



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **Material Instrucional para o Professor**

### **Construindo experimento para transformação de energias renováveis**

Ricardo Rossi

Antonio Carlos Fontes dos Santos

Bruno Souza de Paula

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Ricardo Rossi, intitulada Transformação de Energias Renováveis para o Ensino Médio, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Rio de Janeiro**

**Julho 2017**

## SUMÁRIO

Introdução.....	2
Capítulo 1 - Descrição dos materiais que compõem o experimento.....	3
Capítulo 2 - Construção dos materiais usados no experimento.....	9
Capítulo 3 - Montagem do experimento.....	17
Capítulo 4 - Utilização do experimento.....	30

## INTRODUÇÃO

O objetivo desse material é auxiliar na construção do experimento para transformação de energias renováveis, para ser utilizado em demonstrações em sala de aula para turmas do ensino médio.

O experimento utiliza radiação solar, que incide sobre um painel solar fotovoltaico gerando tensão e corrente elétrica que, por sua vez, será utilizada para provocar eletrólise da água. O hidrogênio produzido pela eletrólise é armazenado e utilizado como combustível para geração de energia elétrica, utilizando uma célula a combustível. Essa célula converte energia por meio de reações eletroquímicas com hidrogênio e oxigênio, produzindo energia elétrica, e como resíduo final, água e calor. A eletricidade gerada pela célula a combustível é utilizada para movimentar um motor elétrico.

Dessa forma, podemos utilizar a radiação solar para gerar e armazenar o hidrogênio durante o dia e utilizar o hidrogênio armazenado como combustível na geração de eletricidade durante a noite.

# CAPÍTULO 1

## DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM O EXPERIMENTO

São 13 os materiais necessários para a construção do experimento, sendo que alguns deles tem que ser preparados para a utilização no experimento, mostraremos a preparação destes materiais no capítulo 2 deste manual. Abaixo os materiais necessários:

- Módulo solar fotovoltaico de 20 Wp com suporte basculante.
- Controlador de carga
- Bateria
- Luminária e lâmpada de LED com 9 Watts
- Cabos elétricos
- Aquário
- Tubos de ensaio para eletrólise
- Mangueiras de silicone
- Estrangulador
- Eletrodos de grafite
- Célula a combustível
- Válvula de limpeza
- Motor elétrico

O aparato fotovoltaico do experimento é composto por um painel solar, um controlador de carga que monitora o processo de carga das baterias. Para simular a luz solar dentro do laboratório, utilizamos uma luminária com refletor e lâmpada de LED. A descrição da montagem do aparato fotovoltaico está no capítulo 3 deste manual.

**Módulo Solar Fotovoltaico:** Dispositivo utilizado para converter a energia da luz do Sol em energia elétrica. Possui potência nominal de 20 Wp (Watt pico), tensão máxima de 16,6 V e corrente de 1,2 A, dimensões de 35 x 45 x 2 (l x h p)cm

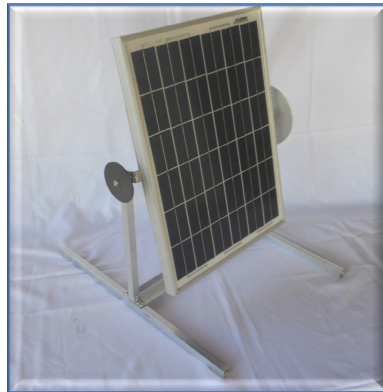


Figura 1 - Painel solar fotovoltaico

**Controlador de Carga:** Utilizado para receber a eletricidade produzida pelos módulos solares fotovoltaicos, carregar adequadamente as baterias e fornecer energia em 12 volts. para as cargas a serem alimentadas. Em nosso caso irá direcionar a energia gerada no painel fotovoltaico para a eletrólise.



Figura 2 - Controlador de carga

**Bateria:** Usada somente para proporcionar estabilidade no sistema de eletrólise, produzindo com maior rapidez o hidrogênio. Tensão da bateria 12 VDC



Figura 3 - Bateria

**Luminária e lâmpada:** Utilizado para simular os raios solares dentro do laboratório, lâmpada de LED com potência de 9 Watts.



Figura 4 - Luminária com lâmpada de led

**Cabos elétrico vermelho e preto:** Utilizados para realizar ligações elétricas entre os componentes do sistema fotovoltaico, eletrólise e sistema de célula a combustível.



Figura 5 - Cabos elétricos

Na etapa de produção do hidrogênio, a eletrólise da água ocorre quando aplicamos corrente contínua por ela, em nosso caso usamos cloreto de sódio como eletrólito para tornar a água boa condutora, tornando possível o processo.

**Aquário:** Recipiente transparente, para permitir a observação interna, para armazenar a água onde será produzido o hidrogênio, com dimensões de 20 x 15 x 10 cm<sup>3</sup>.

