteúdos que sobrecarreguem o currículo escolar, sem que o professor tenha as condições temporais de explorá-los adequadamente, de forma

que os alunos possam compreendê-los. Além disso, deve-se considerar que, atualmente, muitos programas de Química estão carregados com conceitos e classificações obsoletas e um excesso de resoluções de exercícios por algoritmos, os quais pouco acrescentam na compreensão dos conceitos químicos<sup>16</sup>.

Sabemos que o conteúdo é visto pelos educadores como um dos meios para favorecer o desenvolvimento intelectual dos alunos, além de concorrer para a aceitação dessa disciplina. Sabemos também que o professor ao selecionar os conteúdos a serem lecionados, precisa reconhecer aqueles que podem ser aprendidos dentro das limitações de tempo e recursos disponíveis é necessário considerar os que são mais úteis para a realidade e a época dos alunos e os que são mais adequados ao nível de maturidade dos mesmos<sup>17</sup>.

Diante disso, percebe-se que a seleção e a organização seqüencial desses conteúdos não é uma tarefa rápida e nem fácil. Exige paciência e discernimento do educador, exigem integração com outras disciplinas além de um conhecimento do assunto e do grupo de alunos a ser trabalhado<sup>18</sup>.

Selecionar e organizar seqüencialmente os conteúdos a serem ministrados é sem dúvida um desafio para o professor consciente de seu trabalho, mas que poderá favorecer sua satisfação profissional, bem como concretizar os objetivos da ação educativa<sup>19</sup>.

Mas sabemos que, diante de tantas problemáticas muitas vezes alguns conteúdos significativamente importantes acabam sendo esquecidos, ou mesmo deixado para trás devido a tantos empecilhos ao longo do Ensino Médio. Vale ressaltar que é dever da escola ajudar aos alunos a construir o conhecimento, pois a escola não

pode ser uma simples transmissora de conhecimentos<sup>20</sup>. É fundamental levar o aluno a pensar, a raciocinar de maneira coerente e concisa<sup>21,22</sup>.

Um exemplo que ajuda na compreensão do aluno no processo de ensino-aprendizagem é o uso de diálogos em sala de aula sobre o tema abordado, pois segundo Angelo e colaboradores<sup>199823,24</sup> essa técnica desenvolve a habilidade do aluno em compreender o fato, recolher dados, analisar causas e propor soluções aos problemas que confrontam a sociedade contemporânea<sup>25</sup>.

O assunto a ser abordado na escola pode ser selecionado a partir de uma diversidade de temas globais e locais<sup>26</sup>. Os alunos precisam aprender a explorar perspectivas diferentes em um mesmo assunto<sup>27,28,29</sup>.

Um dos principais objetivos dos pesquisadores de Educação Química nos últimos anos tem sido buscar a melhoria da compreensão conceitual dos alunos<sup>9</sup>. Os esforços incluem a identificação dos enganos mais comuns dos alunos - suas dificuldades em problemas nos quais seja necessário pensar a nível molecular e a criação de métodos de acesso e mensuração da compreensão conceitual, a criação e implementação de novas formas de instrução química, destinados a promover justamente a melhoria da compreensão conceitual<sup>30,31,32,33</sup>.

Devido aos obstáculos à aprendizagem dos princípios fundamentais de Química que existem no Ensino Médio, especialmente nas Escolas Públicas, os alunos que ingressam em cursos superiores na área Biológica encontram enorme dificuldade em acompanhar a disciplina de Bioquímica e como conseqüência carregam esta defasagem limitadora para as disciplinas afins como a Fisiologia e a Farmacologia.

Dentre os tópicos estudados na disciplina de Bioquímica, dois são de particular dificuldade para os alunos, especialmente aqueles que fazem cursos na área biológica: o mecanismo de tamponamento e os princípios de Termodinâmica.

Conforme já mencionado anteriormente, devido a vários fatores, muitas vezes os alunos acabam não tendo acesso a esses conteúdos no Ensino Médio, ou quando têm acesso a esses conteúdos, muitos alunos acabam não compreendendo ou compreendendo de forma errônea. De acordo com Constantino e Silva, 2002<sup>34</sup>, esse problema decorre da dificuldade que os alunos têm em compreender a conexão entre as expressões matemáticas e os fenômenos físicos.

Visando proporcionar aos alunos da área biológica um recurso facilitador da aprendizagem dos mecanismos de tamponamento e dos princípios de Termodinâmica, desenvolvemos um kit composto por cartões que permitem a representação do mecanismo pelo qual ácidos e bases fracos impedem variações bruscas do pH meio pela adição de ácidos e bases fortes, denominamos esse kit por *Kit Tampão*. E um sistema de vasos comunicantes para o ensino de Termodinâmica *Kit Termodinâmica*. Este último faz uma analogia entre a variação na quantidade de energia liberada por diferentes sistemas de vasos comunicantes com a variação na energia livre liberada por diferentes reações químicas.

Inicialmente faremos uma introdução aos dois tópicos para os quais foram desenvolvidos os materiais didáticos.

## 1.1 Sistema Tampão

O conhecimento do mecanismo de ação dos tampões é de grande importância para alunos e pesquisadores de várias áreas tais como Biologia, Química e Bioquímica. Contudo, a compreensão deste mecanismo muitas vezes é árdua para os estudantes especialmente os de área biológica. Os tampões, denominação traduzida do original inglês “buffer” (amortecedor), são ácidos e bases fracos que limitam as variações do potencial hidrogênionico (pH) de um meio devido ao qual foram adicionados ácidos ou bases fortes.<sup>35</sup>

Portanto, um tampão é constituído por um ácido fraco (ácido conjugado) e o seu sal (base conjugada), formado com uma base forte<sup>36</sup>. Nos sistemas biológicos, o ácido fraco e sal do sistema tampão, em condições normais, existem em uma relação constante que o organismo tende a preservar<sup>37</sup>. O kit desenvolvido neste projeto permite uma representação das mudanças nas relações de equilíbrio entre as formas ácido e base conjugados de uma substância tamponante visando auxiliar os alunos no processo de aprendizagem.

### 1.1.2 Importância dos Tampões

Os tampões são muito importantes no controle do pH em sistemas químicos e biológicos, pois tanto nos processos industriais quanto nas células vivas, as reações são influenciadas pelo pH do meio<sup>38,39</sup>.

### 1.1.2.1 Importância Biológica dos Tampões

Os tampões desempenham um papel fundamental nos sistemas biológicos, possibilitando a manutenção do pH adequado ao funcionamento das reações biológicas catalisadas pelas enzimas. As células apresentam em seu interior, diferentes compartimentos chamados de organelas, as quais exercem funções específicas e, portanto requerem que determinado valor de pH seja mantido constante. Assim, por exemplo, os lisossomos que fazem a digestão de macromoléculas no interior das células permitindo a renovação de seus constituintes protéicos, lipídicos e carboidratos, precisam manter seu interior com pH em torno de 5,0 para que não haja desnaturação de suas enzimas, por outro lado, o núcleo celular possui pH 8,0 em seu interior, valor este adequado ao funcionamento das enzimas que sintetizam e degradam o ácido desoxirribonucléico (DNA)<sup>40</sup>.

No sangue e meio extracelular, a importância dos tampões biológicos fica ainda mais evidente, considerando que a variação de pH compatível com a vida vai de 6,9 a 7,5 sendo que valores próximos a estes mínimos e máximos normalmente já levam ao estado de coma. O pH do sangue é mantido em 7,4 a despeito da contínua adição de ácidos ao sangue como resultado do metabolismo oxidativo, graças à ação química dos tampões biológicos<sup>40</sup>.

### 1.1.3 Fórmula para Cálculo de pH em um Sistema Não Tamponado

*De onde vêm o termo pH e sua escala?*

A palavra pH significa potencial hidrogeniônico e indica o grau de acidez de um sistema. A escala de pH vai de zero a quatorze sendo que estes valores vêm da constante de dissociação da água. Água pura comporta-se como um ácido muito fraco, estando parcialmente ionizada. Em cada litro de água, que corresponde a 55,6 moles desta substância, temos  $10^{-7}$  mol na forma de  $H^+$  e  $OH^-$ , portanto  $10^{-7}$  mol de  $H^+$  e  $10^{-7}$  mol de  $OH^-$ . O produto destas quantidades ( $10^{-7}$  vezes  $10^{-7}$  igual a  $10^{-14}$ ) é o **produto iônico da água ( $K_w$ )**, que é considerado uma **constante**. Como trabalhar com potência de 10 dificulta os cálculos ficou convencionado usar o logaritmo decimal do inverso destes números<sup>9</sup>. Portanto, o logaritmo decimal do inverso de  $10^{-14}$  é representado por  $K_w$  e igual a 14. O valor 14 é obtido, portanto da seguinte operação:

$$pK_w (-\log K_w) = -\log ([H^+] \times [OH^-]) \quad (1)$$

$$pK_w (-\log K_w) = -\log ([H^+]) + -\log([OH^-]) \quad (2)$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ \text{pH} & & \text{pOH} \end{array}$$

$$pK_w (-\log 10^{-14}) = -\log (10^{-7}) + -\log(10^{-7}) = 7 + 7 = 14 \quad (3)$$

$$pK_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (4)$$

Portanto  $pK_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14$  é uma constante e por isto a escala de pH e de pOH vai de zero a 14. Portanto, somando pH + pOH o resultado deve ser igual a 14.



Por exemplo, se o pH do meio é 7,0, pOH será também 7,0. Se o pH do meio for 12,0, o pOH será 2,0 e se o pH do meio for 5,0 o pOH será 9,0.

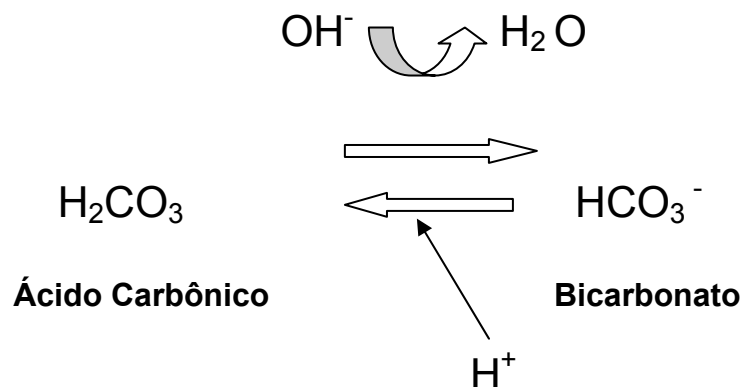
Para calcular o pH do meio na ausência de tampão precisamos apenas saber a  $[H^+]$  ou a concentração de  $OH^-$ , e aplicar a fórmula:

$$pH = -\log[H^+] \text{ ou } pOH = -\log[OH^-] \quad (5)$$

Portanto sabendo a  $[H^+]$  calculamos o pH diretamente ou se soubermos  $[OH^-]$  calculamos o pOH e subtraímos de 14 para chegarmos ao pH.

#### 1.1.4 Fórmula para o Cálculo de pH em um Meio Tamponado

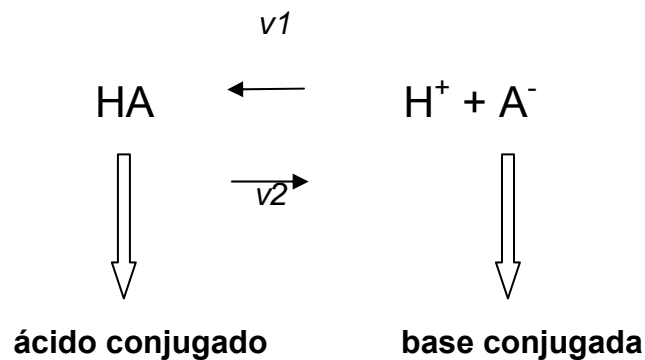
O tampão mantém o pH estável após a adição de pequenas quantidades de ácidos ou bases fortes, porque um de seus componentes retira do meio os íons  $H^+$  ou  $OH^-$  adicionados. A figura 1 mostra a adição dos íons  $H^+$  e  $OH^-$  do meio sendo neutralizado pelo ácido conjugado e base conjugada.



**Figura 1:** Mecanismo de neutralização do sistema tampão.

Portanto, a capacidade tamponante de uma molécula depende dela estar presente no meio na forma protonada (ácido conjugado) e na forma desprotonada (base conjugada) e, portanto depende de sua constante de dissociação ácida  $K_a^{41}$ .

Para um ácido genérico qualquer HA, sua  $K_a$  nada mais é do que a constante de equilíbrio de suas formas ácido e base conjugadas.



**Figura 2:** Formas ácido e base conjugada.

Perceba que HA e  $\text{A}^-$ , são a mesma molécula apenas sob estados de protonação e desprotonação diferente.

Cada ácido ou base fraca no equilíbrio (onde  $v1 = v2$ ) apresentará uma proporção de suas moléculas na forma protonada e desprotonada e que lhe será própria e constante, a qual é denominada  $K_a^{41}$ .

$$K_a = \frac{[\text{A}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{HA}]} \quad (6)$$

A partir da equação 6 foi deduzida a equação de Henderson-Hasselbalch (para ver a dedução consulte referência 35)

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (7)$$

Esta equação nos indica que, em um sistema tamponado, o pH é governado pela variação da razão base/ácido conjugados do tampão<sup>41</sup>.

## 1.2 Princípios de Termodinâmica

Como qualquer outra ciência, a Termodinâmica não nasceu atemporal. Suas raízes mais profundas são encontradas em trabalhos de Euler (1753), Black (1757), Lambert (1779) e Lavoisier (1784). No começo do século dezenove tem-se Biot (1804), Fourier (1808) e Laplace (1816). Entretanto o trabalho de Carnot<sup>42</sup>, em 1824, pode ser considerado o marco inicial da Termodinâmica. A partir de então a teoria recebeu várias e em alguns casos errôneas contribuições<sup>43</sup>. Sendo modificada entre 1850 e 1854 através da fundamental substituição da teoria calórica pelo conceito de que calor e trabalho são uniforme e universalmente interconvertíveis, conforme experimentalmente demonstrado por Joule em 1847. Costuma-se denominar Termodinâmica clássica à teoria que Clausius, Kelvin e Rankine edificaram entre 1850 e 1854 acrescidas de trabalhos publicados posteriormente, especialmente por Clausius em 1862, (sua famosa desigualdade). A teoria chamada clássica, portanto, é temporal e antecede à tendência estática, que se inicia imediatamente após. O tratado à tendência estática, que se inicia imediatamente após. O tratado publicado por Gibbs<sup>44</sup> em 1901 consolidou o já pré-existente enfoque estático, através dos lógicos conceitos estatísticos inicialmente desenvolvidos por Maxwell (publicados entre 1860 e 1879) e por Boltzman (publicados entre 1868 e 1896).

A Termodinâmica foi assim modernizada, adquirindo um novo brilho ao ser relacionada ao mundo microscópico que começava a atrair toda a atenção científica no começo do século vinte.

Porém, entre outros, desde a sua defesa de tese de doutorado junto à universidade de Munique, em 1879, Planck não aceitou a idéia de que para ser matematicamente exata a Termodinâmica devesse limitar-se a sua parte estática. Autor, desde 1891, de um dos mais famosos tratados sobre Termodinâmica<sup>45</sup>, até sua morte, em 1947, Planck manteve sua convicção<sup>46</sup>.

Deve-se ressaltar que, ao contrário de outros que também optaram pelo enfoque estático (por exemplo, mais de duas décadas antes Kirchhoff e o próprio Gibbs, embora sem utilizar estatística, já defendiam tal ponto de vista), Gibbs foi quem conseguiu consolidá-lo não apenas por causa da atualização que a inclusão do comportamento das partículas trouxe à Termodinâmica, mas principalmente porque ele foi um dos poucos a aplicar total rigor matemático ao estudo da Termodinâmica (oito anos após, sem usar nem estatística nem ciclos de Carnot, mas sim a teoria para equações diferenciais de Pfaf, outra defesa da tendência estática, matematicamente bem fundamentada, foi publicada por Carathéodory, 1976<sup>47</sup>). Talvez por causa desta razão histórica, atualmente tende-se a usar lógica matemática rigorosa somente no tratamento estatístico da Termodinâmica.

Em conseqüência, muitos químicos consideram que este tratamento seja o único realmente seguro. Entretanto, já foi elaborada uma teoria que, embora sendo completamente independente de valores estatisticamente esperados para sua exata compreensão lógica<sup>48-53</sup>, mantém coerência com as teorias estatísticas que se mostram capazes de produzir valores esperados concordantes com aqueles da mecânica dos meios contínuos<sup>54,55</sup>. Evidentemente a parte estática desta teoria mantém concordância com a Termodinâmica estatística gibbsiana. Ela é a temporal Termodinâmica dos meios contínuos, ativa área de pesquisas<sup>53,55</sup> que faz a inatural separação entre Termodinâmica e cinética química de imediato desaparecer, o que

permite uma visão unificada e muito mais abrangente dos processos químicos. Em especial, ressalte-se que a primeira lei é, de acordo com a Termodinâmica dos meios contínuos, considerada um balanceamento de energia que, junto com as equações para balanceamento de massa e de momentos angular e linear, formam o coração da mecânica clássica, uma ciência temporal. Essa afirmação não corresponde apenas a uma razoável suposição conceitual. Na verdade, foi matematicamente demonstrado que os conceitos clássicos de espaço e tempo implicam em que a energia total de qualquer meio contínuo separa-se numa parte interna e outra cinética, o que produz como consequência a primeira lei<sup>56</sup>.

