



ESTIMULADOR ELETROSTÁTICO DE SOLUÇÕES IÔNICAS

C. C. M. Braga

Departamento Acadêmico de Formação de Professores (DAFOP) – CEFET-RN
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59015-000 Natal-RN
E-mail: claudio@cefetrn.br

J.H. S. Bezerra

Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial (DATIN) – CEFET-RN
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59015-000 Natal-RN
E-mail: ricky@cefetrn.br

F. J. S. Lima

Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET
Departamento de Química (DQ) – UFRN
Av. Salgado Filho, S/N, Cidade Universitária, CEP 59072-970 Natal-RN
E-mail: limafjs@yahoo.com

K. C. H. Silva.

Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial (DATIN) – CEFET-RN
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59015-000 Natal-RN
E-mail: karenholanda@hotmail.com

R. G. P. Melo

Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial (DATIN) – CEFET-RN
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59015-000 Natal-RN
E-mail: renata_meloo@ig.com.br

RESUMO

As ciências exatas trazem para sala de aula a preocupação com a informática, o rigor científico, os dados estatísticos, a precisão de raciocínio, a dedução, as fórmulas, as tabelas, os gráficos, enfim, a relação entre experimento e teoria rigorosamente tratada, tendo como consequência a minimização de lacunas, que promovam possíveis limitações, viabilizando o estudo e elucidando o funcionamento do sistema. A escassez de experimentos que promovam integração ampla e efetiva entre as diversas disciplinas que permeiam as ciências exatas e da natureza, foi o ponto de partida para o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem atividades experimentais interdisciplinares. Dentro desta perspectiva, estamos construindo um equipamento onde um sistema (ampola+solução iônica), seja posicionado entre as placas de um campo elétrico presas em barras de ferro, as quais estarão fixadas em discos de madeiras devidamente conectados a um motor, imprimindo assim, um movimento circular ao conjunto. Nesse sentido, sensores ópticos serão utilizados para avaliar qualquer estímulo proporcionado, ao sistema, pela variação na posição das placas do campo elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: interdisciplinaridade, eletrostática, solução iônica, período e frequência.

1. INTRODUÇÃO

A relação entre ciência e desenvolvimento tecnológico pode ser melhor avaliada considerando-se inicialmente o significado da palavra tecnologia. Duas definições parecem mais adequadas: tecnologia é o conjunto de processos especiais relativos a uma determinada arte ou indústria e também a aplicação dos conhecimentos científicos à produção em geral. É interessante acrescentar também algumas definições da raiz etimológica da palavra tecnologia: técnica é um “conhecimento prático” ou um “conjunto de pormenores essenciais à execução perfeita de uma arte ou profissão”. Estas definições descrevem a tecnologia como o vínculo necessário entre a ciência e os meios de produção, explicitando o seu compromisso com a otimização da produção e com a qualidade dos bens obtidos. Desta forma, evidencia-se o papel do conhecimento científico como ferramenta social na melhoria da qualidade de vida. Mesmo considerando-se que a produção de novas tecnologias não é o fim único da Ciência, que objetiva também compreender aspectos subjetivos da existência humana, fica claro que dela depende direta ou indiretamente o avanço tecnológico, cujo impacto na sociedade tornou a Ciência uma das principais instituições sociais do nosso tempo. Necessariamente, então, a questão do incentivo às inovações tecnológicas deve ser discutida em conjunto com o fomento à pesquisa científica básica e aplicada. Nos dias atuais, em que o fazer ciência abrange um grande espectro de atividades, desde a pesquisa básica, passando pelo avanço da nossa compreensão da natureza até a resolução de problemas mais práticos, o trabalho do profissional em ciência deixa pouco espaço para questões de cunho mais epistemológico (exceções existem, é claro). O ensino de Física e de Química envolve uma extensa teoria que pode implicar muitas vezes um alto grau de abstração e de complexidade conceitual. Neste contexto, é importante o desenvolvimento de atividades experimentais, que desperte maior interesse e motivação dos estudantes e proporcione uma melhor compreensão do conteúdo teórico, o que favorece a assimilação de diversos conceitos importantes (Moura, 2000; Dahmen, 2006; Rocha e Machado, 2005), pois muitas vezes as aulas experimentais são encaradas como sendo apenas uma série de procedimentos amarrados, os quais não podem ser alterados sob pena de não atingir o objetivo da aula. Fica subentendido, para alguns, que o fenômeno ocorre isolado e é infalível, impossibilitando uma discussão mais ampla e minuciosa. Assim, a relação entre experimento e teoria deve ser rigorosamente tratada, pois minimizará falhas e lacunas que promovam limitações, inviabilizando o estudo do sistema (Veiga e Castanho, 2000; Harvey, 1967).