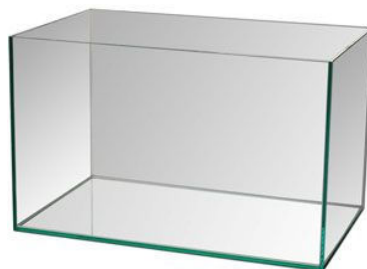


Figura 6 - Aquário usado na eletrólise

**Eletrodos de Grafite:** Os eletrodos tem a finalidade de conduzir os íons positivos e negativos, dependendo da polaridade aplicada a eles. O grafite foi escolhido para o experimento pois ele é inerte, ou seja, não participa da reação química na eletrólise. A confecção dos eletrodos está descrita no capítulo 2 deste manual.

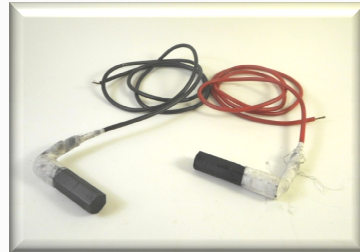


Figura 7 - Eletrodos de grafite

**Tubo de Ensaio:** Tubo de ensaio de acrílico com tampa de rosca, utilizado como reservatório de hidrogênio após a eletrólise. É encontrado em papelarias e diversas lojas de brindes e artigos de festas. A preparação dos tubos está descrita no capítulo 2 deste manual.



Figura 8 - Tubo de ensaio de acrílico

**Conjunto de mangueiras de silicone:** Utilizados para o transporte de gases entre o tubo de ensaio e a célula a combustível, bem como entre a saída da célula a combustível e as válvula de limpeza. Diâmetro de ~2mm



Figura 9 - Mangueira de silicone

**Estrangulador (válvula manual):** Utilizado para liberar ou impedir a passagem de gás hidrogênio para a célula a combustível. Fornecedor: Horizon Inc. site: [www.horizonfuelcell.com](http://www.horizonfuelcell.com)



Figura 10 - Estrangulador para tubo de silicone

O hidrogênio gerado na eletrólise e armazenado no tubo de ensaio, é inserido na célula a combustível, ocasionando a imediata reação química e a produção de eletricidade que é usada para alimentar um motor.

**Célula a Combustível:** Célula a combustível unitária de 270 mW. Ao fornecer hidrogênio para a célula a combustível e conectar aos seus terminais elétricos de saída uma carga elétrica, tal como um motor elétrico ou lâmpada LED, a célula a combustível produzirá eletricidade. Esta microcélula a combustível é de catodo aberto, isto é, o oxigênio reagente é proveniente do ar.

Dimensões: 32mm x 32mm x10mm

Peso total: 27,3 gramas

Tensão de saída 0,6V / corrente de 0,45A

Potência: 270mW

Fornecedor: Horizon Inc. site: [www.horizonfuelcell.com](http://www.horizonfuelcell.com)

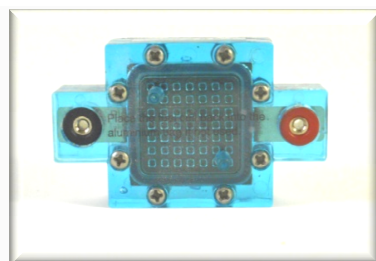


Figura 11 - Célula a Combustível



**Válvula de limpeza:** Utilizada para retirar todo ar existente na célula a combustível.  
Fornecedor: Horizon Inc. site: [www.horizonfuelcell.com](http://www.horizonfuelcell.com)

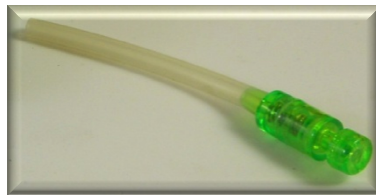


Figura 12 - Válvula de limpeza

**Motor elétrico:** Motor elétrico de corrente contínua de baixa potência, utilizado como carga indutiva para visualização da energia gerada e com uma hélice acoplada. O Motor está montado em uma estrutura de plástico para possibilitar a rotação da hélice na posição horizontal.

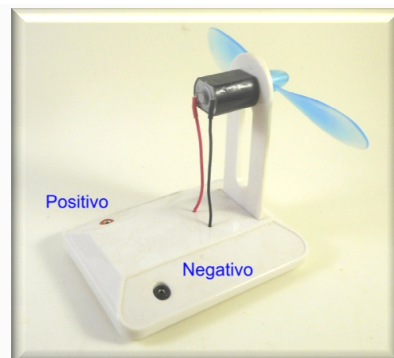


Figura 13 - Motor elétrico DC

## CAPÍTULO 2

### CONSTRUÇÃO DOS MATERIAIS USADOS NO EXPERIMENTO

Alguns materiais utilizados no projeto tiveram que ser adaptados para exercer suas funções, este capítulo irá descrever o procedimento de preparação destes materiais.

#### Suporte para painel fotovoltaico

Para que o painel pudesse permanecer na vertical e com possibilidade de alterar o ângulo de inclinação, foi necessário projetar uma estrutura que pudesse sustentar o painel.

A estrutura foi projetada e confeccionada utilizando perfil de alumínio tipo cantoneira de 1.1/2" x 1/8" e barra de alumínio de 1" x 1/8"., com a possibilidade de variar o ângulo vertical conforme figura 14.