A Termodinâmica é o estudo das leis que governam os processos de troca de calor entre os corpos e o ambiente que os circunda. A Termodinâmica está fundamentada em duas leis, conhecidas como princípios da Termodinâmica. *O primeiro princípio da Termodinâmica* é uma extensão do princípio da conservação da energia mecânica. Além do trabalho, ele inclui também o calor como forma de troca de energia. Portanto, a primeira lei preocupa-se em observar as variações de energia e permite-nos calcular, por exemplo, quanto calor uma reação produz. *O segundo princípio da Termodinâmica* estabelece algumas limitações à possibilidade de transformar calor em trabalho<sup>57</sup>. Portanto, a segunda lei, explica porque algumas reações ocorrem, mas outras não. Ambas as leis são resultados de experimentos com a matéria e são independentes de qualquer modelo que leve em conta a estrutura microscópica da matéria. Entretanto podemos interpretar ambas as leis em termos de modelos baseados no comportamento dos átomos e moléculas, e assim aprofundarmos nossa compreensão sobre as propriedades da matéria. Para avançar na conexão entre átomos e a matéria, temos que reconhecer que a última é constituída de grande número de átomos. A Termodinâmica estatística é a

interpretação das leis da Termodinâmica em termos do comportamento de grande número de átomos e moléculas que compõe um sistema típico. Estaremos movendo-nos entre estes dois níveis de explicação, porque o conhecimento de como o comportamento molecular contribui para as propriedades da matéria, enriquecerá nossa compreensão da Termodinâmica e desenvolverá nosso conhecimento sobre as propriedades da matéria<sup>58</sup>.

Hoje, mais do que nunca, estamos conscientes de que a energia, a capacidade de realizar trabalho, é vital para a nossa civilização moderna. Necessitamos de energia para manufaturar produtos, para transportar materiais e pessoas, para aquecer residências e locais de trabalho e para executar muitas outras tarefas. De forma similar, a energia é também vital no microcosmo de uma célula viva. As células estão constantemente manufaturando substâncias novas, realizando o trabalho mecânico do movimento transportando substâncias e gerando calor. Através de bilhões de anos de evolução as células aprenderam a empregar a energia de maneira mais econômica e eficiente que a maioria das máquinas construídas pelo homem. De fato, atualmente as células estão sendo vistas como modelos para o desenvolvimento de aparelhos novos transformadores de energia<sup>57</sup>.

A bioenergética é o campo da Bioquímica que trata das transformações e usos da energia pelas células vivas. É importante considerarmos alguns princípios básicos da Termodinâmica<sup>53</sup>.

A energia nos é familiar em uma grande variedade de formas, por exemplo: energia do tipo elétrica, mecânica, química, calorífica e luminosa. Também sabemos que essas diferentes formas de energia podem ser interconvertidas. Exemplo:

- Um motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica.
- Uma pilha transforma energia química em energia elétrica

- Um motor a vapor transforma calor em energia mecânica.

Mas é importante ressaltar, que a conversão de um tipo de energia outra ocorre sempre com perda de uma parte dessa energia. Exemplo: Quando um motor elétrico converte eletricidade em energia mecânica a energia útil obtida é sempre menor que aquela fornecida, isto é devido à fricção no motor que gera calor. O calor, por sua vez, é dissipado no meio ambiente e não mais utilizável. Quase sempre quando a energia é usada para realizar trabalho, ou quando uma forma de energia é convertida em outra, há uma perda de energia útil <sup>57</sup>.

### **1.2.1 A primeira lei da Termodinâmica**

Em qualquer transformação Física ou Química a quantidade total de energia permanece constante<sup>40</sup>.

A primeira lei é o princípio da conservação da energia; parafraseando, ela diz que a energia não pode ser criada ou destruída. Assim, a energia pode ser usada para realizar trabalho, ou ser transformada de uma forma em outra de tal forma que a quantidade total de energia não se altera<sup>59</sup>.

Segundo a lei de conservação de energia, há certa quantidade de energia, que não se modifica nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza. Trata-se de uma idéia extremamente abstrata, por ser um princípio matemático; diz que há uma quantidade numérica que não se altera quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto.

Para verificar a conservação da energia, é preciso ter cuidado para não colocar ou retirar energia. Pois a energia tem um grande número de formas diferentes, e há uma fórmula para cada uma. Elas são: energia gravitacional, energia cinética, energia térmica, energia elástica, energia elétrica, energia nuclear, energia química,

energia radiante. Se totalizarmos as fórmulas para cada uma dessas contribuições, ela não mudará, exceto quanto à energia que entra e sai<sup>60</sup>.

### **1.2.2 A segunda lei da Termodinâmica**

A primeira lei da Termodinâmica nos diz somente quanta energia é transferida em uma reação. Nada revela sobre as condições necessárias para que a reação ocorra, nem que segue em uma direção particular. Tudo que a primeira lei nos diz é que se uma reação ocorre a energia total permanece inalterada. Mas, o que está por trás do que? Por que algumas reações e processos acontecem e outros não? Por que as coisas acontecem? Para responder essas questões profundamente importantes sobre o mundo que nos cerca, precisamos dar o próximo passo na Termodinâmica e aprender mais sobre energia além do fato de que é conservada<sup>58</sup>.

### **1.2.3 A mudança espontânea**

O termo técnico para uma mudança natural é uma mudança espontânea, que é uma mudança que tende a ocorrer sem a necessidade de ser induzida por uma influência externa. Um exemplo simples é o resfriamento de um bloco de metal quente à temperatura de suas vizinhanças. A mudança inversa, ou seja, um bloco de metal esquentar espontaneamente mais que suas vizinhanças, nunca foi observada<sup>58</sup>.

Mudanças não espontâneas podem ser induzidas em uma direção “não natural”. Por exemplo, podemos forçar a passagem de uma corrente elétrica através de um bloco metálico para aquecê-lo a uma temperatura maior que suas vizinhanças. Nesse caso para produzir uma mudança não espontânea, tivemos que ter uma maneira de forçar o acontecimento aplicando uma influência externa ao sistema<sup>58</sup>.



É importante considerar que uma mudança espontânea não necessita ser rápida. O melão tem uma tendência espontânea a escorrer quando a lata é inclinada, mas a baixas temperaturas o fluxo pode ser muito lento. O hidrogênio e o oxigênio têm tendência a reagir para formar água, a reação é espontânea no sentido termodinâmico, mas a mistura de dois gases pode ser mantida a salvo por séculos, se evitamos acendê-la com uma faísca<sup>58</sup>.

Uma mudança espontânea é uma mudança que tem a tendência de ocorrer sem estar sendo induzida por uma influência externa; mas mudanças espontâneas não necessitam ser rápidas<sup>58</sup>.

Estas definições simples, porém algo abstratas requerem algumas explicações. Primeiro precisamos definir os termos energia útil e entropia mais precisamente. Existem duas formas de energia útil:

- energia livre, a forma de energia que pode realizar trabalho a temperatura e pressão constante.
- energia calorífica a qual pode realizar trabalho apenas através de uma mudança da temperatura ou da pressão<sup>59</sup>.

Entropia é a energia em estado de desordem distribuída ao acaso<sup>61</sup>.

Há outro aspecto da segunda lei que precisa ser considerado para o entendimento de seu funcionamento, particularmente em sistemas biológicos. Primeiro precisamos identificar o sistema de reação, a coleção de matéria que está sofrendo um processo químico. Ele pode ser um animal, uma célula, ou dois compostos reagentes. Agora precisamos definir o ambiente com o qual o sistema que sofre a reação pode trocar energia. O sistema mais o ambiente constituem o universo, o qual inclui literalmente todo o universo; de fato ele inclui o espaço exterior. Alguns processos físicos e químicos podem ocorrer em sistemas fechados ou isolados, incapazes de realizar

trocas de energia com o ambiente. Porém, no mundo real e particularmente no mundo biológico, os sistemas reagentes trocam energia com o ambiente<sup>59</sup>.

As mudanças da energia livre, da energia calorífica e da entropia em reações químicas a temperatura e pressão constantes, que são as condições existentes nos sistemas biológicos, estão quantitativamente relacionadas entre si pela equação:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (8)$$

Onde:

$\Delta G$  = variação da energia livre do sistema,

$\Delta H$  = variação de entalpia

T = a temperatura absoluta na qual o processo ocorre;

$\Delta S$  = variação da entropia do sistema<sup>40</sup>.

Toda reação química chega a seu ponto de equilíbrio, quando a entropia do universo (sistema + ambiente) aumenta, portanto  $\Delta S$  sempre tem sinal positivo no mundo real. Apenas teoricamente, em um sistema ideal, pode ocorrer uma reação sem aumento da entropia. Ao aumento da entropia do universo durante a reação corresponde um decréscimo da energia livre que ocorre no sistema reagente. Desta maneira  $\Delta G$  para um sistema reagente é sempre negativo. A variação de entalpia,  $\Delta H$ , é definida como a quantidade de calor que o sistema reagente libera para o ambiente ou dele absorve a temperatura e pressão constante. Quando o sistema reagente perde calor, o sinal de  $\Delta H$  é negativo, quando o sistema absorve calor do ambiente, o sinal de  $\Delta H$  é positivo<sup>59</sup>.

O  $\Delta G$  de qualquer reação que se processa em direção ao seu equilíbrio é sempre negativo, torna-se menor (isto é, menos negativo) à medida que a reação prossegue e é zero no ponto de equilíbrio<sup>59</sup>.

A variação de energia livre ( $\Delta G$ ) é um parâmetro valioso no estudo das reações e do equilíbrio químico. Entretanto, seu valor é limitado no âmbito da Bioquímica<sup>59</sup>.

O  $\Delta G$  varia em função das concentrações iniciais de reagentes e produtos, tornando-o pouco válido para a comparação de reações<sup>59</sup>.

### 1.2.4 A variação da energia de livre de uma reação química pode ser calculada

Toda reação química tem uma característica variação da energia livre padrão  $\Delta G^\circ$ . O  $\Delta G^\circ$  não é o mesmo que  $\Delta G$  dado na equação (8). A variação de energia livre padrão é constante para uma dada reação e pode ser, calculada a partir da constante de equilíbrio da reação em condições padrão, isto é, à temperatura de 25°C (298K) e à pressão de 1 atm<sup>40</sup>. A constante de equilíbrio para a reação

$A + B \rightleftharpoons C + D$ , por exemplo, é dada pela equação:

$$K_{eq} = [C] \cdot [D] / [A] \cdot [B] \quad (9)$$

Na qual [A],[B],[C] e [D] são as concentrações molares dos componentes da reação no seu ponto de equilíbrio sob as condições padrão. Em reações nas quais participam mais de uma molécula de qualquer reagente ou produto, como na reação geral:



Onde: a,b,c e d são os coeficientes da reação de A,B,C e D participantes, a constante de equilíbrio é dada por:

$$K'_{eq} = [C]^c \cdot [D]^d / [A]^a \cdot [B]^b \quad (11)$$

Uma vez determinada a constante de equilíbrio  $K'_{eq}$  de uma reação química, podemos calcular sua variação de energia livre padrão em calorias por mol de reagentes. Para calcular a variação de energia livre padrão  $\Delta G^\circ$ , usamos a equação<sup>40</sup>.

$$\Delta G^\circ = 2,3 RT \log K'_{eq} \quad (12)$$

Onde:

R= constante universal dos gases (1,987cal/mol.K)

T= temperatura absoluta neste caso 298 K

Sendo assim podemos definir a variação de energia livre padrão da seguinte forma:  $\Delta G^\circ$  é a diferença entre o conteúdo de energia livre dos reagentes e o conteúdo de energia livre dos produtos, sob condições padrão, isto é, quando a temperatura for 298K, a pressão 1 atm e os reagentes e produtos estão todos presentes em concentração padrão, ou seja, 1,0 M<sup>40</sup>.

### 1.2.5 Relação de Energia Livre e Constante de Equilíbrio

1. De acordo com a equação (11), se  $[B] > [A]$ , a constante  $K_{eq}$  será  $> 1$ , há mais produto que reagente no equilíbrio e, portanto, a reação ocorreu no sentido  $A \rightarrow B$  e é exergônica. Ou seja,  $\Delta G^\circ$  será negativo.

2. Se, ao contrário,  $[B] < [A]$ , a constante  $K_{eq} < 1$ , há mais reagente que produto no equilíbrio e, portanto, a reação ocorreu no sentido  $A \leftarrow B$ , sendo assim endergônica, ou seja,  $\Delta G^\circ$  será positivo<sup>59</sup>.

A tabela a seguir mostra o sentido das reações químicas que ocorrem em condição padrão.

**Tabela 1:** Relação entre  $k'_{eq}$  e  $\Delta G^\circ$  e sentido das reações Químicas.

$K'_{eq}$	$\Delta G^\circ$	Sentido
>1	Negativo	Direto
1	Zero	Está no equilíbrio
<1	Positivo	Inverso

### 1.2.6 Há uma diferença importante entre $\Delta G^\circ$ e $\Delta G$

Precisamos ser cuidadosos em distinguir entre duas quantidades diferentes, a variação da energia livre  $\Delta G$  e a variação energia livre padrão  $\Delta G^\circ$ . Pois em todos os processos físicos e químicos espontâneos a energia livre do sistema reagente sempre decresce, isto é  $\Delta G$  negativo. Cada reação química tem uma variação de energia livre padrão característica  $\Delta G^\circ$  que pode ser negativa, positiva ou igual a zero dependendo da constante de equilíbrio da reação. A variação da energia livre padrão  $\Delta G^\circ$  nos diz em qual e em que extensão uma dada reação se processará para atingir o equilíbrio quando ela ocorre em condição padrão, isto é quando a concentração inicial de todos os componentes é 1,0M, e a temperatura 298K. Assim,  $\Delta G^\circ$  é uma constante para uma dada reação. Mas a variação de energia livre  $\Delta G$  de uma dada reação química é uma função, das condições de concentração, e o pH e a temperatura prevalentes durante a reação, não são necessariamente iguais aos das condições padrões definidas acima. Ainda mais, o  $\Delta G$  de qualquer reação que

se processa em direção ao seu equilíbrio é sempre negativo, torna se menor (isto é menos negativo) na medida em que a reação não pode mais realizar trabalho<sup>40</sup>.

Os valores de  $\Delta G$  e  $\Delta G^\circ$  para qualquer reação  $A+B \rightarrow C +D$  são relacionados pela equação:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2,3 RT \log [C] \cdot [D] / [A] \cdot [B] \quad (13)$$

### 1.3 Uso de Analogias no Ensino

Podemos definir analogia como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes<sup>62</sup>. Entretanto, para que uma analogia seja um modelo de ensino útil, ela deve possuir um conteúdo que é familiar aos alunos e um outro que é desconhecido por eles<sup>63</sup>. Enquanto o aspecto familiar é chamado 'domínio da analogia', o aspecto desconhecido é chamado de 'domínio do alvo'<sup>64</sup>. Além de o domínio ser familiar, é necessário que o alvo seja suficientemente 'difícil' para que os alunos utilizem a analogia como estratégia cognitiva.

A função de uma analogia pode ser explicativa ou criativa. No primeiro caso, a analogia apresenta novos conceitos em termos mais familiares para o indivíduo. No segundo caso, ela "estimula a solução de problemas existentes, a identificação de novos problemas e a elaboração de novas hipóteses<sup>65</sup>. "

A qualidade de uma analogia depende da extensão em que ela atende suas finalidades<sup>67</sup>. Se a finalidade de uma analogia é apenas explicar, os critérios sugeridos para seu julgamento seriam:

- 1-) o número de características comparadas;
- 2-) a similaridade das características comparadas;

3-) o significado conceitual das características comparadas<sup>66</sup>.

Isso significa que quanto maior o número de características comparadas entre o domínio da analogia e o domínio do alvo, maior será o poder explicativo da analogia. Entretanto, vale a pena ressaltar que uma "boa" analogia pode ser redigida baseada em poucas ou mesmo uma única característica, desde que tais características atendam às finalidades de quem a propõe. Uma analogia é considerada 'ruim' se é difícil identificar e mapear as similaridades existentes entre o domínio da analogia e o domínio do alvo<sup>66</sup>.

Estudos sobre concepções alternativas dos alunos em relação aos conceitos científicos evidenciam que eles freqüentemente tentam compreender os fenômenos através do emprego de analogias em áreas que são familiares a eles. Os resultados de tais estudos não são surpreendentes na medida em que o processo de relacionar conceitos através de analogias é uma parte básica do pensamento humano. No nosso cotidiano, utilizamos freqüentemente analogias para explicar 'algo' para alguém ao usar expressões do tipo 'Parece com...', 'É como se fosse...', 'Imagine que...'. A literatura da área de Ciências contém várias referências sobre a importância das analogias para o desenvolvimento das teorias científicas. Um exemplo típico refere-se à proposição da estrutura do anel benzênico. Estes fatos fornecem suporte adicional para o uso de analogias como modelos de ensino e aprendizagem<sup>62</sup>.