1.1. SOLUÇÕES

A maioria dos materiais não são elementos puros nem compostos puros, são misturas de substâncias mais simples. Assim, um composto apresenta uma composição fixa, enquanto que uma mistura pode possuir qualquer composição desejada. Assim, misturas são sistemas cujas propriedades dependem das proporções relativas dos seus componentes e não de suas concentrações. Não há restrições quanto ao estado físico, de modo que os componentes podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, desde que as propriedades do sistema químico sejam definidas pela sua proporção na mistura. Assim, a quantidade de cada componente do sistema deve ser tratada como uma variável (variável de mistura), que não é independente das demais, pois o somatório das proporções de seus componentes deve ser a unidade. Isso, em termos matemáticos como:

$$\sum_{i=1}^{\beta} X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_{\beta} = 1 \quad (01)$$

Onde:

β = número de componentes da mistura;

X_i = proporção dos componentes na mistura.

Uma solução é uma dispersão homogênea de duas ou mais espécies químicas numa escala molecular. De acordo com esta definição, uma solução é constituída por uma única fase. Aquelas que apresentam dois componentes são denominadas binárias, as de três, ternárias e as de quatro, quaternária, podendo apresentar-se da seguinte forma: soluções sólidas, líquidas e gasosas. Experimentalmente, para distinguir misturas homogêneas e heterogêneas, utiliza-se a medida da temperatura de mudança de fase (Atkins e Jones, 2001; Castellan, 1986; Lenzi et al 2002). Pode-se descrever a maior parte das soluções como tendo um componente predominante denominado solvente e um ou mais componentes minoritários chamados soluto (Russel, 1994.; Crockford e Knigh, 1977; Coscione et al, 2005). A correlação entre as propriedades físicas de soluções e a sua composição levou a um grande avanço no entendimento da química de soluções. As soluções iônicas possuem eletrólitos como soluto, o qual quando dissolvido em um dado solvente, produz uma mistura com uma condutividade elétrica maior que a condutividade do solvente puro. O solvente, por sua vez, enfraquece as forças eletrostáticas entre os íons. Esse efeito pode ser em maior ou menor grau dependendo da constante dielétrica do solvente (Agostinho et al, 2004; Skoog, et al, 2006).

Tabela I – Alguns tipos de soluções.

Soluto	Solvente	Solução
O _{2(g)}	N _{2(g)}	Gasosa
Tolueno	Benzeno	Ideal
Acetona	Clorofórmio	Não ideal
NaCl _(s)	H ₂ O _(l)	Iônica
H ₂ SO _{4(l)}	H ₂ O _(l)	iônica