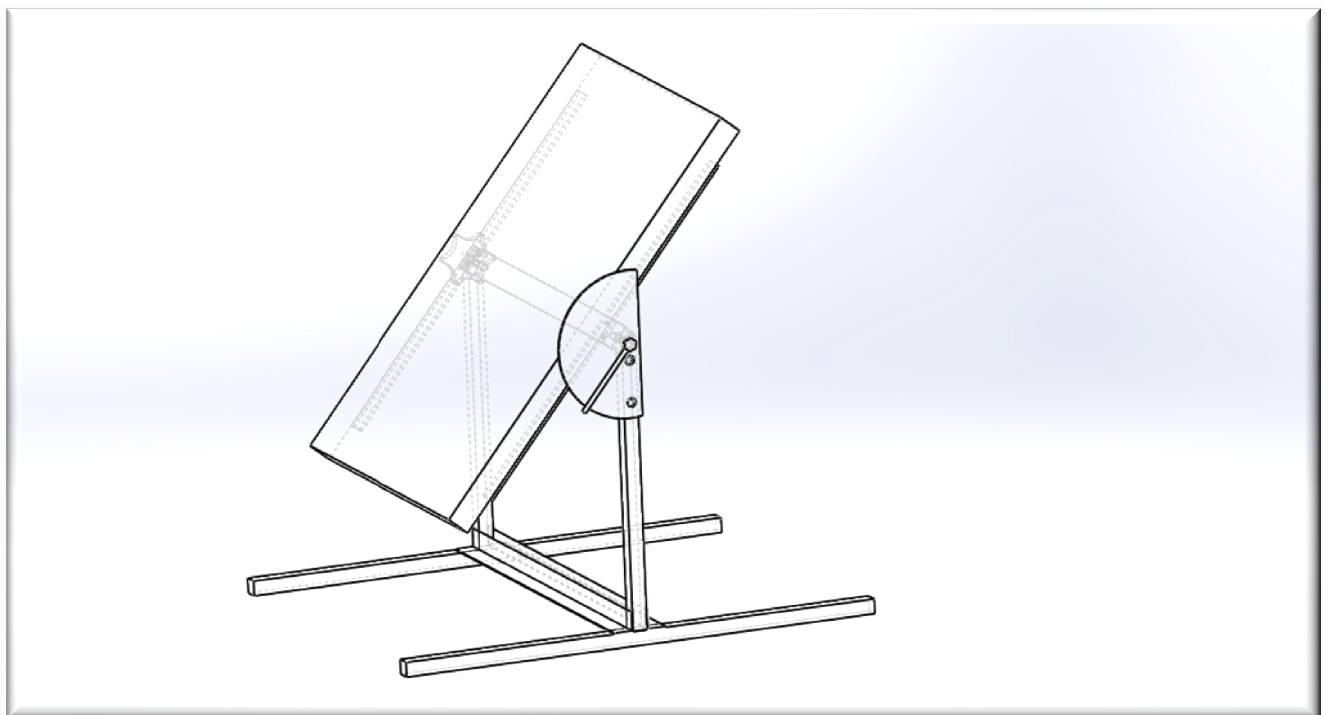


Figura 14 - Projeto para construção do suporte para o painel solar fotovoltaico

Para a confecção do suporte do painel aconselhamos que o professor procure um profissional que trabalhe como serralheiro.

Acoplamos ao painel fotovoltaico a estrutura de alumínio, feita para suportar o painel na posição vertical. Esta estrutura permite que o painel se movimente em torno de seu eixo central, possibilitando a variação de seu ângulo de inclinação.