O perigo mais freqüentemente apontado na utilização de analogias é que os alunos podem levar a analogia longe demais e, conseqüentemente, estabelecerem relações analógicas incorretas. Mas isto não diminui o valor das analogias enquanto modelos de ensino, mas ressaltam a necessidade de auxiliar os alunos a

identificarem não só as similaridades como também as diferenças entre o domínio da analogia e o domínio do alvo<sup>62</sup>.

Apesar de analogias serem modelos de ensino importantes no ensino de Química, existem poucos estudos que enfocam como elas são usadas por professores de Química ou como materiais instrucionais que apresentam analogias, tais como livros-texto, são usados por professores e alunos. No Brasil, por exemplo, quando da realização deste trabalho não havia nenhum estudo publicado a respeito de como as analogias são usadas como modelos de ensino<sup>13</sup>.

Embora as analogias sejam utilizadas por professores, autores e alunos, os contextos de uso são completamente distintos. Quando o professor usa uma analogia presente no livro-texto ou elaborada por ele mesmo, ele tem condições de avaliar em que medida os alunos a compreenderam. Caso perceba que eles não compreenderam corretamente a analogia, o professor pode esclarecê-la ou explicá-la de uma forma mais completa. É comum também o professor usar mais de uma analogia para explicar um determinado conceito químico em função da percepção que ele tem das dificuldades que os alunos apresentam durante a aprendizagem<sup>13</sup>.

Se o professor não explica as analogias apresentadas no livro-texto e/ou se o aluno tem o livro-texto como único material de estudo, a única referência dos alunos é a descrição feita pelo autor. Diferentemente do professor, os autores não possuem nenhum mecanismo para avaliar a compreensão das analogias pelos alunos. Sendo assim, acreditamos que os autores devem antecipar qualquer dificuldade que os alunos possam ter em relação a elas e acrescentar os elementos necessários para saná-las. Decorre daí a necessidade de os autores apresentarem analogias que



sejam realmente bons modelos de ensino e a importância de estudos que analisem as analogias propostas em livros-texto<sup>62</sup>.

O uso de modelos de ensino comprova que as ferramentas didáticas auxiliam os alunos a raciocinar a respeito de certos fenômenos<sup>67</sup>.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais:**

O objetivo desse trabalho é desenvolver ferramentas didáticas para auxiliar professores e alunos durante as atividades pedagógicas referentes aos conteúdos de mecanismo de tamponamento e princípios de Termodinâmica abordados na disciplina de Bioquímica e validar tais ferramentas por meio de avaliações comparativas entre grupos que tiveram ou não acesso a tais ferramentas durante as aulas.

#### **2.1.2 Objetivos Específicos:**

Desenvolver um kit de cartões para representação do mecanismo de tamponamento e validá-lo por meio de avaliações.

Desenvolver um sistema de vasos comunicantes que permita uma analogia facilitadora do entendimento das primeira e segunda leis da Termodinâmica e validar esta ferramenta por meio de avaliações.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Procedimento**

Segundo Feldberg 2001<sup>68</sup>, os estudantes teriam um ensino de melhor qualidade se nós projetássemos nossos cursos e preparássemos nossas aulas em torno daquelas habilidades, que nós desejamos que nossos estudantes aprendam.

De acordo com a teoria de Feldberg, foi montada uma aula em torno das habilidades que queríamos desenvolver nos alunos sobre os conceitos de sistema tampão e princípios de Termodinâmica. As aulas foram ministradas aos alunos do ensino superior dos cursos de Biologia e Fisioterapia. A aula sobre sistema tampão foi aplicada durante uma aula da disciplina de Bioquímica ministrada aos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes e aos alunos do curso de Fisioterapia da Universidade Guarulhos. No curso de Biologia a aula sobre sistema tampão foi ministrada aos alunos do período matutino e noturno, ambos os alunos eram do segundo semestre.

Os dois períodos tiveram a turma dividida em dois grupos, onde um grupo teve uma aula tradicional usando apenas os recursos de giz e lousa. Enquanto o outro grupo assistiu, aula com recurso do material didático kit tampão. A divisão foi feita de maneira aleatória sem selecionar os alunos, tendo assim uma mistura heterogênea de alunos em ambos os casos. A aula aplicada para os dois grupos foi lecionada pelo mesmo professor, para evitar o risco de uma possível variável. Ao final da aula de ambos os grupos foi aplicado, um mesmo questionário e depois de feita a correção, foi feita uma comparação dos resultados dos dois grupos. No curso de Fisioterapia da Universidade Guarulhos a aula sobre sistema tampão, foi aplicada aos alunos do primeiro semestre e foi aplicada apenas para os alunos do período

matutino. E empregou-se a mesma seqüência metodológica, do curso de Biologia da UMC.

A aula sobre os princípios de Termodinâmica foi aplicada para os alunos do período matutino do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes. E também adotamos a mesma seqüência metodológica da aula sobre tampão da UMC, porém utilizou-se como ferramenta didática os vasos comunicantes.

### 3.1.1 Sistema Tampão

É importante apresentar ao aluno fatos concretos, observáveis e mensuráveis, uma vez que os conceitos que o aluno traz para a sala de aula advêm principalmente de sua leitura do mundo macroscópico<sup>69</sup>.

A partir dessa idéia desenvolvemos um “kit” contendo material para ensino do mecanismo de tamponamento composto por folha de E.V.A, as quais numa face apresentam a fórmula de um tampão na forma ácido conjugado e na outra face apresenta a fórmula do mesmo tampão na forma base conjugada. Esta folha é dobrada e presa por um dispositivo que representa um próton ( $H^+$ ), ficando visível à face ácido conjugada. Retirando o dispositivo, o que equivale à dissociação ácida expõe-se a face base conjugada.

De acordo com a metodologia de Martins e Barral, 2004<sup>70</sup>, para validar a eficiência de um material didático é necessário aplicação de um teste, sendo assim foi aplicado aos alunos no final da aula um teste para validar o material pedagógico do kit tampão. Por isto, ao final de cada aula ministrada nos dois citados cursos, aplicamos um teste para avaliar o aproveitamento dos alunos em ambas as situações, ou seja, disponibilidade ou não do kit.

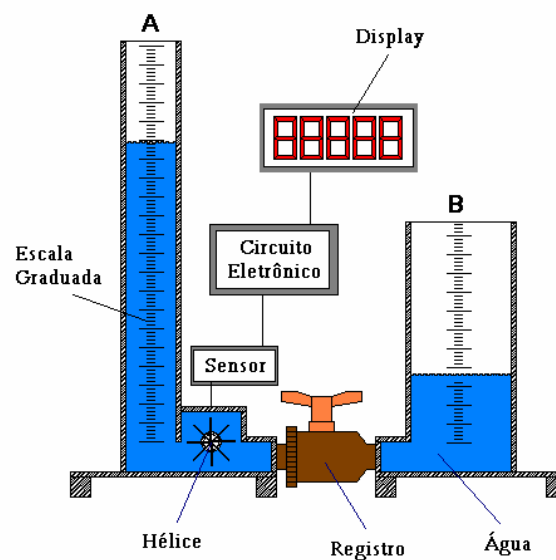
Foi montada uma aula para explicar o mecanismo de ação do tampão bicarbonato em sistema fechado e em sistema aberto (com compensação

respiratória) conforme ocorre no sangue. Ao término aplicamos um questionário a ambas as turmas, (ver anexo A).

## 3.2 Princípios de Termodinâmica.

### 3.2.1 Montagem Experimental

Construímos três sistemas de vasos comunicantes de diferentes dimensões. Na figura 3, ilustramos o desenho esquemático de uma das montagens em um experimento completo, utilizado para o auxílio no ensino da Termodinâmica. O material é constituído basicamente de um sistema de vasos comunicantes, um sensor eletro-óptico e circuito eletrônico e um mostrador digital (*display*).



**Figura 3:** – Desenho esquemático da montagem experimental completa.

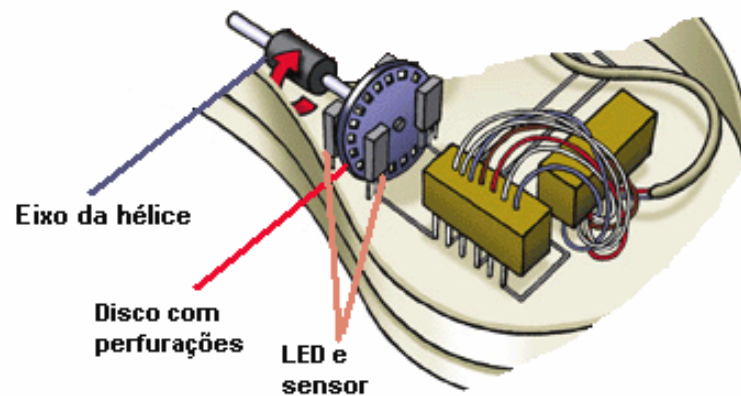
Como observamos na figura 3, o movimento da hélice representa a variação na altura da coluna de água, sendo este o parâmetro importante para o cálculo da energia livre associada ao sistema, e assim para a medição deste parâmetro foram desenvolvidos os seguintes dispositivos.

### **3.2.2 Sistema de Vasos Comunicantes**

Constituído de material acrílico, composto por uma ligação de dois vasos comunicantes (A e B), com escalas graduadas (centímetros), para medição da altura da coluna de água, abertos em suas extremidades e separados por um registro de acionamento manual. Quando o registro é acionado, o sistema de hélices começa a girar, fazendo com que os níveis de água se equilibrem.

### **3.2.3 Sensor Eletro-Óptico**

Para a aferição dos movimentos da hélice, utilizamos o mesmo dispositivo empregado no uso de um *mouse* de um computador doméstico. Este sensor foi acoplado ao eixo da hélice do dispositivo. Na ponta deste eixo, existe um disco com diversas janelas localizadas na sua borda e concêntricas, esse disco fica posicionado entre um diodo emissor de luz (LED) infravermelho e um foto-transistor, também infravermelho. Quando o eixo se movimenta, o disco gira, e neste momento as janelas permitem ou não a passagem da luz (figura 4), contando o número de furos e mostrando o valor no display.



**Figura 4.** – Desenho esquemático do sensor eletro-óptico, utilizado para a contagem de voltas da hélice (Info Wester, 2005).

### 3.2.4 Circuito Eletrônico

A saída do sensor eletro-óptico é ligada a um CI (203P002), para realizar a tradução do sinal óptico para elétrico, produzindo um sinal do tipo senoidal, cuja frequência é diretamente proporcional à velocidade de rotação da hélice e por sua vez, ao número de voltas realizadas.

A onda senoidal passa por um conjunto de amplificadores operacionais, configurados como comparadores de sinais e ligados em cascata, de forma que o sinal de entrada seja transformado de analógico para digital, o qual chamaremos de *clock*, que representa o momento em que a luz passa por uma janela do disco.

Cada vez que a luz passa por uma janela do disco, é gerado um sinal digital, de amplitude +5V, que corresponde ao nosso estado lógico 1 e quando a luz não passa, é gerado um outro sinal, de amplitude 0, que corresponde ao nosso estado lógico 0, desta maneira, verificamos um sinal digital, do tipo 1010101.....0101010, cuja frequência varia com a velocidade e o número de voltas da hélice.

A partir deste princípio, utilizamos um contador digital, (Fig.5) do tipo síncrono, com o auxílio de um dispositivo lógico chamado *flip-flop* e de um conversor de sinais lógicos para analógicos, para realizar a contagem do número de voltas da hélice.

O sinal lógico (*clock*) passa por um *flip-flop* tipo D (7490), o qual a cada mudança de estado (borda de descida), incrementa o contador em um *bit*. Esse bit passa por um conversor de código binário para o código BCD (74LS47), que é o comumente utilizado para apresentação dos dados (*display*).

Para termos uma faixa de leitura agradável ao operador, construímos um contador digital, de cinco dígitos, o qual após o nono pulso, o primeiro dígito é zerado, iniciando a contagem, a partir do segundo dígito e assim sucessivamente, proporcionados valores de 1 até 99999.



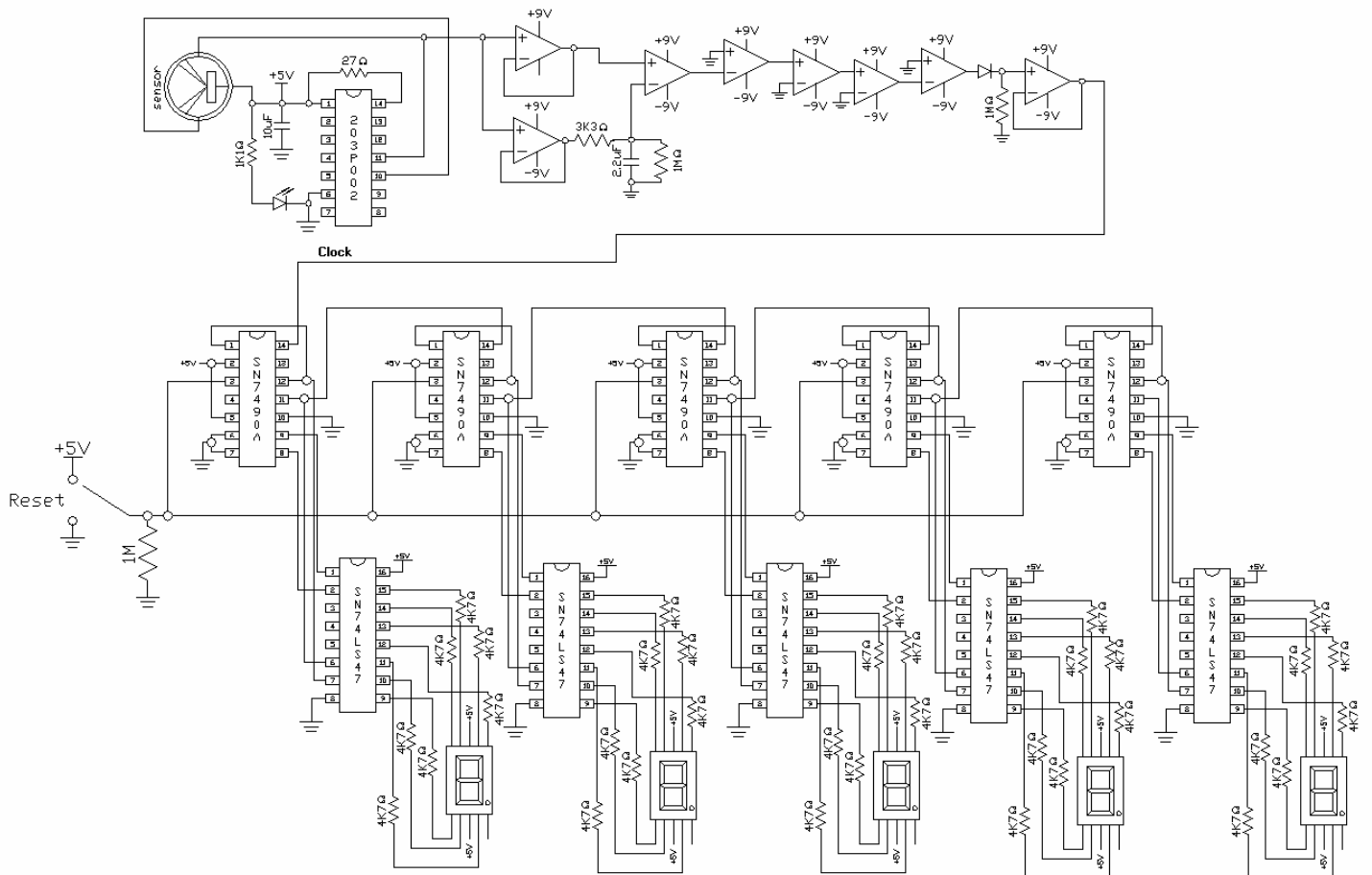


Figura. 5 - Esquema eletrônico do contador digital.

### 3.2.5 Montagem Experimental Completa

Na figura 6, apresentamos a foto do protótipo da montagem experimental.



**Figura 6** – Foto do protótipo dos vasos comunicantes.

### 3.2.6 Equação de Conversão de Energia

Elaboramos uma equação que converte o valor de energia mostrado no display para joule (J).