Coligar, do latim *colligare*, significa unir, ligar, juntar, juntar para um fim comum. As denominadas **propriedades coligativas** referem-se a quatro propriedades físicas características de soluções diluídas: abaixamento crioscópico, ΔT_c (equação 02), elevação do ponto de ebulição (equação 03), abaixamento da pressão de vapor (equação 04) e alteração da pressão osmótica (equação 05), cujos comportamentos são correlacionados e unidos pelo fato de dependerem do número de partículas de soluto presente (independente de sua natureza química) em uma dada quantidade de determinado solvente. Todas têm em comum o fato do potencial químico do solvente no estado líquido ser diminuído na presença de um soluto (solução no estado líquido). Grande parte da Química, incluindo reações sintéticas, e toda a Bioquímica, ocorre em fase líquida. Há muito tempo é conhecido que o solvente afeta não só a velocidade das reações, mas também pode mudar completamente o produto de uma reação (Santos et al, 2002; Solomons e Fryhle, 2005; Gonçalves, 1996; Jr, 2006). A tabela 02 contém as equações que demonstram as alterações nas propriedades dos solventes quando da adição de um soluto não-volátil. Para soluções eletrolíticas as equações 02, 03, 04 e 05 sofrem alterações pela introdução do fator de Van't Hoff, o qual efetua uma correção para os efeitos causados pela adição de um eletrólito, originando as expressões 06, 07, 08 e 09.

Tabela II – Equações que representam as alterações nas propriedades do solvente pela adição de um soluto não-volátil em soluções moleculares e iônicas.

Equações	
Solução molecular	Solução eletrolítica
$\Delta T_c = -K_c \cdot W$ (02)	$\Delta T_c = -K_c \cdot W \cdot [1 + \alpha \cdot (q - 1)]$ (06)
$\Delta T_e = K_e \cdot W$ (03)	$\Delta T_e = K_e \cdot W \cdot [1 + \alpha \cdot (q - 1)]$ (07)
$\Delta P = P_0 \cdot K_t \cdot W$ (04)	$\Delta P = P_0 \cdot K_t \cdot W \cdot [1 + \alpha \cdot (q - 1)]$ (08)
$\pi = M \cdot R \cdot T$ (05)	$\pi = M \cdot R \cdot T \cdot [1 + \alpha \cdot (q - 1)]$ (09)

Onde:

K_c = constante crioscópica;

K_e = constante ebuliscópica;

K_t = constante tonoscópica;

P_0 = pressão de vapor do solvente puro;

W = molalidade (mol do soluto/quilograma do solvente – mol/kg);
 R = constante universal dos gases;
 T = temperatura;
 M = molaridade (mol do soluto/Litro da solução – mol/L) ;
 π = pressão osmótica;
 α = grau de dissociação do eletrólito;
 q = número de carga obtida a partir da dissociação do eletrólito.

Através de uma análise das equações citadas anteriormente verifica-se que as alterações provocadas no solvente a partir da adição de soluto não-volátil, depende exclusivamente da quantidade deste adicionado. Para isso, deve-se observar as equações que expressam as unidades de concentração e as relações matemáticas contidas na tabela 03.

Tabela III – Unidades de concentração utilizadas com frequência no ensino técnico integrado.

Unidades de Concentração	Equações
Fração em massa	$\tau = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{\beta} m_i} \quad (10)$
Densidade	$d = \frac{\sum_{i=1}^{\beta} m_i}{V(cm^3)} \quad (11)$
Concentração comum	$C = \frac{m_1}{V(L)} \quad (12)$
Fração em mols	$X_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{\beta} n_i} \quad (13)$
Molaridade	$M = \frac{m_1}{M_1 \cdot V(L)} \quad (14)$
Molalidade	$W = \frac{m_1}{M_1 \cdot m_2(kg)} \quad (15)$
Relações matemáticas entre algumas unidades de concentração	
	$M = \frac{C}{M_1} \quad (16)$
	$M = \frac{W \cdot m_2(kg)}{V(L)} \quad (17)$

Onde:

m_i = massa do componente na solução (soluto ou solvente);

$\sum_{i=1}^{\beta} m_i$ = massa da solução;

X_i = fração em mols do componente na mistura;

$\sum_{i=1}^{\beta} n_i$ = número de mols da solução.

m_1 = massa do soluto;

m_2 = massa do solvente;

\overline{M}_1 = massa molar do soluto.