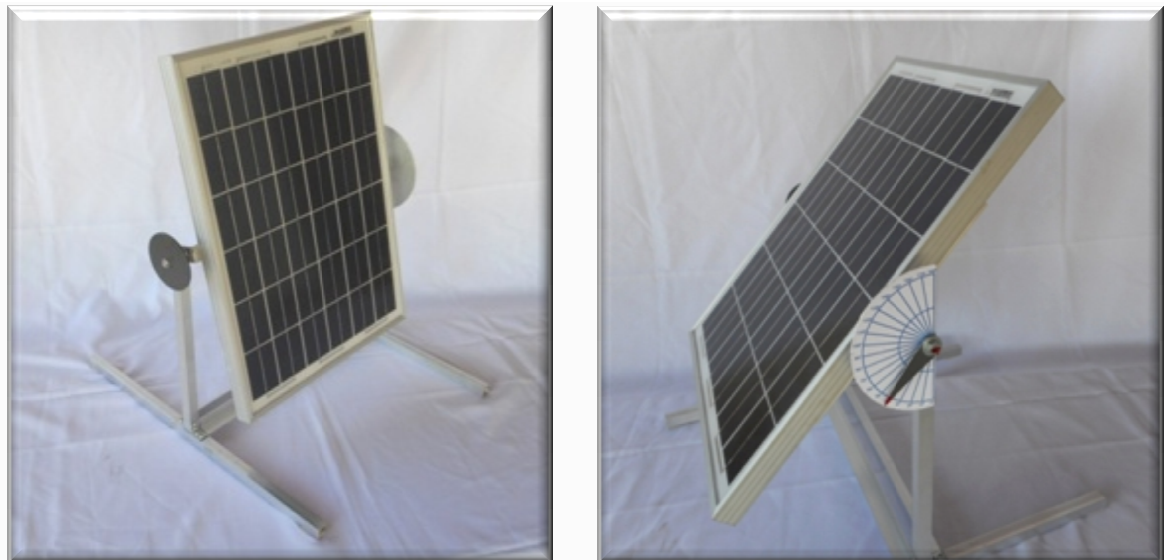


Figura 15 - Painel acoplado a estrutura de alumínio



Figura 16 - Estrutura de alumínio desenvolvida de acordo com o projeto

A marcação angular foi feita utilizando o software CorelDraw®, impressa e colada no local determinado a medição angular. O indicador angular é capaz de indicar o ângulo de inclinação do painel em relação a posição vertical (e horizontal), permitindo a observação e medição do ângulo de incidência da luz no painel figura 17.

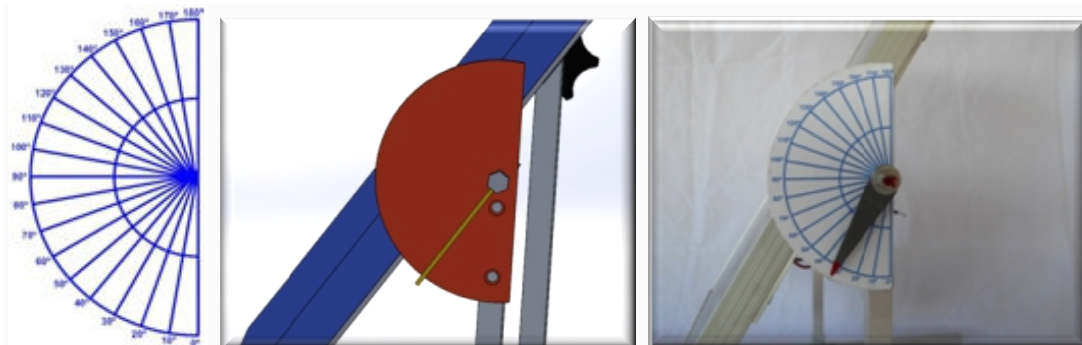


Figura 17 - Medidor angular de acordo com o projeto

Um manipulô no lado oposto ao medidor de ângulos permite a fixação do painel em determinada posição angular para o decorrer do experimento.

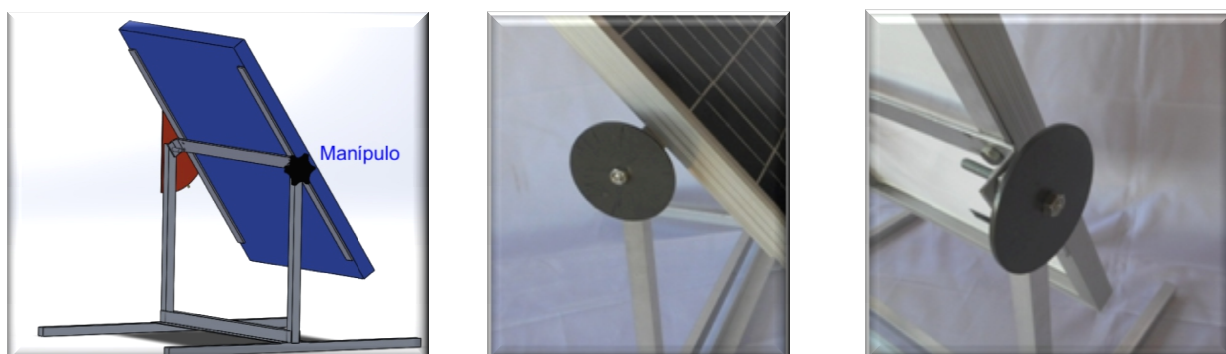


Figura 18 - Manipulo para fixação do painel na posição desejada

### Eletrôdos de grafite

Os eletrôdos de grafite são obtidos de um lápis barra conforme figura 19 dividido ao meio, na posição transversal. Fazemos uma pequena depressão no grafite para melhor fixação do cabo elétrico, conforme figura 20:



Figura 19 - Lápis barra de grafite

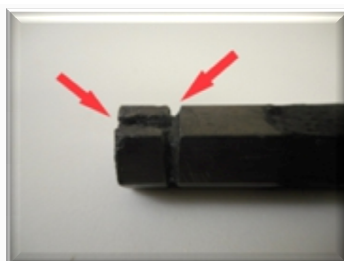


Figura 20 - Ranhuras para fixar o cabo

A conexão entre o cabo elétrico e o grafite é feita ao enrolar a parte desencapada do cabo elétrico em uma extremidade do grafite, de acordo com a figura 21.