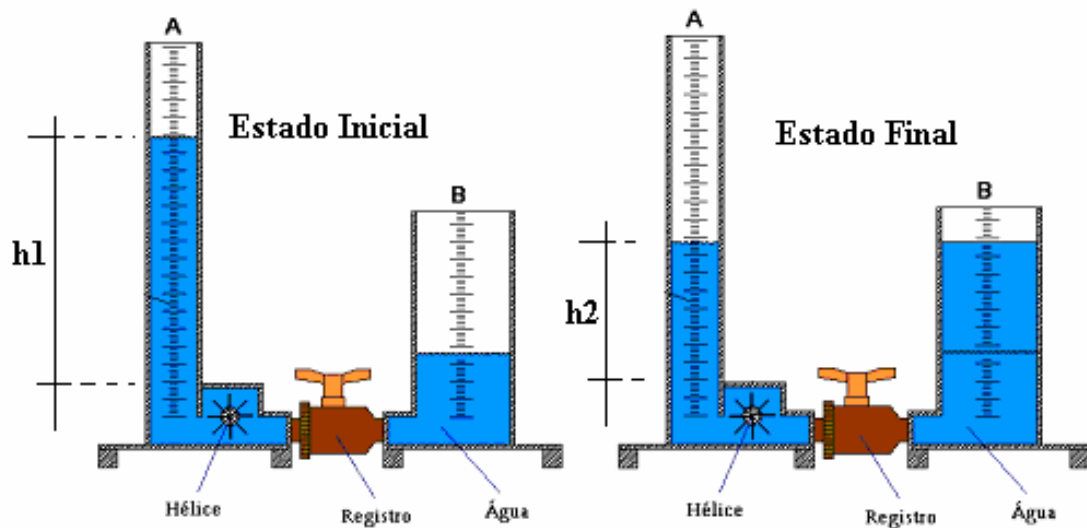


Figura. 7– Desenho esquemático da montagem no estado inicial e final.

$$\Delta h = h1 - h2$$

Onde:

H → diferença de altura do líquido do vaso A em relação ao estado final e inicial (cm).

h1 → altura do vaso A no estado inicial (cm).

h2 → altura do vaso A no estado final (cm).

$$El = d.g.H.V$$

Onde:

El → Energia liberada (Joule).

d → densidade da água (g/cm<sup>3</sup>).

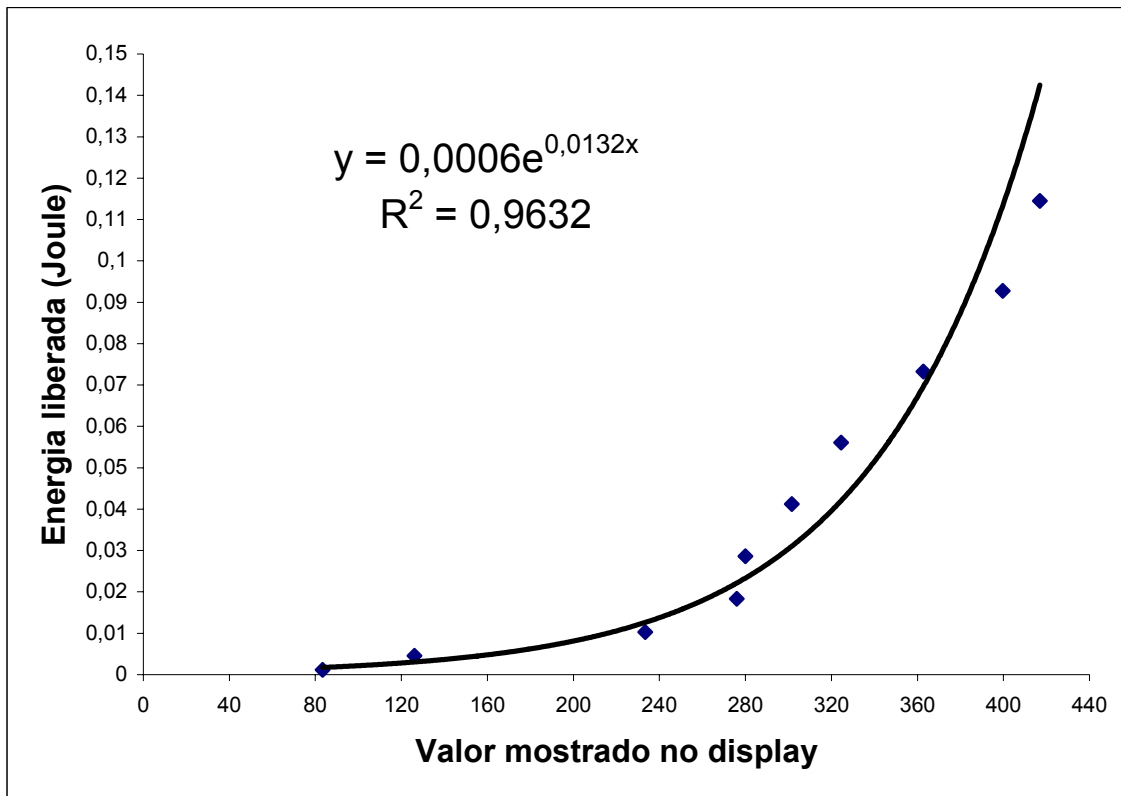
g → gravidade (m/s<sup>2</sup>).

H → diferença de altura do líquido do vaso A em relação ao estado final e inicial (m).

V → volume (m<sup>3</sup>).

**Tabela. 2:** Tabela de valores mostrados no display convertidos para joule.

h1 (cm)	h2 (cm)	H (cm)	Valor mostrado no display	Energia Liberada (J)
3	0,5	2,14	83,4	0,0011449
6	1	4,28	126,1	0,0045796
9	1,5	6,42	233,4	0,0103041
12	2	8,56	275,9	0,0183184
15	2,5	10,7	280	0,0286225
18	3	12,84	301,5	0,0412164
21	3,5	14,98	324,5	0,0561001
24	4	17,12	362,8	0,0732736
27	4,5	19,26	399,6	0,0927369
30	5	21,4	417	0,11449



**Figura. 8:** Com os pontos obtidos e sua respectiva linha de tendência exponencial.

Conforme a equação do gráfico  $y = 0,0006e^{0,0132x}$ , obtém-se o valor da Energia liberada quando o registro é aberto.

Facilitando o entendimento da equação, chamamos a variável Y de Energia e a variável X, de o valor mostrado no display.

Portanto:

$$El = 0,0006.e^{0,0132.N}$$

Onde:

El → Energia (Joule)

N → Valor mostrado no Display

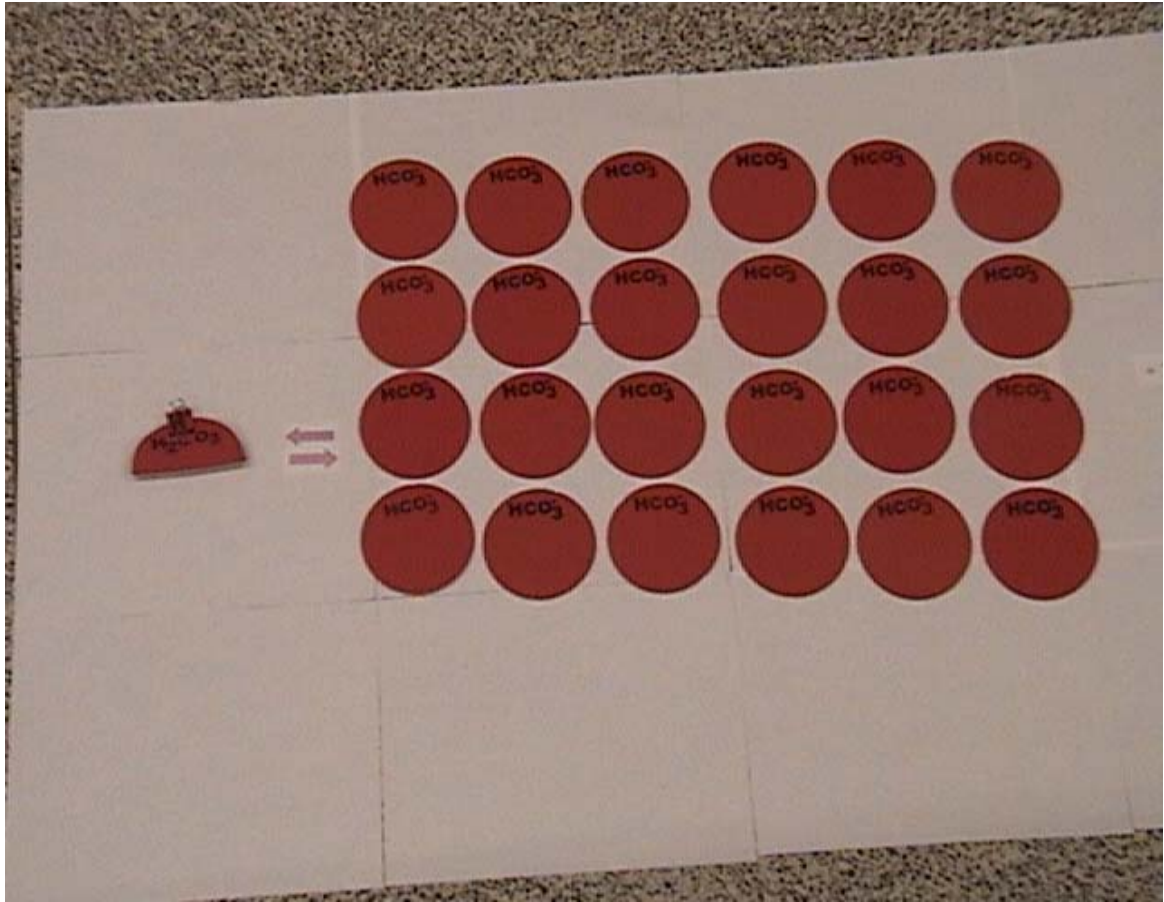
Na construção dos vasos comunicantes contamos com a colaboração do prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Pedro Frare Luiz Junior e o aluno de iniciação científica do curso de Engenharia elétrica Marcelo Kikuo Araki.

## 4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

### 4.1 Sistema Tampão.

Foi montada uma aula para explicar o mecanismo de ação do tampão bicarbonato em sistema fechado e em sistema aberto conforme ocorre no sangue.

Foram separados 25 cartões de E.V.A. contendo as fórmulas  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , uma em cada face. Dos 25 cartões, 24 foram abertos expondo a fórmula  $\text{HCO}_3^-$ . Esta quantidade representa 23,8 mM (aproximado para 24 mM) de bicarbonato sanguíneo, em condições normais. Um cartão permaneceu dobrado preso pelo dispositivo representando o próton, ocultando a face base conjugada e expondo a face  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Este cartão representa 1,2 mM de ácido carbônico (aproximado para 1 mM), em condições normais. Veja as Figuras abaixo mostrando as formas ácidos e bases conjugados do tampão bicarbonato.



**Figura. 9: Tampão Bicarbonato**

A figura 9 demonstra os 24 cartões abertos com a fórmula  $\text{HCO}_3^-$  que representam 23,8 mM ( aproximado para 24) de bicarbonato sanguíneo em condições normais (lado direito). Do outro lado um cartão fechado preso com um dispositivo representando o próton ocultando a face base conjugada com a fórmula  $\text{H}_2\text{CO}_3$  este cartão representa 1,2 mM de ácido carbônico em condições normais.



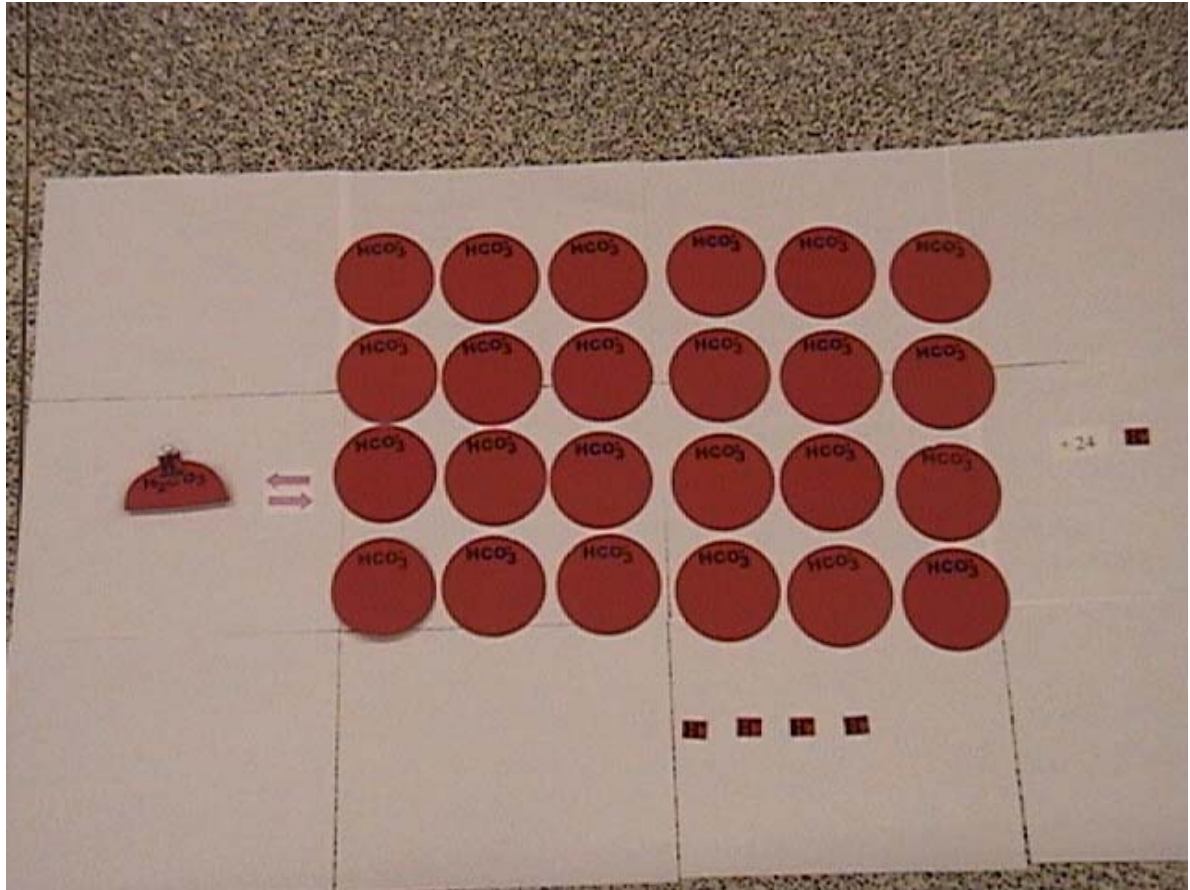
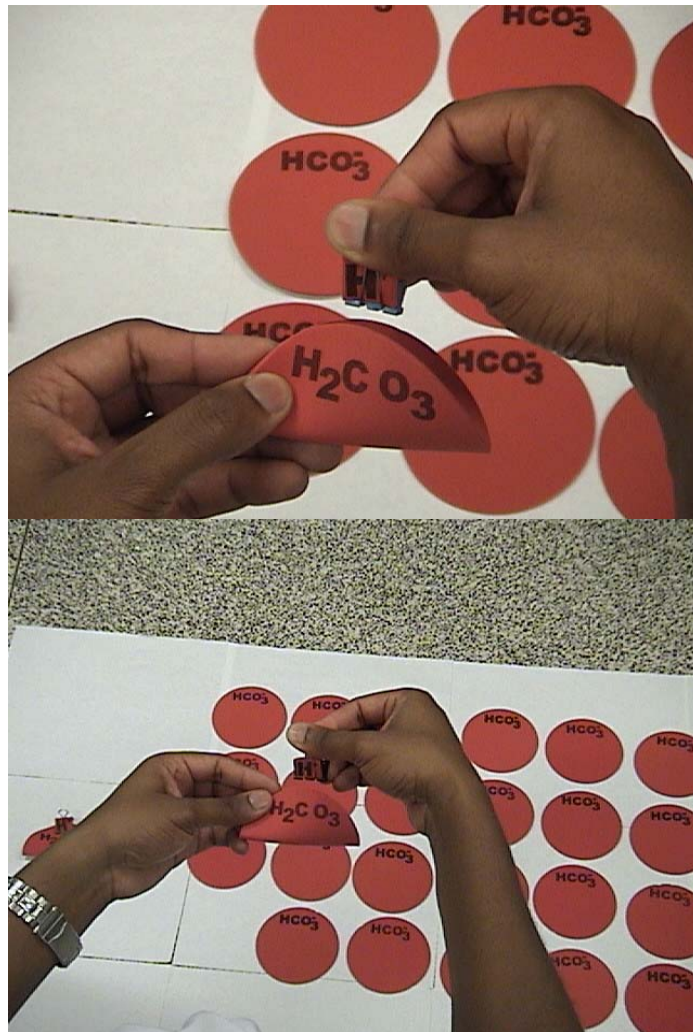
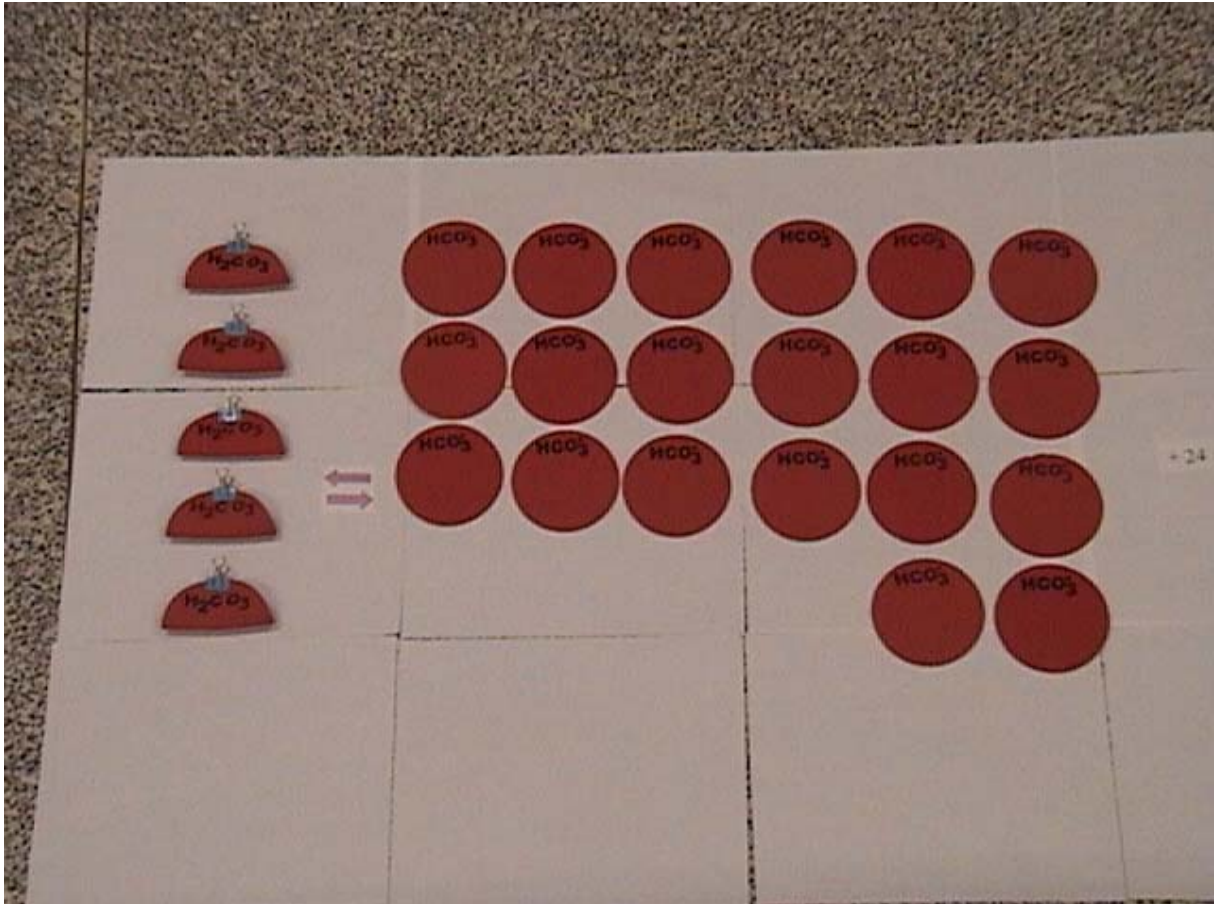


Figura. 10: Situação de acidose

A figura 10 demonstra uma situação de acidose, pois legendas com a fórmula  $\text{H}^+$  representam prótons (ácido forte) adicionados ao meio.