1.2. PARÂMETROS FÍSICOS

Dentre as muitas propriedades físicas da matéria, suas *propriedades elétricas* são estritamente importantes tanto do ponto de vista acadêmico, para o entendimento do comportamento fundamental da matéria, quanto do ponto de vista tecnológico, para o desenvolvimento destinado a obtenção e caracterização de novos materiais. O comportamento elétrico global de muitos sistemas químicos ou físicos é muitas vezes ditado por uma série de processos, que às vezes são fortemente acoplados (interfaces sólido-líquido, sólido-sólido), e que possuem tempos de resposta distintos para qualquer tipo de excitação sofrida pelo sistema (Giroto e Santos, 2002).

A interação entre duas partículas carregadas em repouso para um observador em um sistema de referência inercial ou movendo-se com velocidade muito baixa é estudada pela lei de Coulomb (Alonso e Finn, 2002).

a interação eletrostática entre duas partículas carregadas é proporcional às suas cargas e ao inverso do quadrado da distância entre elas, e tem a direção da reta que une as duas cargas.

A lei pode ser expressa matematicamente pela equação 19:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{d^2} \quad (19)$$

Onde:

$|q_1|$ e $|q_2|$ = módulos das cargas elétricas pontuais;

$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$ = permissividade do vácuo;

d = distância entre as cargas.

Um campo elétrico pode ser gerado também carregando-se duas lâminas de metal paralelas e com o mesmo número de cargas de sinais opostos. A simetria indica que o campo é uniforme. Assim, o campo possui mesmo módulo, direção e sentido em todos os pontos (Grayson, 2003).

A figura 01 representa um campo elétrico uniforme.

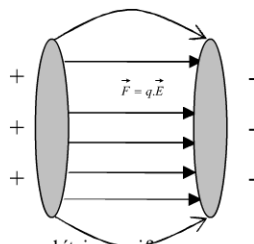


Figura 01 – Linhas de campo em um campo elétrico uniforme.

Utiliza-se a equação 20, utilizadas no ensino técnico-integrado, para determinar o campo elétrico uniforme em um capacitor de placas paralelas.

$$E = \frac{V}{d} \quad (20)$$

Onde:

V = diferença de potencial entre as placas;

d = distância entre as placas;

A capacitância C , de um capacitor ideal de placas paralelas de área A , separadas por uma distância d , onde não são considerados os efeitos de borda (Bertuola e Figueredo, 2004; Precker e Silva, 2006), é matematicamente expressa por:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (21)$$

Onde:

A = área das placas.

Embora a eletrostática se inicie pelo estudo da carga pontual, as distribuições de cargas são logo popularizadas afim de se ter acesso a várias situações de interesse (Ferreira, 2004).

Átomos e moléculas são eletricamente neutros. No entanto, algumas dessas espécies apresentam momento de dipolo nulo, sendo polarizada quando exposta a um campo elétrico externo. Em outras, os centros das cargas positivas e negativas não coincidem, resultando em um momento de dipolo permanente. Estas últimas respondem mais facilmente ao estímulo quando interagem com um campo elétrico externo. Tais respostas são de suma importância, pois a partir dessas informações elucidam-se o comportamento de alguns materiais. Esse mesmo estímulo, agora, aplicado a sólidos iônicos, pode resultar na transferência de um íon de um retículo para outro. A probabilidade de ocorrer esse fenômeno é baixa, a menos que seja proporcionadas condições experimentais específicas. Entretanto se o material estiver no estado líquido ou dissolvido em um solvente polar, a mobilidade iônica tende a aumentar (Tipler, 2000; Van Vlack, 2000). Sob a ação de um campo elétrico, um íon efetua um movimento que tem duas etapas distintas: na primeira, considerada transiente e dura até ser atingida a velocidade terminal, o íon executa um movimento acelerado, durante o qual cresce a força viscosa que se opõe ao seu deslocamento; na segunda, etapa permanente quando a velocidade do íon é a velocidade terminal ou iônica. Nessa etapa a espécie desloca-se com velocidade uniforme (Macedo, 1988). A expressão 22 representa a velocidade iônica:

$$v = \frac{Eq}{6\pi\eta r} \quad (22)$$

Onde:

E = campo elétrico $\Rightarrow [E] = V/cm$;

q = carga iônica $\Rightarrow [q] = C$;

η = viscosidade $\Rightarrow [\eta] = g/cm.s$;

r = raio do íon na solução $\Rightarrow [r] = cm$.