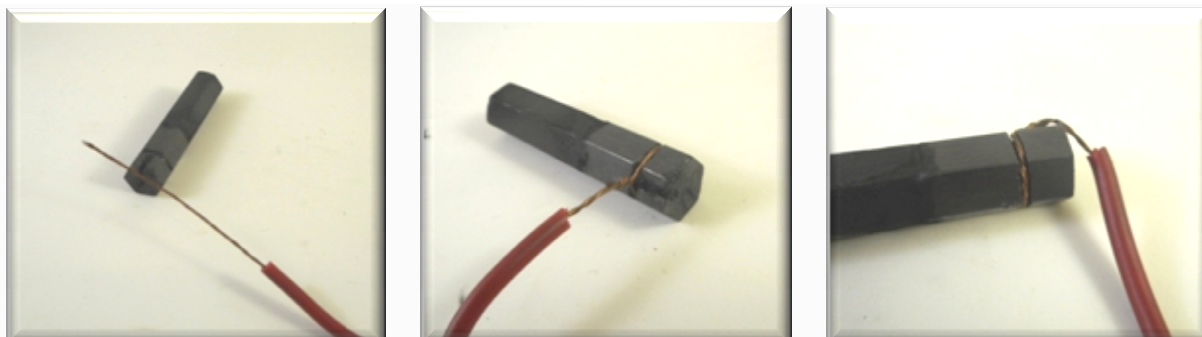


Figura 21 - Fixação do cabo elétrico na barra de grafite

Em seguida utilizamos cola de silicone para cobrir a parte desencapada do cabo e protegemos a conexão com fita teflon (figura 22), para que o cabo desencapado não entre em contato com a solução (água + NaCl) evitando a oxidação precoce do eletrodo.



Figura 22 - Fita teflon

Depois de utilizar a fita teflon em torno da conexão, o eletrodo fica conforme a figura 23.



Figura 23 - Eletrodo pronto para utilização no experimento

### Tubo de ensaio

Os tubos de ensaio de acrílico foram usados por ser de baixo custo e ter a facilidade de encontrar no mercado, mais precisam ser preparados para receber em sua extremidade a mangueira de silicone que será responsável pelo transporte do hidrogênio. Para que a extremidade do tubo possa receber a mangueira é necessário afinar a ponta de tal forma que permita a conexão da mangueira em sua extremidade. Para isso utilizamos um soprador térmico, e a medida que projeta o ar na extremidade do tubo ela se torna maleável, assim, foi introduzimos um pequeno capilar de cobre rígido com diâmetro de 2mm, forçando internamente a parede da extremidade fechada do tubo, conforme figura 24.



Figura 24 - Preparação do tubo de ensaio para conexão da mangueira

Assim moldamos esta extremidade para a conexão das mangueiras, lixamos a ponta abrindo o tubo para a futura conexão da mangueira.



Figura 25 - Extremidade do tubo após preparação

Na outra extremidade do tubo, abrimos uma janela, com o auxílio de uma serra manual, para a introdução do eletrodo no tubo de acordo com a figura 26.

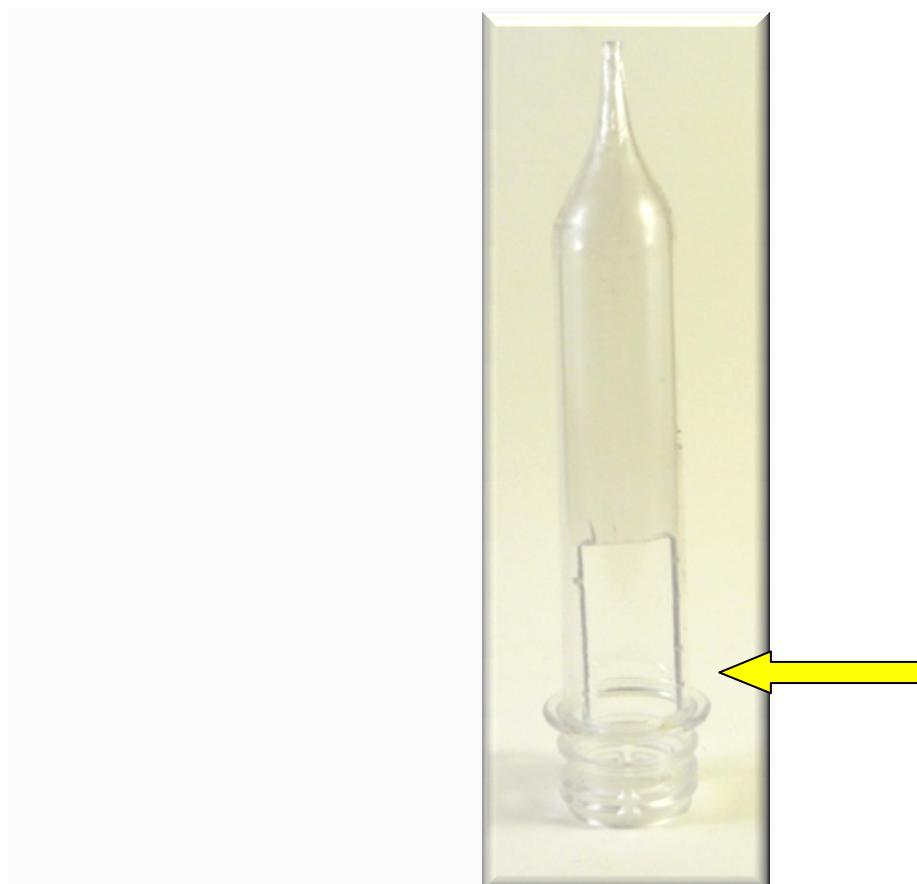


Figura 26 - Janela para introdução do eletrodo

### **Aquário para eletrólise**

Para evitar que os tubos de ensaio flutuem na solução, colamos a tampa do tubo no fundo do aquário como na figura 27, assim, após atarraxar, o tubo se manterá submerso na posição vertical.