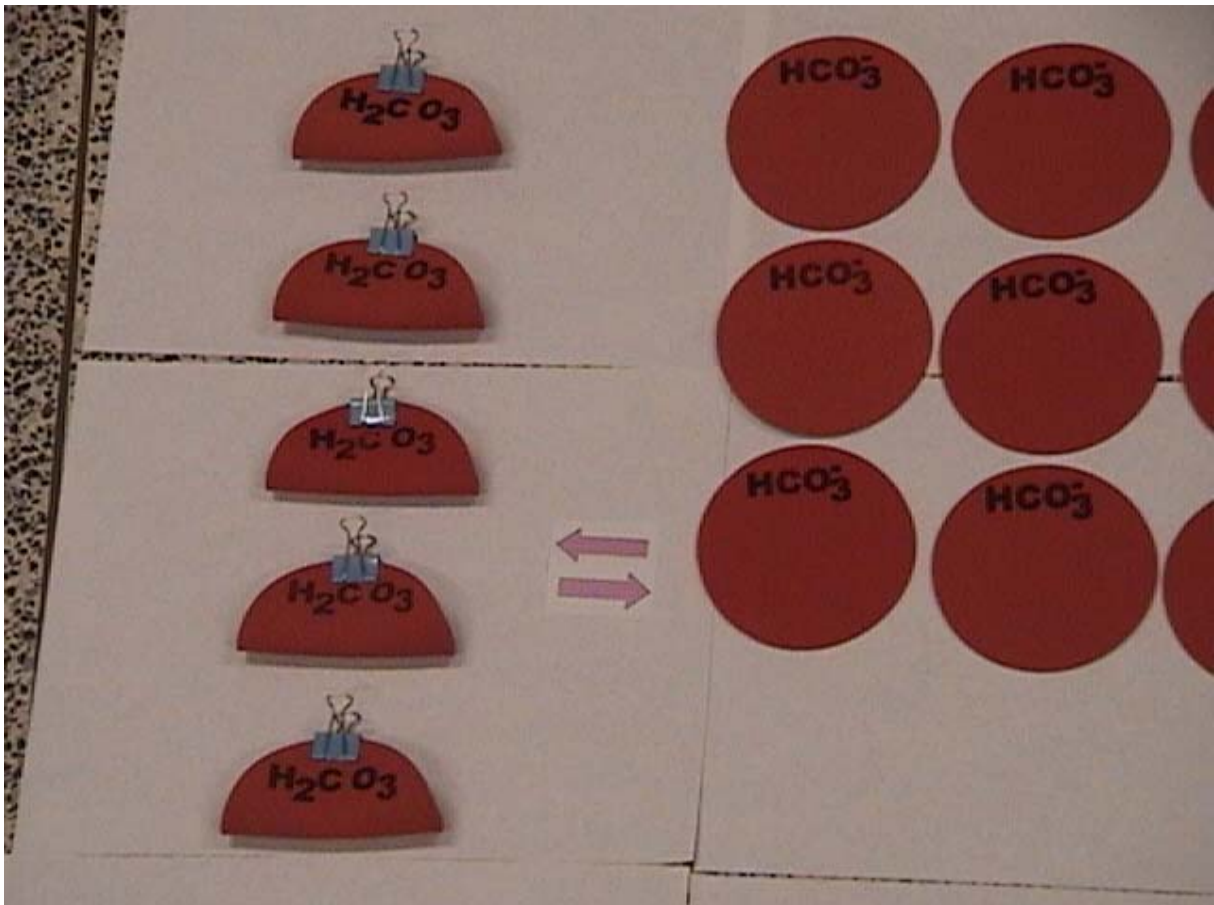


**Figura. 11:** Forma ácido conjugado do tampão bicarbonato com o próton sendo adicionado  
A figura 11 demonstra a captura do próton  $H^+$ , permitindo a formação do ácido conjugado.



**Figura. 12: Funcionamento do Tampão**

A figura 12 demonstra o sistema tampão após a adição de ácido forte e mostra que para ocorrer o tamponamento (seqüestro dos prótons extras adicionados), ocorreu também uma mudança na razão ácido base conjugada, ficando com a razão 20/5.



**Figura. 13:** Cartões representando as formas ácidos e bases conjugadas do tampão bicarbonato

A Figura 13 demonstra que um único cartão contém de um lado a representação da forma ácida conjugado do tampão, no caso  $\text{H}_2\text{CO}_3$  e do outro lado, a forma base conjugada do tampão, no caso  $\text{HCO}_3^-$ . Quando o próton dissociável de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  está presente, no caso feito com um prendedor com a legenda  $\text{H}^+$ , o cartão fica fechado com a face  $\text{H}_2\text{CO}_3$  da forma ácido conjugado (lado esquerdo). Quando o próton  $\text{H}^+$  é removido, o cartão se abre e mostra a face  $\text{HCO}_3^-$  forma base conjugada (lado direito).

Foi mostrado aos alunos que, em pH 7,4 (pH normal do sangue), o tampão bicarbonato de pKa 6,1, apresenta, em sistema biológico, uma razão base/ácido conjugado de 20/1. Em nosso sistema, a representação aproximada possível é de 24 cartões representando o bicarbonato para um cartão representando o ácido carbônico ou  $\text{CO}_2$ . Simulando uma situação de acidose, tomam-se dispositivos extras que

representam prótons adicionados (ácido forte) e com eles fechamos igual número de cartões que representam as formas base conjugadas e que assim passam a exibir a fórmula do ácido conjugado. Aplicamos esta demonstração na equação de Henderson-Hasselbalch, mostrando que no início, em pH 7,4, tínhamos uma dada proporção base/ácido conjugado (na nossa representação 24/1). Após a adição de ácido forte, ocorre o tamponamento (seqüestro dos prótons extras adicionados), mas como conseqüência, ocorre também uma mudança na razão ácido base conjugada (no nosso caso adicionamos quatro prótons extras e ficamos com a representação da razão de concentração 20/5). Portanto, se adicionarmos 4 mM de ácido forte em meio contendo tampão bicarbonato 25 mM, pH 7,4 colocado em sistema fechado, o mecanismo de tamponamento fará com que ao final a concentração de bicarbonato caia de ~ 24 mM para ~20 mM e a de ácido carbônico suba de ~1.0 mM para ~5 mM.

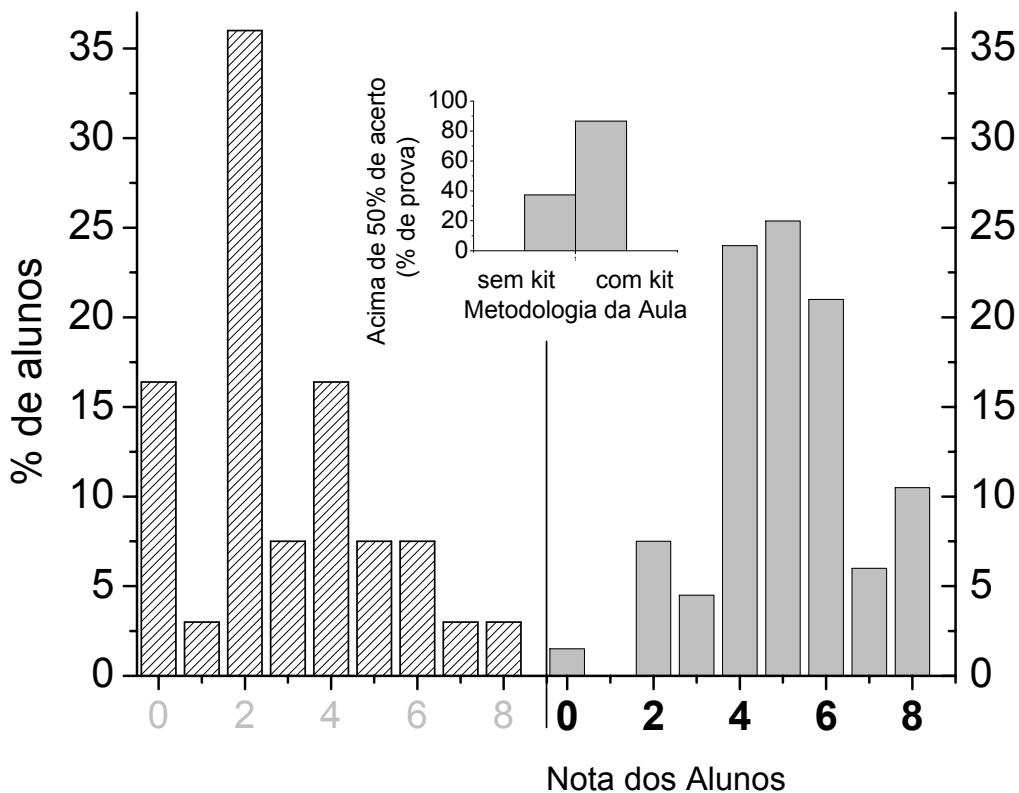
A conseqüência é o impedimento de uma queda brusca do pH, mas não de uma pequena variação decorrente da nova razão base/ácido conjugado, que é o que governa o pH em um meio tamponado.

Porém, no sistema aberto, onde ocorre a compensação respiratória, o aumento do ácido carbônico formado pelo processo de tamponamento será eliminado com o aumento da freqüência respiratória (no nosso caso representado por uma bexiga cheia com a legenda  $\text{CO}_2$ , de tal modo que a concentração ácido carbônico retorna ao normal). Aplicando a equação de Henderson-Hasselbalck, vemos que este mecanismo faz com que a queda do pH seja ainda menor, permitindo muitas vezes que fique em um valor compatível com a vida.

#### 4.1.2 Análise Quantitativa.

Os gráficos abaixo mostram o resultado da aplicação da aula com o kit tampão.

#### Resultado do Curso de Fisioterapia da UnG e Biologia da UMC



**Figura. 14** - Distribuição de notas obtidas pelos dos alunos dos cursos de Fisioterapia da Universidade Guarulhos e Biologia da Universidade Mogi das Cruzes na Prova sobre Tampões. As notas seguem uma escala de 0 a 8. As colunas hachuradas representam o resultado obtido sem o recurso pedagógico do kit. As colunas cinzas representam o resultado obtido com o recurso pedagógico do kit. O inserto mostra a porcentagem de alunos que obtiveram mais de 50% de acertos nas

provas sem e com o recurso do kit (colunas da esquerda e da direita, respectivamente).

O quadro abaixo mostra o resultado da análise estatística após aplicação do teste-T de Student (disponível no programa Microcal Origin 6.0) sobre as notas obtidas pela população de alunos que teve acesso ao kit (linha B) e que não teve acesso ao kit (linha C).

[[8/12/2005 17:10 "/Data1" (2453712)]

Independent t-Test on Data1 col(B) and col(C):

População	Média	Variância	N
B	2,50746	0,72343	67
C	1,44776	1,09193	67

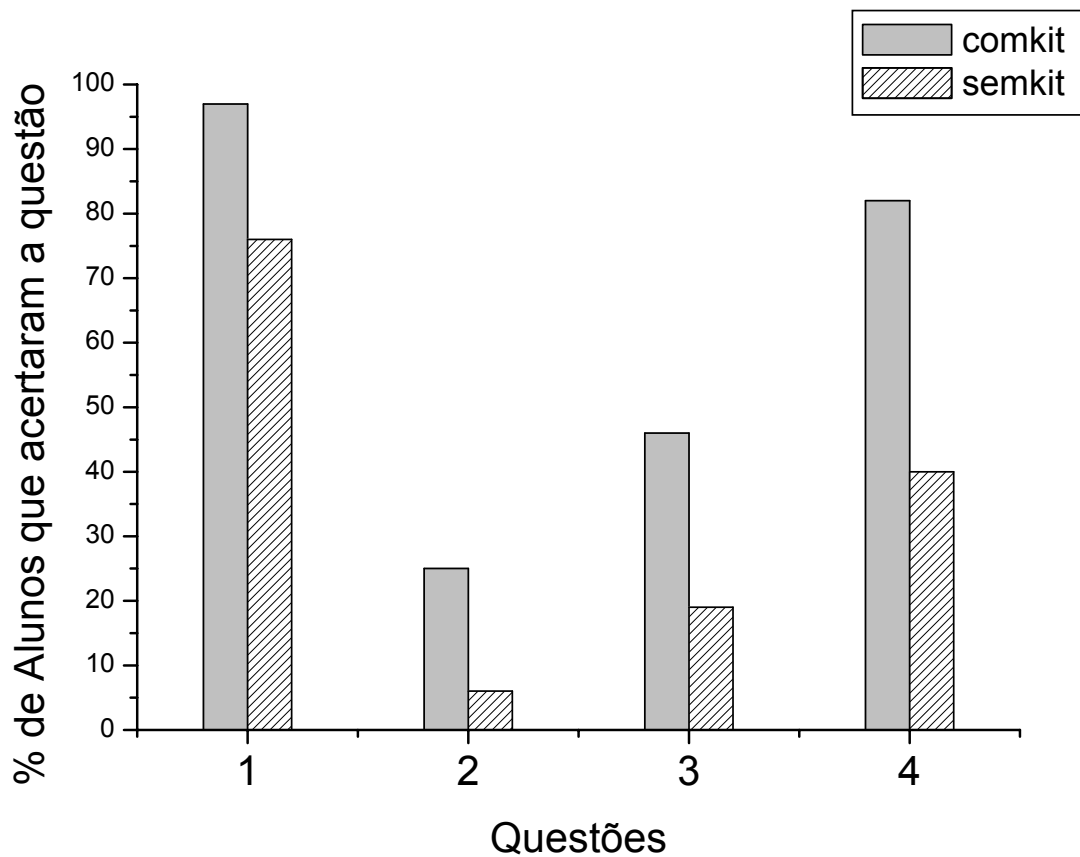
t = -6,43784

p = 2,06522E-9

O resultado mostra que, no nível de significância 0,01, as duas médias são significativamente diferentes .

### 4.1.3 Análise Qualitativa.

#### Resultado do Curso de Fisioterapia da UnG e Biologia da UMC



**Figura. 15** - Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes e Fisioterapia da Universidade Guarulhos na Prova sobre Tampões. As colunas hachuradas representam o resultado obtido sem o recurso pedagógico do kit. As colunas cinza representam o resultado obtido com o recurso pedagógico do kit.



Ficou comprovado em todas as questões do teste aplicado aos alunos na aula sobre sistema tampão, que os alunos que assistiram a aula com o recurso pedagógico do *Kit Tampão* tiveram um desempenho melhor do que os alunos que assistiram aula sem o recurso pedagógico do kit. A análise qualitativa mostra que 91% dos alunos que assistiram aula com o recurso pedagógico do *Kit Tampão* acertaram a questão 1 contra 76% para os que não tiveram acesso ao material.