Note que no presente trabalho os eletrodos não estão imersos na solução. Esta será confinada em uma ampola de vidro e posicionada entre as placas de um campo elétrico. Com isso as equações devem ser observadas com reservas, pois poderão sofrer algumas modificações. Estão demonstradas na tabela 02, algumas propriedades, as quais constituem critérios para a escolha de um solvente onde o soluto é um eletrólito.

Tabela IV – Momento de dipolo, Polarizabilidade molecular, Constante dielétrica para água, ácido fórmico, metanol, etanol, propanona e ácido acético:

Solvente	Propriedades		
	Momento de dipolo* (D)	Polarizabilidade molecular (10^{-24} cm^3)	Constante dielétrica
H ₂ O	1,854	1,45	80
HCOOH	1,41	3,4	59
CH ₃ OH	1,70	3,29	33
C ₂ H ₅ OH	1,69	5,11	24
C ₃ H ₆ O	2,88	6,33	21
CH ₃ -COOH	1,70	5,1	6

Um corpo rígido é qualquer sistema de partículas onde estas permanecem em posições fixas entre si. Com esse modelo de simplificação de um corpo rígido, pode-se fazer uma afirmação sobre as várias partículas no corpo rígido – para rotação ao redor de um eixo fixo, toda partícula de um corpo rígido tem a mesma velocidade angular e aceleração angular, ou seja, essas grandezas caracterizam o movimento rotacional do corpo inteiro (Serway e Jr, 2004). As equações 23 e 24 representam o momento de inércia e a energia cinética, respectivamente, de uma barra delgada longa com eixo de rotação passando pelo centro:

$$I = \frac{1}{12} m l^2 \quad (23)$$

$$K = \frac{1}{2} I \omega \quad (24)$$

Onde:

m = massa do corpo $\Rightarrow [m] = kg$;

l = comprimento da barra $\Rightarrow [l] = m$;

ω = velocidade angular $[\omega] = rad/s$;

2. METODOLOGIA

O estudo foi iniciado a partir da escassez de experimentos interdisciplinares e da observação em laboratório de ensino de dois experimentos. O primeiro é bastante comum em química para verificação qualitativa da polaridade de alguns solventes. Utiliza-se um bastão ou uma caneta que é atritada, havendo dessa maneira uma separação das cargas. Em seguida a caneta é aproximada de um filete de água. A figura 02 mostra a resposta da água quando colocada em contato com um campo elétrico criado pela separação de cargas. No outro, pouco comum, um cordão de aproximadamente 50 cm foi colocado entre as placas de um campo elétrico com diferença de potencial igual a 10^4 V . O cordão foi levemente deslocado do seu ponto de repouso. Continuando o experimento, o cordão foi introduzido em uma solução de hidróxido de sódio e novamente colocada entre as placas. Deve-se observar que o NaOH é um composto iônico e classificado como eletrólito forte em meio aquoso. A partir, dessa variação no sistema, o cordão foi atraído por uma das placas e depois pela outra, originando assim uma movimentação intensa numa determinada frequência. Analisando o fenômeno, foi proposto o confinamento da solução, pois imaginava-se que a resposta dada pelo sistema seria mais eficiente.

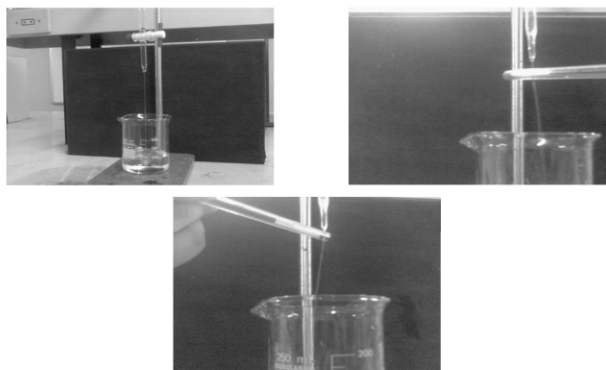


Figura 02 – Sequência fotográfica evidenciando a resposta do filete de água ao interagir com o campo elétrico.