Figura 27 - Aquário com as tampas dos tubos coladas

Testamos diversos tipos de adesivos (figura 28) para verificar qual apresentava maior resistência nas condições experimentais.



Figura 28 - Teste com adesivos

O adesivo que apresentou melhor performance foi a cola a base de epoxi Araldite®. Para que a colagem da tampa apresentasse maior resistência ao torque fizemos furos na tampa, pois quando a cola penetra nos furos a fixação também é feita pela parte interna da tampa conforme figura 29.



Figura 29 - Fixação da tampa no aquário



Após a colagem das tampas, atarraxamos os tubos de ensaio para que fiquem na posição vertical como mostra a figura 30.

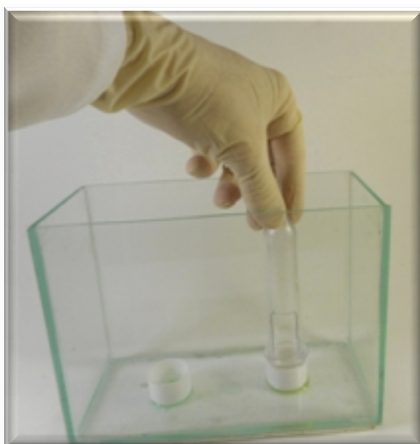


Figura 30 - Posicionamento dos tubos no aquário

O resultado final se apresenta conforme figura 31:

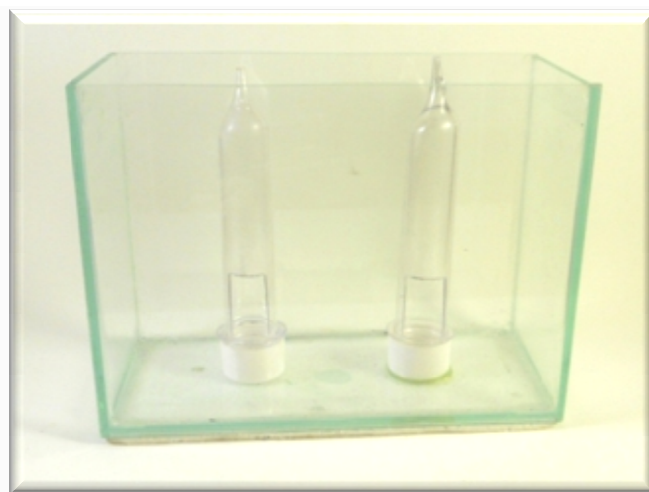


Figura 31 - Aquário pronto para eletrólise.

## CAPÍTULO 3

### MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento para demonstração de transformação de energias renováveis utiliza um sistema de controle e monitoramento que inclui um controlador de carga de bateria para os módulos solares fotovoltaicos. O controlador de carga monitora a tensão da bateria e isola o arranjo fotovoltaico do circuito quando a tensão da bateria atinge um valor pré-determinado. Essa ação previne que ocorra sobrecarga das baterias. O sistema fotovoltaico da Estação de Estudos opera na tensão de 12 volts.

#### Montagem das ligações do sistema fotovoltaico à bateria, incluindo o controlador de carga.

Iniciamos apresentando o esquema de ligação para o sistema fotovoltaico, onde o painel solar, a bateria e os terminais para alimentar a eletrólise, são ligados ao controlador conforme figura 32.

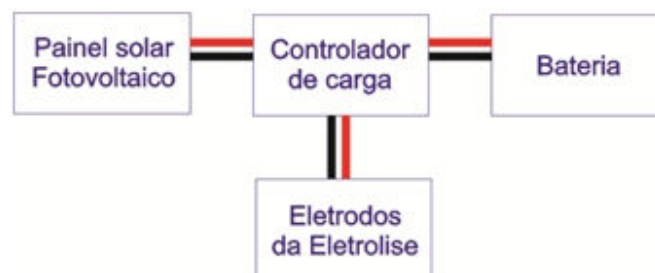


Figura 32 - Esquema de ligação para os componentes do sistema fotovoltaico

A posição correta para ligação do painel, bateria e eletrodos no controlador, são mostrados na figura 33:



Figura 33 - Posição para ligação dos cabos elétricos no controlador

Passo 1) Primeiro identificamos os terminais do painel fotovoltaico como positivo (vermelho) e negativo (preto), localizado atrás do painel.



Figura 34 - Identificação dos cabos atrás do painel fotovoltaico

Passo 2) Agora conecte o terminal positivo (vermelho) do painel fotovoltaico no controlador com o auxílio de uma chave de fenda fina no local indicado na figura 35



Figura 35 - Conexão do cabo positivo do painel fotovoltaico no controlador

Passo 3) Mesmo procedimento para o terminal negativo.