Já na questão 2, do total de alunos que assistiram a aula com o recurso pedagógico do kit tampão, houve 25% de acerto contra 6% para os que não tiveram acesso ao kit.

Na questão 3, do total de alunos que assistiram aula com o recurso pedagógico do kit tampão, 46% dos alunos acertaram a questão 3 contra 19% para os que não tiveram acesso ao kit.

Para a última questão, do total de alunos que assistiram á aula com o recurso pedagógico do *Kit Tampão*, 82% dos alunos acertaram á questão 4. contra 40% para os que não tiveram acesso ao kit. Portanto, a questão 2, justamente a que mais exige compreensão do mecanismo de tamponamento para ser respondida corretamente foi a que teve o resultado mais sensível ao acesso ao kit.

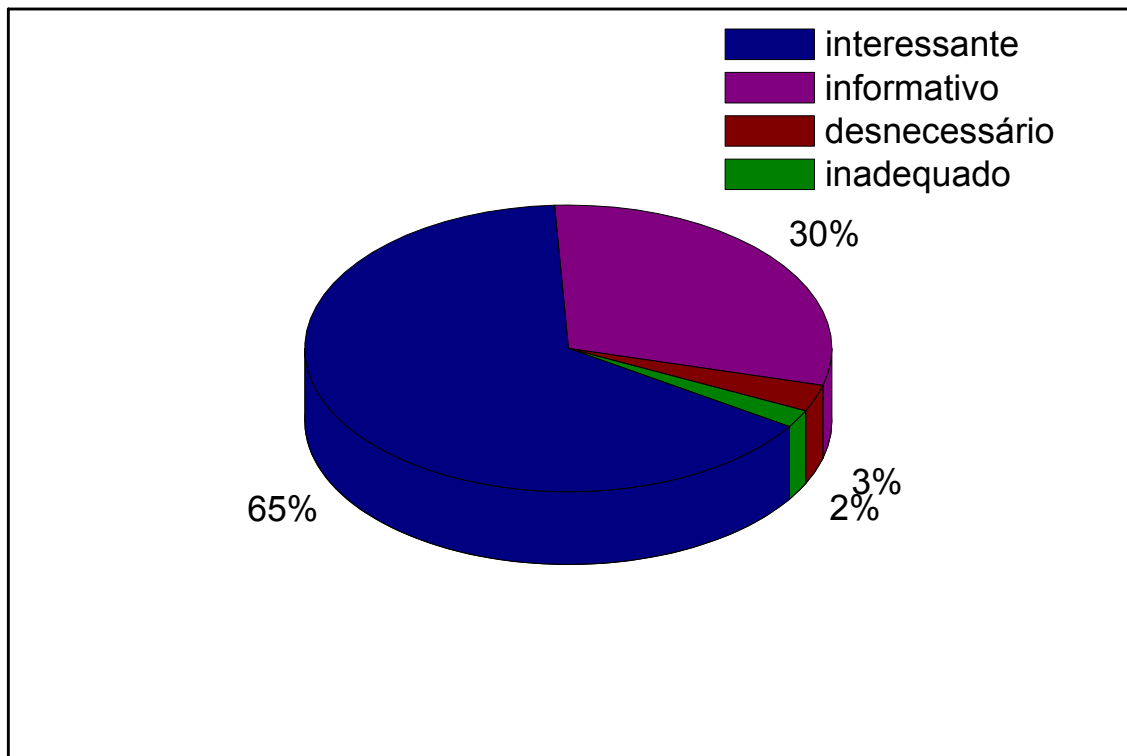
A Tabela abaixo mostra as questões e sua respectiva porcentagem de acerto nas duas condições experimentais.

**Tabela 3:** Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes e Fisioterapia da Universidade Guarulhos na Prova sobre Tampões.

Questão	% de alunos com kit	% de alunos sem kit
1) Defina sistema tampão.	97	76
2) Como o tampão mantém o pH estável após a adição de pequenas quantidades de ácidos ou bases fortes. E por que mesmo num sistema tampão ocorre uma pequena variação de pH durante a adição de pequenas quantidades de ácidos e bases fortes?	25	6
3) Diferencie ácidos e bases fortes de ácidos e bases fracos e explique porque os ácidos fracos conseguem agir como tampão?	46	19
4) Um estudante durante um experimento em laboratório necessitava realizar um experimento em uma solução tamponada para diminuir o risco de qualquer efeito adverso causado por ácidos e bases que possam ser consumidos ou produzidos durante a reação. Sabendo que o pH da sua solução é 6,3, qual dos tampões abaixo ele deve escolher para realizar seus experimentos? a) ácido acético pKa 4,76 b) ácido fosfórico pKa 2,14 c) ácido fórmico pKa 3,75 d) íon fosfato monoácido pKa 12,4 e) bicarbonato pKa 6,10	82	40

Após a aplicação do teste sobre sistema tampão consultamos a opinião dos alunos que tiveram a aula com o recurso pedagógico do *Kit Tampão* a respeito da qualidade do mesmo e contribuição ao seu aprendizado. O resultado obtido foi o seguinte:

Qual sua opinião sobre a aula com material pedagógico: *Kit Tampão*?

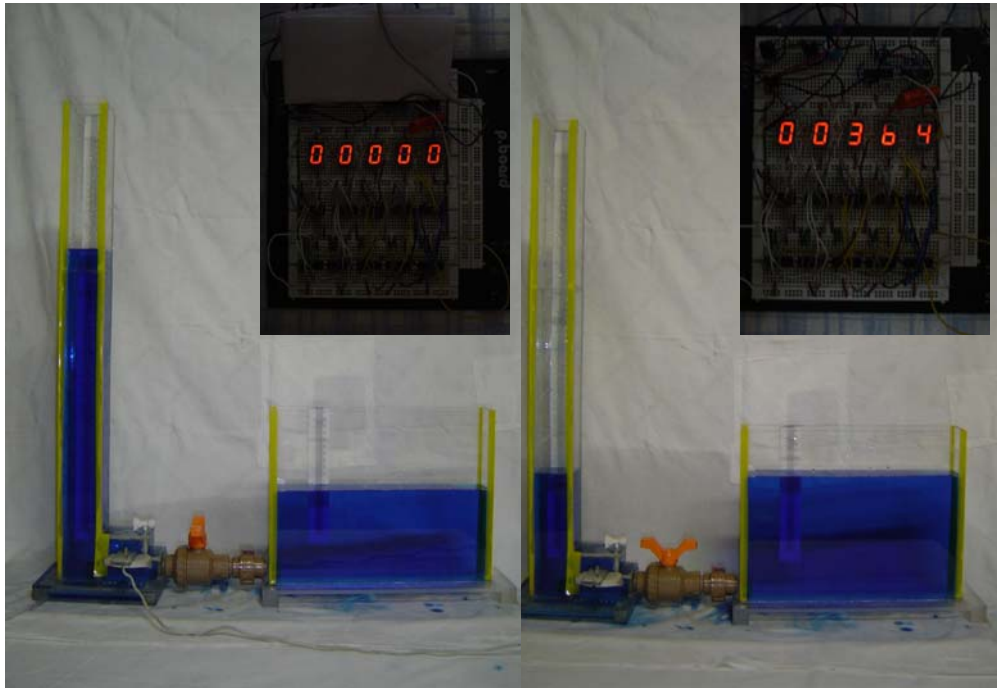


**Figura. 16-** O gráfico mostra a opinião dos alunos em relação á aula com o material pedagógico Kit Tampão.

## **4.2 Princípios de Termodinâmica.**

Desenvolvemos um sistema de vasos comunicantes (A e B), para auxiliar os alunos no ensino de princípios de Termodinâmica. Esses vasos são preenchidos com líquido colorido e estão separados por uma comporta de acionamento manual. Quando a comporta é acionada, os vasos se comunicam e o sistema entra em equilíbrio fazendo com que o nível de água seja igual nos dois vasos. Até atingir o equilíbrio o movimento do líquido de um vaso para outro gira um sistema de hélices. Este sistema aciona um gerador elétrico, cujo sinal de saída é processado por um circuito eletrônico e apresentado através de um sinalizador luminoso, indicando a energia que foi liberada para realizar trabalho. Foi montada uma aula para explicar os princípios de Termodinâmica com e sem este recurso.

Construímos três sistemas de vasos comunicantes em acrílicos:



**Figura 17. A Energia = 0,0733J**

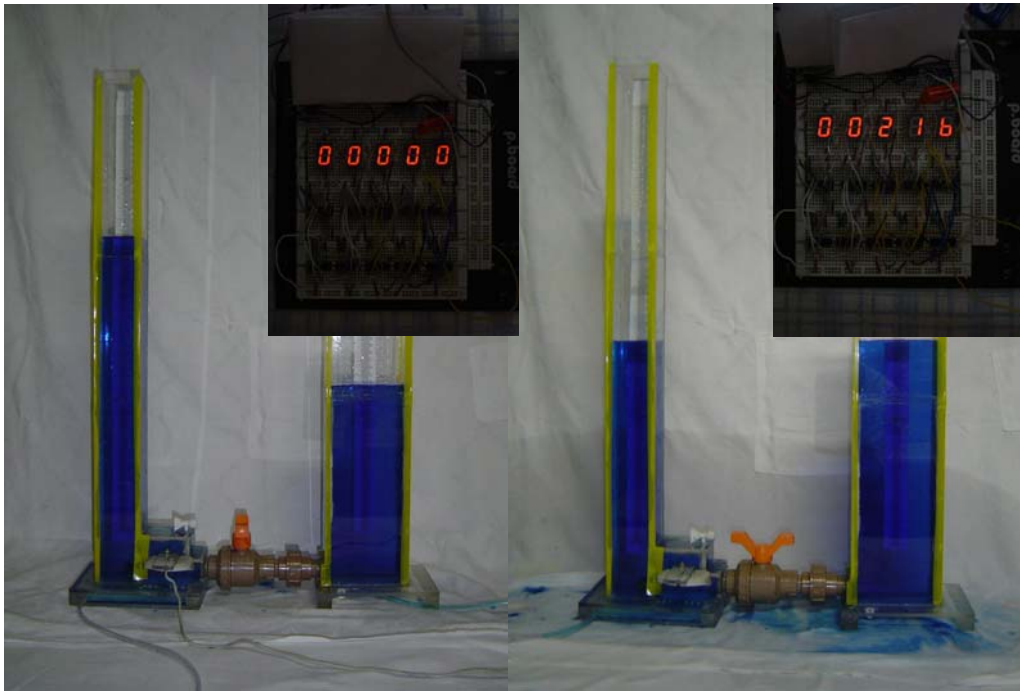


Figura 17. B Energia= 0,0104J

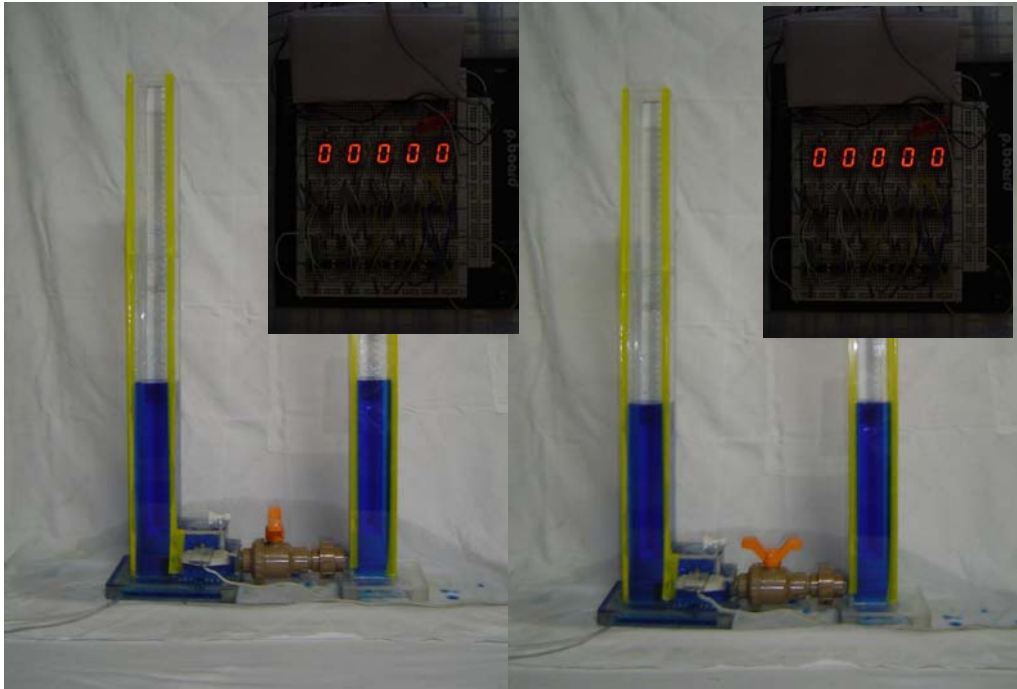


Figura 17. C Energia = 0

**Figura 17. A, B e C.** Relação entre  $\Delta G^{\circ}$  e  $K_{eq}$ .

$$\Delta G^{\circ} = -2,3 RT \log K_{eq}$$

As Figuras mostram uma representação da condição inicial padrão com o mesmo volume de água adicionado em cada compartimento de diferentes vasos comunicantes que por sua vez representam o potencial químico de diferentes reações. Após a abertura das comportas o que representa a ocorrência da reação até atingir o equilíbrio, verifica-se que, cada sistema de vasos atingiu o equilíbrio com diferentes razões de volume B/A. A razão de volume B/A faz analogia com a razão produtos/reagentes no equilíbrio, ou seja, a  $K_{eq}$ . Neste caso podemos ver que quanto maior a razão B/A, maior foi a energia liberada. Fato análogo ocorre com as reações químicas de tal modo que, quanto maior a razão produto/reagente no equilíbrio atingido a partir de uma condição padrão, maior a energia liberada no caso  $\Delta G^{\circ}$ . Desta forma, o aluno pode entender porque o termo está presente na equação abaixo que permite calcular o  $\Delta G^{\circ}$  de uma reação química a partir de sua constante de equilíbrio  $K_{eq}$ <sup>71</sup>.

$$\Delta G^{\circ} = -2,3 RT \log K_{eq}$$

A tabela 4 abaixo mostra que de fato, a  $K_{eq}$ , nas condições padrão, determina o valor e o sinal de  $\Delta G^{\circ}$ :



**Tabela 4:** Relação entre as constantes de equilíbrio de diferentes reações químicas e a variação da energia livre padrão das mesmas ( $\Delta G^\circ$ )

Keq	Log Keq	$\Delta G^\circ$ (J.mol <sup>-1</sup> )
0,0001	-4	22,79
0,001	-3	17,09
0,01	-2	11,39
0,1	-1	5,69
1	0	0
10	1	-5,69
100	2	-11,39
1000	3	-17,09
10000	4	-22,79

A Tabela 5 mostra que os resultados de relação razão B/A e energia liberada obtidos com o sistema de vasos comunicantes são análogos aos resultados de relação  $\Delta G^\circ$  e  $K_{eq}$  obtidos para os sistemas químicos.

**Tabela 5:** Valores da energia liberada pelos vasos comunicantes (volume iguais) análogos a condição padrão  $\Delta G^0$  em Joule.