Finalizada a etapa de observações, iniciou-se os estudos com o objetivo de se construir teoricamente o equipamento ilustrado na figura 03, composto por um motor, transformador, placas de alumínio, barras de ferro, discos de madeira para apoiar as barras de ferro que sustentarão as placas e um sensor óptico.

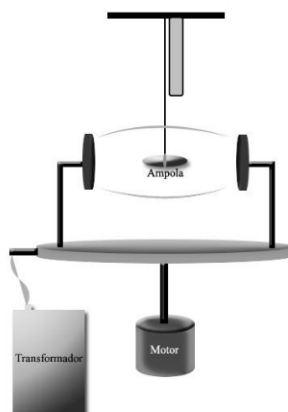


Figura 03 – Equipamento inicialmente prc

A aquisição dos materiais e reagentes, expostos na tabela 03, foi o passo seguinte. Modificamos a quantidade e o tipo de alguns materiais originalmente propostos, promovendo uma adaptação à nossa realidade.

Tabela V – Materiais e reagentes utilizados para construção do equipamento.

Materiais	Reagentes/marca
Discos de madeira	Água destilada
Placas de alumínio	Cloreto de sódio (NaCl)/merck
Parafusos	Sulfato de sódio (Na_2SO_4)/ merck
Barras de ferro	Sulfato de cobre (CuSO_4) / merck

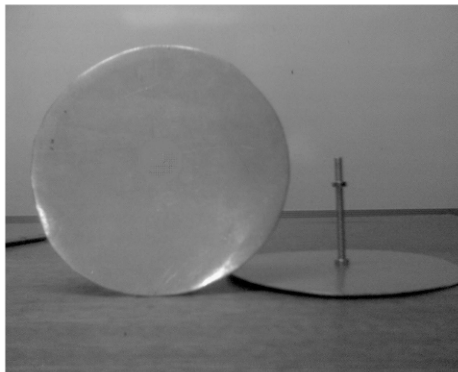
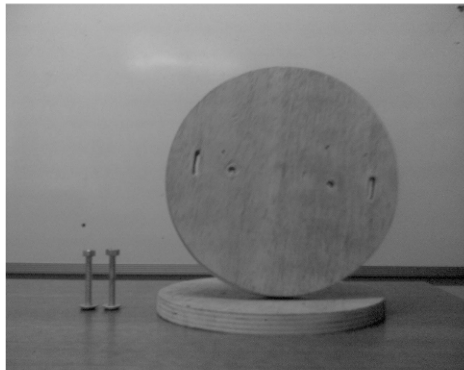
Ampolas de vidro	Sulfato de magnésio (MgSO_4) / merck
Motor	Hidróxido de sódio (NaOH) / merck
Gerador	fenolftaleína/ merck

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Partindo das equações 19, 20 e 21 obtivemos valores teóricos para carga elétrica, campo elétrico, força elétrica e capacitância, todos expostos na tabela 04. Para isso as placas do campo elétrico estarão em movimento circular, com o intuito de promover alguma modificação na posição do conjunto (ampola+solução). Essa modificação será detectada através de um sensor óptico devidamente posicionado. Não foi possível determinar os valores experimentais para carga, campo, força e capacitância, pois o transformador a ser utilizado para tais medidas apresentou problemas em seu funcionamento. Como esse estudo faz parte de um projeto de pesquisa, o qual está em desenvolvimento, solucionaremos brevemente o problema e apresentaremos os resultados dos experimentos. Os constituintes do equipamento estão nas figuras 04, 05, 06, 07 e 08. Na figura 09 o estimulador está parcialmente construído. Os cálculos teóricos estão contidos na tabela VI.

Tabela VI – Valores teóricos para a diferença de potencial, área das placas, distância entre as placas, carga (Q), campo elétrico (E), força elétrica (F) e capacitância (C).