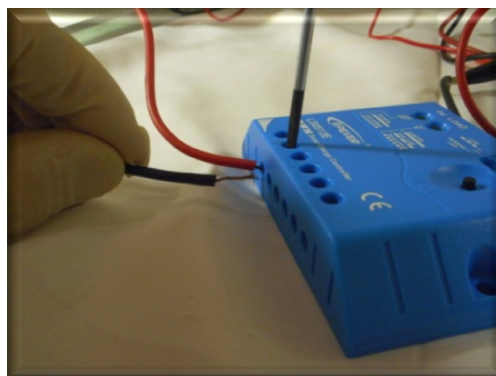


Figura 36 - Conexão do cabo positivo do painel fotovoltaico no controlador

Passo 4) Preparação da bateria - A partir do terminal negativo da bateria, estenda um condutor preto com tamanho suficiente para alcançar o controlador de carga. É aconselhável que uma das extremidades do cabo para a ligação da bateria tenha conector jacaré.



Figura 37 - Preparação da bateria, terminal negativo

Passo 5) Repita o procedimento para o terminal positivo da bateria usando um condutor vermelho.



Figura 38 - Preparação da bateria, terminal positivo

**OBSERVAÇÃO:** Tenha cuidado para não causar um curto circuito entre os terminais pois poderá danificar a bateria.

O Resultado fica conforme a figura 39:



Figura 39 - Bateria com cabos

Passo 6) Conecte o terminal positivo da bateria ao controlador, na posição descrita na figura 42, com o auxílio de uma chave de fenda fina.

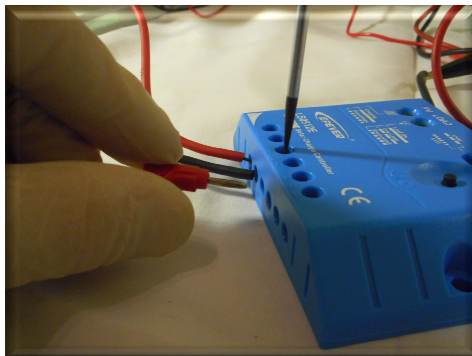


Figura 40 - Ligação do terminal positivo da bateria no controlador

Passo 7) Mesmo procedimento para o terminal negativo. Ao término da ligação do terminal negativo, a montagem deve estar de acordo com a figura 41.

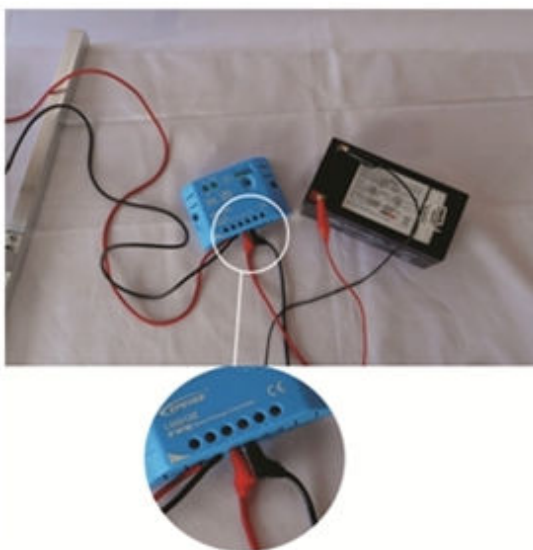


Figura 41 - Bateria e Painel ligados ao controlador com detalhe

Assim o sistema está quase pronto, faltando apenas à ligação dos terminais da eletrólise.

## Montagem dos materiais para a eletrólise

Material a ser utilizado: Aquário, tubos de ensaio, mangueira de silicone, estrangulador e eletrodos.

Passo 1) Conecte o estrangulador a mangueira de silicone inserindo na mangueira conforme figura 42

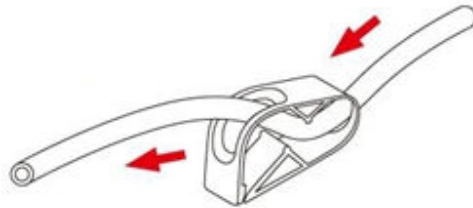


Figura 42 - Inserção do estrangulador na mangueira de silicone

Passo 2) Devemos agora utilizar o aquário e posicionar os tubos de ensaio para a eletrólise. A fixação dos tubos é feita de forma simples, uma vez que as tampas do tubo já estão coladas ao fundo do aquário e basta atarraxar cada tubo em uma tampa, deixando a abertura dos tubos voltadas para frente, conforme figura 43.