Vasos	Razão B/A(L)	Valor mostrado no display	Valor convertido em Joule pela eq: $EI = 0,0006 \cdot e^{0,0132 \cdot N}$
A	1/1	364	0,0733
B	1/1	216	0,0104
C	1/1	0	0

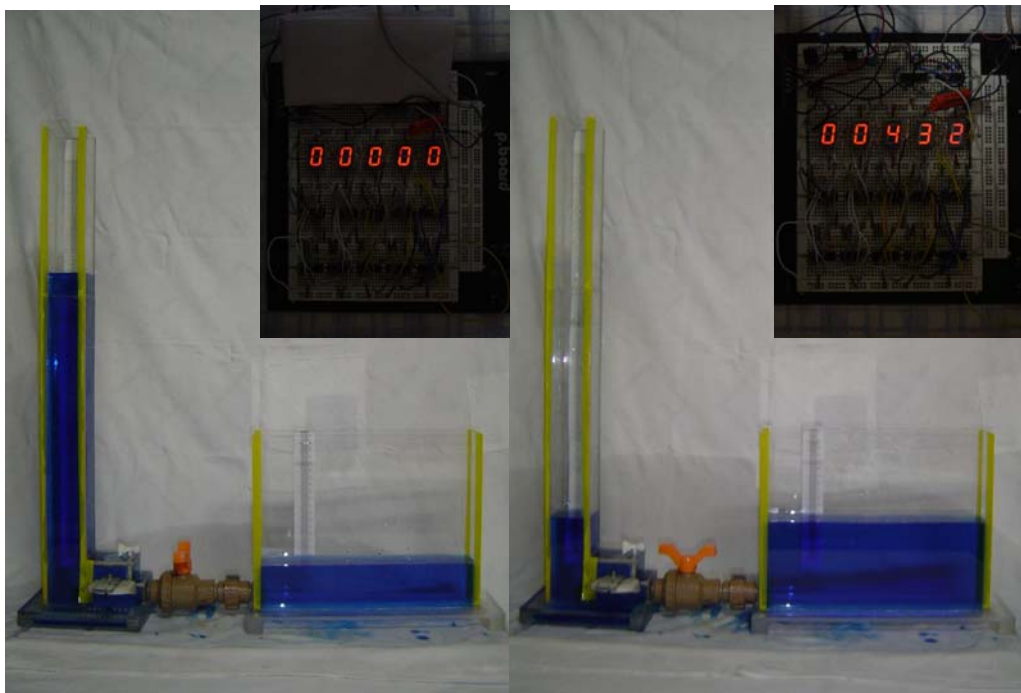
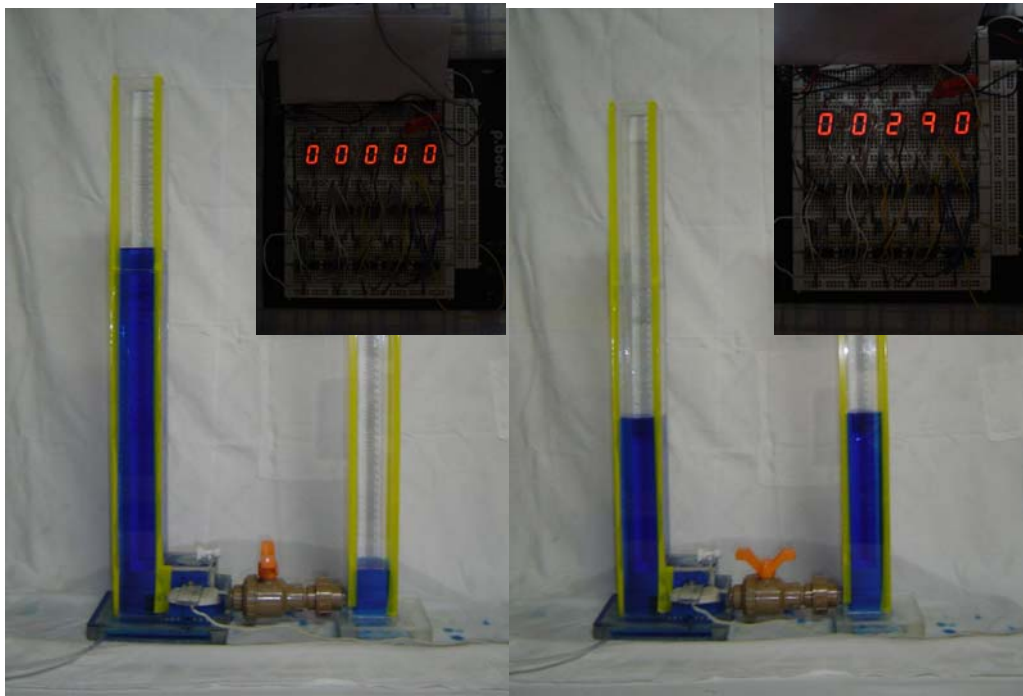


Figura 18. A Energia = 0,179J



**Figura 18. B Energia = 0,044J**



**Figura 18. C Energia = 0,00275J**

**Figura 18: A, B e C.** Relação entre  $\Delta G$  e  $\Delta G^\circ$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2,3RT \log [P]/[R]$$

As Figuras 18 A, B e C representam uma situação análoga à liberação de energia de uma reação química em condição não padrão ( $\Delta G$ ). Novamente observamos que as formas dos vasos influem na energia liberada. Pois a **Figura 18C** mostra que este sistema embora não liberasse energia nas condições de volumes iguais de líquido, passou a liberar energia na condição de volumes diferentes, porém em menor quantidade em comparação com os outros sistemas onde a discrepância de volumes entre os compartimentos A e B era maior. Como o tipo de sistema de vasos influenciou no resultado independente do volume colocado em cada compartimento, vemos que o valor de  $\Delta G^\circ$  e conseqüentemente da  $K_{eq}$  continua interferindo na liberação de energia em condições não padrão e a razão B/A, neste caso, faz analogia com a razão produtos/reagentes obtidas ao se atingir o equilíbrio em condições não padrão. Desta forma o aluno pode entender porque os termos  $\Delta G^\circ$  e razão  $[P]/[R]$  estão presentes na fórmula mostrada abaixo e que é usada para cálculo da variação de energia livre em condições não padrão tais como as condições celulares.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2,3 RT \log [P]/[R]$$

Partindo de volumes diferentes de água nos dois compartimentos para simular condições não padrão pode observar que, após a conversão do valor indicado no mostrador para Joules, de acordo com a equação:

$EI = 0,0006 \cdot e^{0,0132 \cdot N}$ , observamos que, nestas condições também, quanto menor a razão  $[P]/[R]$ , menor é sua energia liberada  $\Delta G^{71}$ . Os resultados encontram-se na tabela 6.

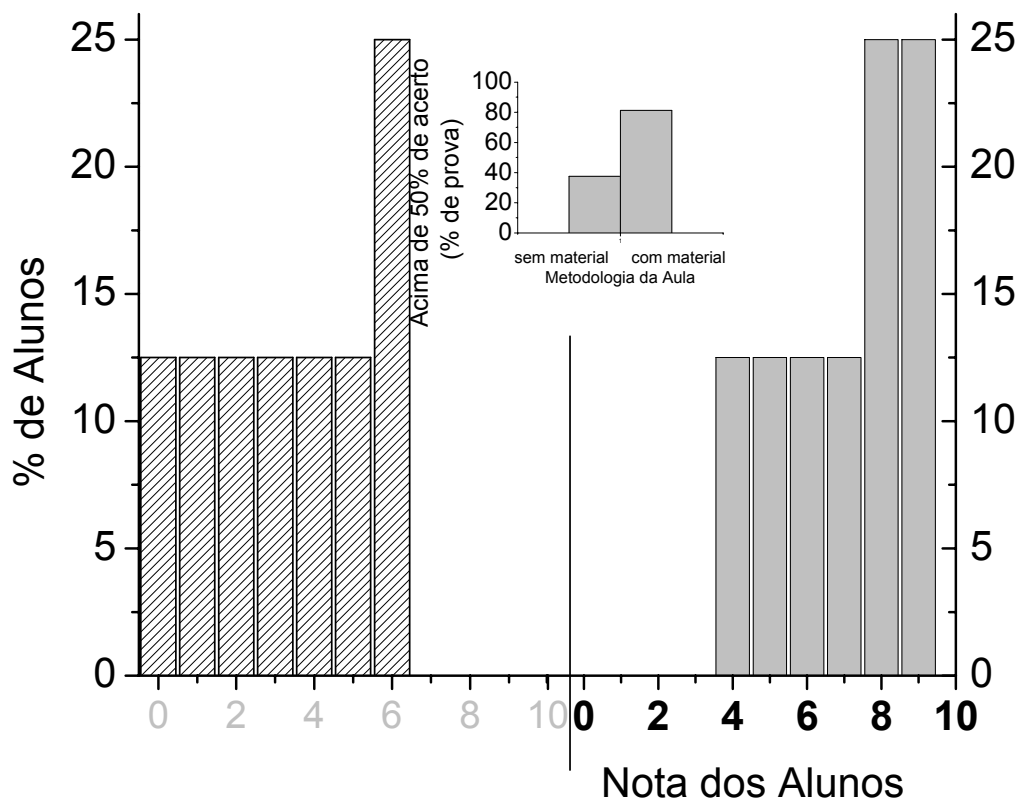
**Tabela 6:** Valores da energia liberada pelos vasos comunicantes (volume diferentes) análogos à condição não padrão  $\Delta G$  em Joule.

Vasos	Razão B/A (L)	Valor mostrado no display	Joule
A	0,5/1	432	0,179
B	0,3/1	326	0,044
C	0,3/1	290	0,00275

Após ministrar a aula descrita acima aplicamos um teste sobre Termodinâmica para os alunos que tiveram ou não acesso ao material didático (ver teste anexo B).

### 4.2.1 Análise Quantitativa

Os gráficos abaixo mostram os resultados obtidos pelos alunos que usufruíram ou não deste recurso pedagógico. O gráfico mostra claramente o desvio das notas para valores mais altos quando o material foi utilizado na aula.



**Figura. 19** - Distribuição de notas obtidas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica. As notas seguem uma escala de 0 a 10. As colunas hachuradas representam o resultado obtido sem o recurso pedagógico dos vasos comunicantes. As colunas cinza representam o resultado obtido com o recurso pedagógico dos vasos comunicantes. O inserto



mostra a porcentagem de alunos que obtiveram mais de 50% de acertos nas provas sem e com o recurso dos vasos (colunas da esquerda e da direita, respectivamente). O quadro abaixo mostra o resultado da análise estatística após aplicação do teste-T de Student (disponível no programa Microcal Origin 6.0) sobre as notas obtidas pela população de alunos que teve acesso ao material (linha B) e que não teve acesso ao material (linha C).

[8/12/2005 18:19 "/Data1" (2453712)]

Independent t-Test on Data1 col(B) and col(C):

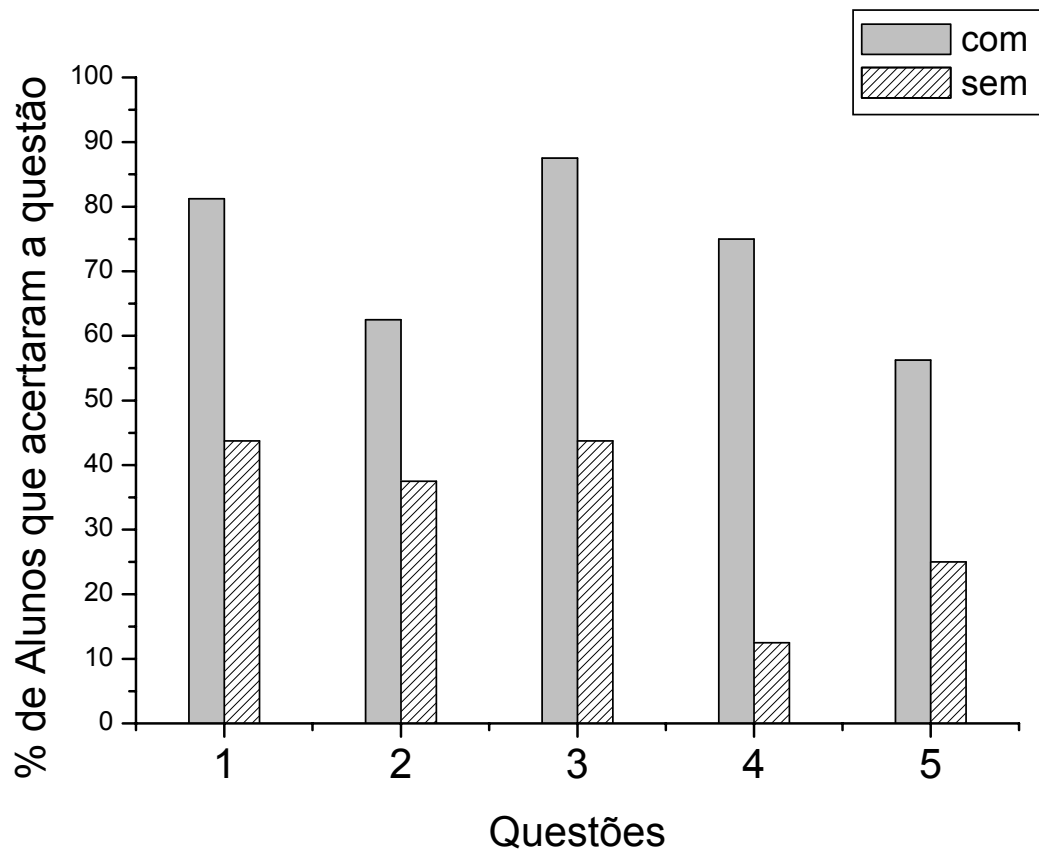
População	Média	Variância	N
B	7	3,42857	13
C	3,375	5,125	13

t = -3,50574

p = 0,0035

O resultado mostra que, no nível de significância 0,01, as duas médias são significativamente diferentes .

#### 4.2.2 Análise Qualitativa.



**Figura. 20** - Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica. As colunas hachuradas representam o resultado obtido sem o recurso pedagógico dos vasos comunicantes. As colunas cinza representam o resultado obtido com o recurso pedagógico dos vasos comunicantes.

Ficou comprovado em todas as cinco questões do teste aplicado aos alunos na aula sobre princípios de Termodinâmica, que os alunos que assistiram a aula com o recurso pedagógico do *Kit Termodinâmica*, tiveram um desempenho melhor do que os alunos que assistiram aula sem o recurso pedagógico dos vasos comunicantes. Pois se observa na questão 1, que 81,3% dos alunos que assistiram aula com o recurso pedagógico do *Kit Termodinâmica*, acertaram a questão contra 43,8% para os alunos que não usufruíram do material.

Já na segunda questão, do total de alunos que assistiram a aula com o recurso pedagógico do *Kit Termodinâmica*, 62,5% dos alunos acertaram a questão contra 37,5% para os alunos que não usufruíram do material.

Na terceira questão, do total de alunos que assistiram a aula com o recurso pedagógico do *Kit Termodinâmica*, 87,5% dos alunos acertaram a questão contra 43,8% para os alunos que não usufruíram do material.

Na quarta questão a mais significativa diferença, pois do total de alunos que assistiram a aula com o recurso do *Kit Termodinâmica*, 75% acertaram a questão contra apenas 12,5% para os alunos que não usufruíram do material.

Na última questão do total de alunos que assistiram á aula com o recurso pedagógico do *Kit Termodinâmica*, 56,25% dos alunos acertou a questão contra 25% para os alunos que não usufruíram do material.

A tabela 7 mostra os resultados acima.

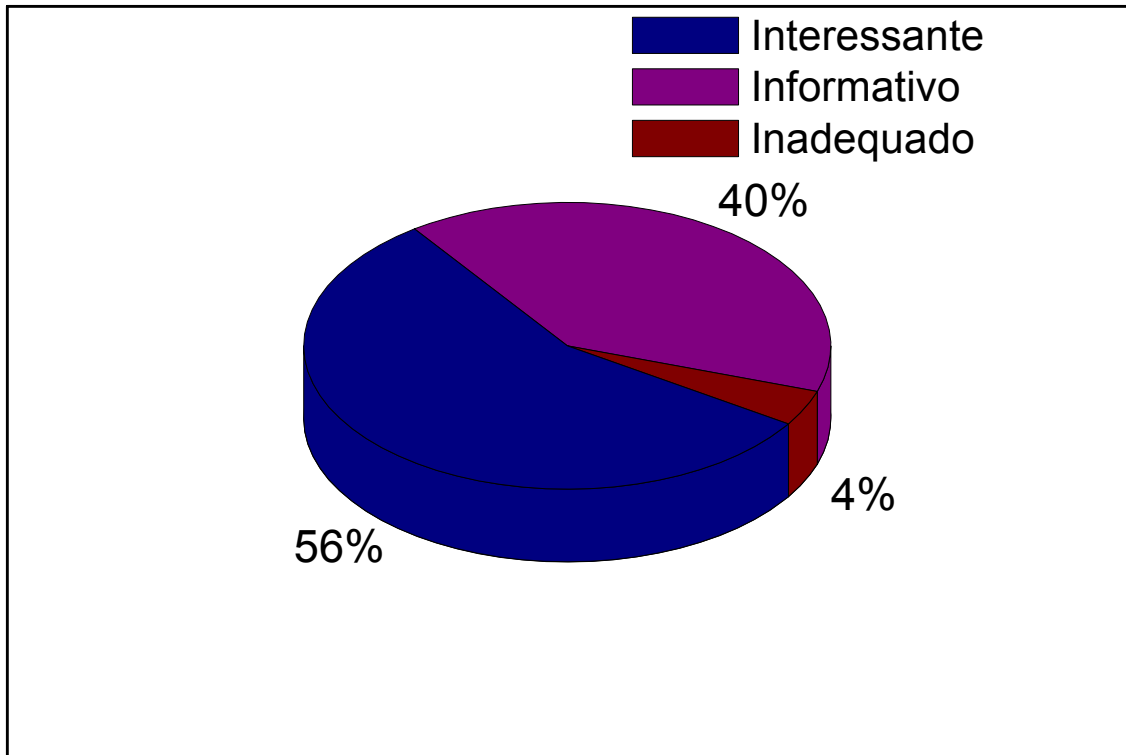
**Tabela 7:** Distribuição de questões acertadas pelos dos alunos do curso de Biologia da Universidade de Mogi das Cruzes na Prova sobre Termodinâmica.