Propriedade	Valores
Diferença de potencial entre as placas (V)	10^4 v
Área das placas (m)	$0,0133 \text{ m}^2$
Distância entre as placas (m)	$0,1 \text{ m}$
Q (C)	$1,18 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
E	10^5 Vm^{-1}
F	$1,18 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
C	$1,18 \text{ pF}$



Figura

Figura 05 – Placas do capacitor.

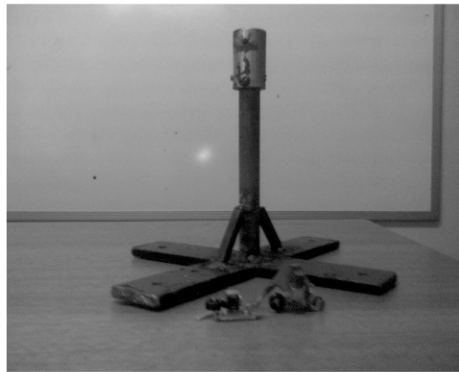
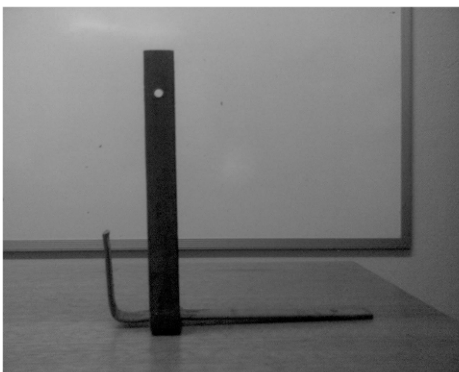
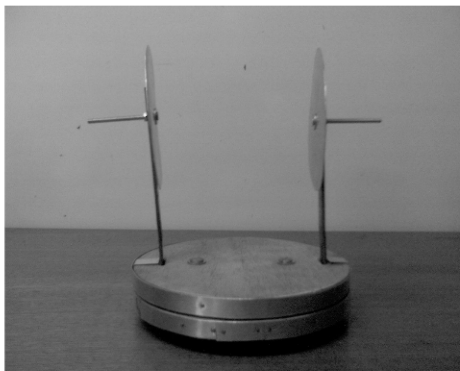


Figura 06 – Fixadores das placas.

Figura 07 – Base de sustentação.



Base envolta com alumínio*.

* As placas são apenas para testes.

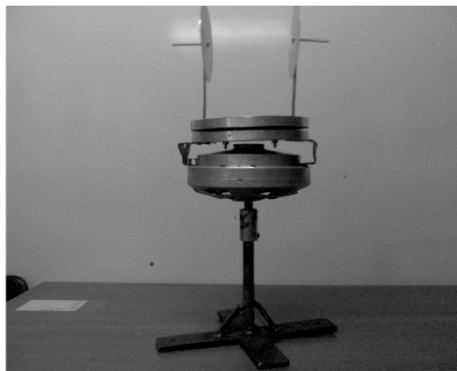


Figura 08 –

Figura 09 – Montagem parcial.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi construído o equipamento, portanto o objetivo foi alcançado. Devido a problema constatado no funcionamento do transformador outros dados experimentais ainda não foram coletados. Porém sabe-se, através das propriedades coligativas, os efeitos provocados pela adição de um soluto não-volátil a um solvente. Dessa maneira, pretende-se determinar experimentalmente os efeitos provocados nos sistemas (solvente e solvente+solute não-volátil) confinados e localizados entre as placas de um campo elétrico. Os experimentos qualitativos, já discutidos, indicaram que é viável esse estudo. Vale salientar que este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa em desenvolvimento e que, até a apresentação do relatório final espera-se que todos os dados experimentais estejam devidamente apresentados.