Questão	% de alunos com kit	% de alunos sem kit
1) Dada à fórmula $\Delta G^\circ = -2,3RT\log K_{eq}$ , explique porque existe co-relação entre $\Delta G^\circ$ e $K_{eq}$ das reações.	81,3	43,8
2) Por que na fórmula $\Delta G = \Delta G^\circ + 2,3RT\log[\text{produtos}]/[\text{reagentes}]$ aparece o termo $\Delta G^\circ$ ?	62,5	37,5
3) Com base na fórmula para calcular $\Delta G$ , explique porque as reações de $\Delta G$ grande e negativo são irreversíveis nas condições celulares.	87,5	43,8
4) Correlacione as afirmações abaixo com as duas primeiras leis da Termodinâmica. 1- Energia não é criada e nem destruída, mas sempre transformada. 2- Todos os processos são espontâneos quando tendem para a mínima energia e máxima entropia.  a. As reações de $\Delta G$ positivo (endergônicas) não ocorrem. b. As reações de $\Delta G$ positivo são viabilizadas nas células por meio do acoplamento com reações exergônicas, isto é, com $\Delta G$ negativo. c. As reações de $\Delta G^\circ$ negativo (exergônicas) são espontâneas.	75	12,5
5) Considere os seguintes dados: a) $[\text{Na}^+]_{\text{intracelular}} = 12 \text{ mM}$ , $[\text{Na}^+]_{\text{extracelular}} = 145 \text{ mM}$ . b) $[\text{K}^+]_{\text{intracelular}} = 139 \text{ mM}$ , $[\text{K}^+]_{\text{extracelular}} = 4 \text{ mM}$ . Explique em que sentido o transporte de sódio e potássio seria espontâneo e de que forma a célula mantém estes gradientes de concentração?	56,25	25

Foi surpreendente ver que a quarta questão e não as duas primeiras questões foi aquela para a qual o recurso pedagógico fez a mais significativa diferença. A análise desta questão mostra que a mesma exige não só domínio dos conceitos, mas também capacidade associativa. Neste caso, ao facilitar a compreensão dos fenômenos, o material provavelmente foi um fator facilitador do processo associativo.

Após a aplicação do teste sobre princípios de Termodinâmica, mais uma vez perguntamos aos alunos que tiveram a aula com o recurso pedagógico dos vasos comunicantes, a opinião dos mesmos, sobre o material pedagógico. O resultado obtido foi o seguinte:

Qual sua opinião sobre a aula com material pedagógico: *Kit Termodinâmica*?



**Figura. 21-** O gráfico mostra a opinião dos alunos em relação á aula com o material pedagógico Kit Termodinâmica.

## 5 CONCLUSÕES

A simples transmissão de informações não é suficiente para que os alunos elaborem suas idéias de forma significativa. É imprescindível que o processo de ensino-aprendizagem decorra de atividades que contribuam para que o aluno possa construir e utilizar o conhecimento.

Ficou claro que no decorrer da realização desta pesquisa, a necessidade de se realizar mais investigações e implementações que busquem desenvolver a percepção adequada de ferramentas didáticas e de sua aplicabilidade no currículo de Química, bem como desenvolver suporte teórico e técnico quanto à metodologia e à avaliação, uma vez que a implementação destas novas tecnologias alterará inevitavelmente os papéis dentro de uma sala de aula e do contexto educacional.

O teste do material do sistema tampão foi testado em dois cursos de graduação diferentes, inclusive em outra instituição de ensino e, o teste do material dos vasos comunicantes foi testado no curso de Biologia da UMC e ambos os testes, indicam uma perspectiva favorável à sua eficácia pedagógica. Os resultados quantitativos comprovam a eficiência pedagógica dos materiais. Por outro lado, os resultados qualitativos indicam que a eficácia dos materiais contribuiu para o acerto das questões, pois as turmas que tiveram aula com os materiais pedagógicos exibiram um desempenho melhor em todas as questões do que as turmas que tiveram à aula sem o recurso dos materiais. Segundo a opinião dos alunos avaliados com os materiais pedagógicos, os mesmos são considerados extremamente informativos e são necessários para o melhoramento das aulas.

As análises estatísticas indicam em ambos os testes que as duas médias das turmas que tiveram aula com e sem o recurso do material são significativamente diferentes.

## 6 REFERÊNCIAS

- 1 BUNGE, M. **Em Ciência e Desenvolvimento**; Itatiaia: Belo Horizonte, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 32-34,1989.
- 2 DE JONG, T.; VAN JOOLINGE, W. R. **Review of Educational Research**, 68, 179.sm,1998.
- 3 ROTH, W.; WOSZCZYNA, C.; SMITH, G.; J. **Res. Sci. Teaching**, 33, 995; PENCE, H. E.; **J. Educ. Technol. Syst.** 1995-96, 24, 159, 1996.
- 4 WADDICK, J.;**Educ. Train. Technol.** Int., 31, 98,1994.
- 5 KOZMA, R. B. **Educ. Technol. Res. Dev.**, 42, 11,1994.
- 6 WILSON, A.; **Education in Chemistry**, September, 134,1996.
- 7 WHITELOCK, D.; **Ensaio – Pesquisa em Educação e Ciências**, 2-57,2000.
- 8 WHITE, B. Y.; SHIMODA, T. A. e FREDERIKSEN, J. R.; **Int. J. Artificial Intelligence in Education**, 10, 151,1999.
- 9 WU, H.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E.; (2001) **J. Res. Sci. Teaching**, 38, 821.
- 10 KOZMA, R. B.; RUSSELL, J.; **J. Res. Sci. Teaching**, 34, 949,1997.
- 11 BARNEA, N.; DORI, Y. J. **Chemical Education: Research and Practice in Europe**,2000.
- 12 ANDREWS, J. F. "**A mathematical model for the continuous culture of microorganisms utilizing inhibitory substrate**", **Biotechnology and Bioengineering**, v 10, p.707-723,1968.
- 13 THIELE R.B. and TREAGUST, D.F. **Analogies in chemistry textbooks.** **International Journal of Science Education**, 17(6), 783-785,1995.



14 VIEIRA, S. L.; **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual de Campinas e Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Brasil, 1997.

15 BOYER, R. **The New Biochemistry Blending the traditional with the other**, Biochem Molec Biol, Ed 28, p 292-296, 2000.

16 SCHNETZLER, R. P. **A Pesquisa em ensino de Química no Brasil: Conquistas e Perspectivas**. Química Nova, vol. 25, Supl. 1, p.14-24, 2002.

17 SANDER, B. **Sistemas e Anti-Sistemas na Educação Brasileira**. R. bras. Est. Pedag., Brasília, v.74, n. 177, p.335-370, 1993.

18 MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I.  
**A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: Fundamentos e pressupostos**. Química Nova, v. 23, n. 2, p.273-83, 2000.

19 SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: compromisso com a cidadania**. Ijuí: Ed. Unijuí, 1997.

20 A. KING, in: D.S. HALPERN. Changing College Classrooms: **New Teaching and Learning Strategies for an Increasingly Complex World**, Jossey-Bass, San Francisco, p.13–38, 1994.

21 CARVALHO, A.M.P & GIL-PÉREZ, D. Formação de Professores de Ciências: **Tendências e Inovações**, Coleção Questões de Nossa Época, v 16. São Paulo: Cortez, 1995.

22 MALDANER, O. A. Química I: **Construção de Conceitos Fundamentais** Unijuí, 1992.

23 T. ANGELO, P. CROSS. Classroom Assessment Techniques: **A Handbook for College Teachers**, 2nd Edition, Jossey-Bass, San Francisco, p.203–207, 1993.

24 HERRIED, C.F, **Dialogues as case studies**. Disponível em:  
[Http://ublib.bu.alo.edu/libraries/projects/cases/dialogues.html](http://ublib.bu.alo.edu/libraries/projects/cases/dialogues.html) (acessado em:  
8/10/98).

25 P.A. CRAIG. **Personal communication**, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, August–November, 2000.

26 CISCATO, C. A. M.; BELTRAN, N. O. **Química: parte integrante do projeto diretrizes gerais para o ensino de 2.º grau núcleo comum** (convênio MEC/ PUC-SP). São Paulo, Cortez e Autores Associados, 1991.

27 SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. **Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o Ensino de Química**. Química Nova na Escola. São Paulo. n. 1, p.27-31, 1995.

28 E.S. ROBERTS-KIRCHHO. **Presented at the 16th Biennial Conference on Chemical Education**, Ann Arbor, MI, Paper 414, 2000.

29 SEMTEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

30 AMBROGI, A.; LISBOA, J. C. F.; SPARAN, E. R. F. **Química: habilitação para o magistério**. São Paulo, Funbec/Cecisp, Harbra. Módulos 1, 2 e 3, 1990.

31 Ministério da Educação– MEC/Instituto Nacional de Estudos e Pesquisa Educacionais – INEP. **Matrizes Curriculares de Referência para o SAEB**. 2º ed. Brasília: MEC/INEP, 1999.

32 EICHLER, M.; Del Pino, J. C.; **Quim. Nova** , 23, 835, 2000.

33 SANGER, M. J.; BADGER II, S. M. J. *Chem. Edu.*, 78, 1412, 2001.

34 CONSTANTINO, M.G; SILVA, G.V.J. **Chemical Equilibrium, Free Energy, and Entropy of Mixing**, v 7. p. 349-353; New York, *Chem. Educator*, 2002.

35 VOET, D; VOET, J.G JOHN WILEY & SONS. **Fundamentos de Bioquímica**. Inc Second Edition. p. 34- 40, 1995.

36 FREEMANTLE, MICHAEL. **Chemistry in action.** Londres, Macmillan educations, 1997.

37 REGER; GOODE; MERCE. **Chemistry: Principles & Practice.** Filadélfia, Saunders College, 1993.

38 BELL, R.P. **The use of the terms acid and base, quaterly reviews of the Chemical Society** of London, 1,p.113-125, 1947.

39 WALDEN, P. SALTS. **Acids, and bases, electrolytes, Stereochemistry.** New York: McGraw-Hill, 1929.

40 LEHNINGER, ALBERT L. **Principios de Bioquímica** Inc Second Edition 1991, p. 263-289, 1991.

41 IRWIN H. SEGEL, JOHN WILEY & SONS. **Biochemical Calculations** Inc Second Edition , p. 84-161 ; 355-360, 1972.

42. Carnot, S. **Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines propes à Développer cette Puissance;** Bachelier; Paris, 1824.

43. Truesdell, C. A. **The Tragical History of Thermodynamics:**1822-1854, vol. 4 de Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; Springer-Verlag; New York, 1980.

44. Gibbs, J. W. **The Collected Works** of J. Willard Gibbs;Longman, Green; New York,1928.

45. Planck, M. K. E. L. **Vorlesungen über Thermodynamik;** De Gruyter; Berlin,1922.

46. Planck, M. K. E. L. **Wissenschaftliche Selbstbiographie.** J. A. Barth; Leipzig, 1948.

47. Carathéodory, C. **Investigation into de Foundations of Thermodynamics.** In The Second Law of Thermodynamics; Kestin, J., Ed.; Dowden, Hutchinson and Ross; Stroudsburg, 1976.

48. Truesdell, C. A.; Toupin, R. **The Classical Fields Theories.** In **Handbuch der Physik**, Vol. III, Part 1; Flügge, Ed.; Springer-Verlag; Berlin, 1960.

49. Day W. A. **The Thermodynamics of Simple Materials with Fading Memory;** Springer-Verlag; New York,1972.

50. Owen D. R. **A First Course in the Mathematical Foundations of Thermodynamics**; Springer-Verlag; New York, 1984.
51. Truesdell C. A. **Rational Thermodynamics**; Springer-Verlag; New York, 1984.
52. Truesdell C. A.; Bharatha S. **The Concepts and Logic of Classical Thermodynamics as a Theory of Heat Engines** - Rigorously Constructed upon the Foundations Laid by S. Carnot and F. Reech; Springer-Verlag; New York, 1988.
53. Silhavy M. **The Mechanics and Thermodynamics of Continuous Media**; Springer-Verlag; Berlin, 1997.
54. Truesdell C. A.; Muncaster R. G. **Fundamentals of Maxwell's Kinetic Theory of Simple Monoatomic Gas Treated as Branches of Rational Mechanics**; Academic Press; Boston, 1980.
55. Muller I.; Ruggeri T. **Rational Extended Thermodynamics**; vol. 37 de **Springer Tracts in Natural Philosophy**; Springer-Verlag; New York, 1998.
56. J. Serrin; **Space, Time and Energy. In Nonlinear Analysis and Continuum Mechanics Papers for the 65th. Birthday of James Serrin**; Buttazo G.; Galdi G. P.; Lanconelli E.; Pucci P.; Eds.; Springer-Verlag; New York, 1998.
57. J. Serrin. **Space, Time and Energy. In Nonlinear Analysis and Continuum Mechanics Papers for the 65th. Birthday of James Serrin**; Buttazo G.; Galdi G. P.; Lanconelli E.; Pucci P.; Eds.; Springer-Verlag; New York, p. 17, 343, 1998.
58. ATKINS, PETER. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**, Bookman, p. 341-426, 2001.
59. Childs, P.E. **Chemistry and Chance: Part 1, Chemistry in Action** 50, p. 26–29, 1996.
60. FEYNMAN, RICHARD. P. **Física em Seis Lições**, Edioro, p.115-137, 1999.

61 INGRAHAM, L.L. & A. B. PARDEE. **Free Energy and Entropy in Metabolism**, Inc Second Edition, 1995.

62 DUIT, R. **On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science**. Science Education, 75(6), p.649-672, 1991.

63 REIGELUTH, C.M. **Instructional design**: What is it and why is it?. In C.M. REIGELUTH (Ed.). **Instructional Design Theories and Models**: An Overview of their current status. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1983.

64 CURTIS, R.V. and REIGELUTH, C.M. **The Use of Analogies in Written Text**. Instructional Science, 13, p.99-117, 1984.

65 GLYNN S.M., BRITTON. B.K., SEMRUD, CLIKEMAN, M. and MUTH, K.D. **Analogical reasoning and problem solving in science textbooks**. In J.A. Glover, R.R. Ronning and C.R. Reynolds (Eds.) A handbook of creativity: Assessment, research and theory. New York: Plenum, p.383-398, 1989.

66 GLYNN, S.M. Explaining Science Concepts: **A Teaching-With-Analogies Model**. In S.W. Glynn, R.H. Yeany and B.K. Britton (Eds.) The Psychology of Learning Science. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, p.219-240, 1991.

67 Gabel, D.L. **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**, Mac Millan Pub. Co.: New York, 1994.

68 FELDGGER, R.S. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v 29, p. 222-224, 2001.

69 BELTRAN, N. O & CISCATO, C. A. **Química. Coleção Magistério, 2º Grau**. São Paulo: Cortez, 1991.

70 MARTINS, F.P.R. & BARRAL, M.F. **Ferramenta de Apoio à Formulação Simbólica de Modelos Cinéticos Microbianos Não Estruturados**, Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular, ed 1, 2004.

71 Clandinin, J. Learning to teach: **A question of knowledge**. Education Canada, 40,p. 28-30,2000.

**ANEXO – I**  
Teste: Sistema Tampão.

## Questionário:

Sistema Tampão.

I) Defina sistema tampão.

II) Como o tampão mantém o pH estável após a adição de pequenas quantidades de ácidos ou bases fortes. E por que mesmo num sistema tampão ocorre uma pequena variação de pH durante a adição de pequenas quantidades de ácidos e bases fortes?

III) Diferenciem ácidos e bases fortes de ácidos e bases fracos e explique porque os ácidos fracos conseguem agir como tampão?

IV) Um estudante durante um experimento em laboratório necessitava realiza um experimento em uma solução tamponada para diminuir o risco de qualquer efeito adverso causado por ácidos e bases que possam ser consumidos ou produzidos durante a reação. Sabendo que o pH da sua solução é 6,3, qual dos tampões abaixo ele deve escolher para realizar seus experimentos?

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| a) ácido acético         | pKa 4,76 |
| b) ácido fosfórico       | pKa 2,14 |
| c) ácido fórmico         | pKa 3,75 |
| d) íon fosfato monoácido | pka12,4  |
| e) bicarbonato           | pka 6,10 |

O questionário acima foi aplicado, nas turmas que tiveram aula com e sem o auxílio do material pedagógico do kit tampão.



**ANEXO – II**

Teste: Princípios de Termodinâmica.

## Questionário:

### Princípios de Termodinâmica

- I) Dada a fórmula  $\Delta G^{\circ} = -2,3 RT \log K_{eq}$  explique por que existe co-relação entre  $\Delta G^{\circ}$  e  $K_{eq}$  das reações.
- II) Por que na fórmula  $\Delta G = \Delta G^{\circ} + 2,3RT \log \frac{[P]}{[R]}$  aparece o termo  $\Delta G^{\circ}$ ?
- III) Com base na fórmula para calcular  $\Delta G$  explique por que as reações de  $\Delta G$  grande e negativo são irreversíveis nas condições celulares.
- IV) Co-relacione as afirmações abaixo com as duas primeiras leis da termodinâmica que são:
- 1<sup>o</sup> lei: energia não é criada e nem destruída, mas sempre pode ser transformada.
- 2<sup>o</sup> lei: Todos os processos são espontâneos quando tendem a mínima energia e máxima entropia.
- a) As reações de  $\Delta G$  positivo (endergônicas) não ocorrem
- b) As reações de um  $\Delta G +$  são viabilizadas nas células por meio do acoplamento com reações exergônicas; isto é, um  $\Delta G$  negativo.
- c) As reações de  $\Delta G$  negativo (exergônica) são espontâneas
- V) Considere os seguintes dados:
- a)  $[Na^{+}]$  intracelular = 12 mM,  $[Na^{+}]$  extracelular = 145 mM.
- b)  $[K^{+}]$  intracelular = 139 mM,  $[K^{+}]$  extracelular = 4 mM.
- a. Explique em que sentido o transporte de sódio e potássio seria espontâneo e de que forma a célula mantém estes gradientes de concentração?

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)