5. BIBLIOGRAFIA

- [01] Moura, A. F. *A Inovação Tecnológica e o Avanço Científico: A Química em Perspectiva*. Quím. Nova., 23: 6, 2000.
- [02] Dahmen, S. R., *Rev. Bras. Ens. Fís.*, 28, p. 3-7, 2006.
- [03] Rocha, R.; Filho, L. S. M. and Machado, R. F. *Analogia eletrônica no ensino de Física*. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, 27:4, p. 211-218, 2005.
- [04] Veiga, I. P. A. and Castanho, M. E. L. M., *Pedagogia Universitária – A aula em foco*. Campinas: Papirus, 2000.
- [05] Harvey, K. B. & Porter, G. B., *Introduction to Physical Inorganic Chemistry*, 2ª edição. Columbia: Addison-Wesley, 1967.
- [06] Atkins, P. & Jones, L., *Princípios de Química*. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [07] Castellan, G., *Fundamentos de Físico-Química*, 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

- [08] Lenzi, E.; Fávero, L. O. B.; Tanaka, A. S.; Filho, E. A. V.; Silva, M. B. and Gimenes, M. J. G., **Química Geral Experimental**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.
- [09] Russel, J. B., **Química Geral, Vol. 1**, 2ª edição. São Paulo: Makron Books, 1994.
- [10] Crockford, H. D. and Knight, S. B., **Fundamentos de Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC S.A., 1977.
- [11] Coscione, A. R.; Andrade, J. C. and May, G. M. *O modelamento estatístico de misturas: experimento tutorial usando voltametria de redissolução anódica*. Quím. Nova, 28:6, p. 116-1122, 2005.
- [12] Mahan, B. M. and Myers, R. J., **Química: um curso universitário**, 4ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1993.
- [13] Agostinho, S. M. L.; Neto, A. A. and Aranha, H. *O eletrólito suporte e suas múltiplas funções em processos de eletrodos*. Quím. Nova, 27:5, p. 813-817, 2004.
- [14] Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J. and Crouch, S. R., **Fundamentos de Química Analítica**, 8ª edição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- [15] Santos, A. R.; Vidotti, E. C.; Silva, E. L.; Maionchi, F. and Hioka, N. *Determinação da massa molar por crioscopia: terc-butanol, um solvente extremamente adequado*. Quím. Nova, 25, 5, 844-848, 2002.
- [16] Solomons, T. W. G. and Fryhle, C. B. **Química Orgânica, Vol. 1**, 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [17] Gonçalves, M. L. S. S., **Métodos Instrumentais para Análise de Soluções**, 3ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- [18] Jr., J. R. P. *Modelos contínuos do solvente: fundamentos*. Quím. Nova, 29:3, p. 535-542, 2006.
- [19] Giroto, E. M. and Santos, I. A. *Medidas de resistividade elétrica dc em sólidos: como efetua-las corretamente*. Quím. Nova, 25:4, 639-647, 2002.
- [20] Alonso, M. and Finn, E. J. **Física um curso universitário**, Vol. 2, 9ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- [21] Grayson, M. *Electric field effects on J_{H-H} spin-spin coupling constants*. Int. J. Mol. Sci., 4, p. 218-230, 2003.
- [22] Bertuola, A. C. and Figueredo, M. V. *Método dos limites na solução de capacitores com placas não paralelas*. Rev. Bras. Ens. Fís., 26:2, p. 161-164, 2004.
- [23] Precker, J. W. and Silva, W. P. *A capacitância de um condensador com placas planas não paralelas*. Rev. Bras. Ens. Fís., 28:1, p. 85-88, 2006.
- [24] Ferreira, G. F. L. *Como o potencial vetor pode ser interpretado para revelar analogias entre grandezas magnéticas e elétricas*. Rev. Bras. Ens. Fís. 26:4, p. 359-363, 2004.
- [25] Tipler, P. A. **Eletricidade e Magnetismo, Ótica**. 4ª edição. V 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.
- [26] Van Vlack, L. **Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- [27] Macedo, H. **Físico-Química**. Rio de Janeiro: Guanabara S. A., 1988.
- [28] Serway, R. A. & Jr, J. W. J. **Princípios de Física**. V1. 3ª edição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.