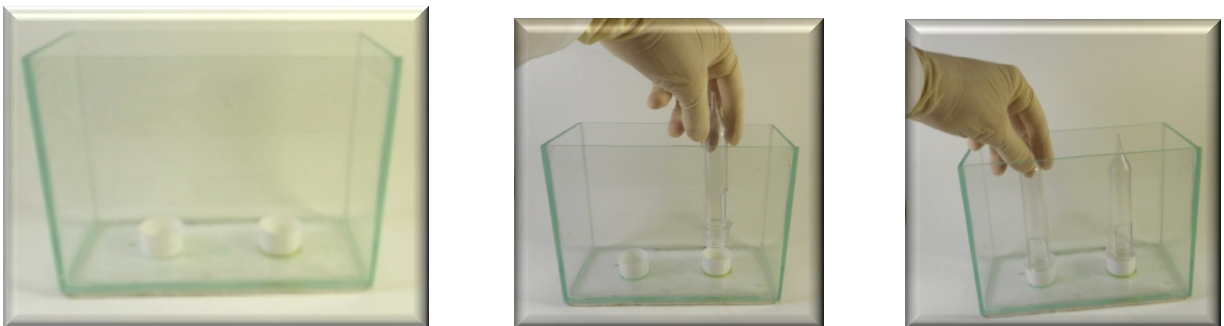


Figura 43 - Posicionamento dos tubos de ensaio

Passo 3) Posicionamento dos eletrodos nos tubos. Introduza um eletrodo em cada tubo, passando na cavidade aberta dos tubos como na figura 44, deixando a outra extremidade do cabo condutor próxima ao controlador de carga, onde será feita a conexão posteriormente.

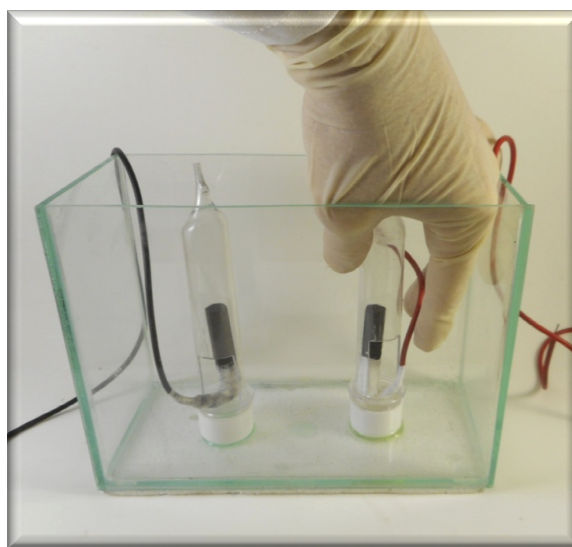
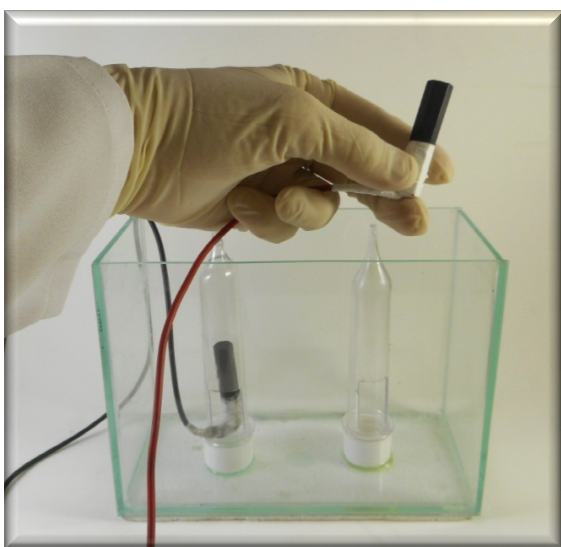


Figura 44 - Colocação dos eletrodos nos tubos de ensaio

A figura 45 apresenta em detalhe os eletrodos na cavidade do tubo

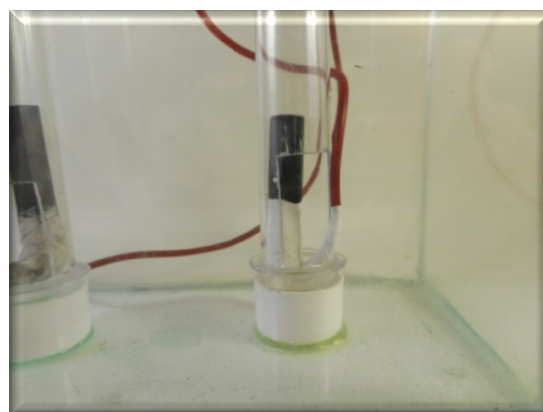
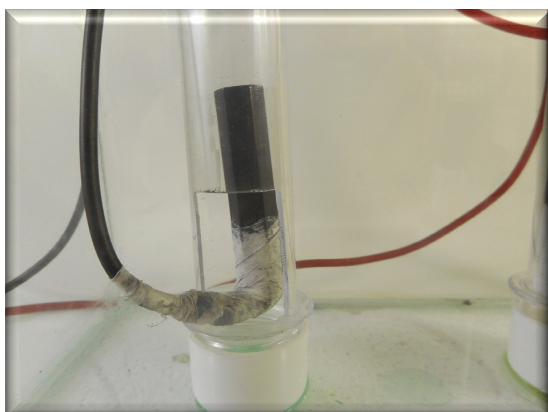


Figura 45 - Detalhe do posicionamento dos eletrodos no tubo de ensaio

Passo 4) Encher o aquário bem lentamente com água, para evitar derramar e deslocar o eletrodo da posição previamente colocada.

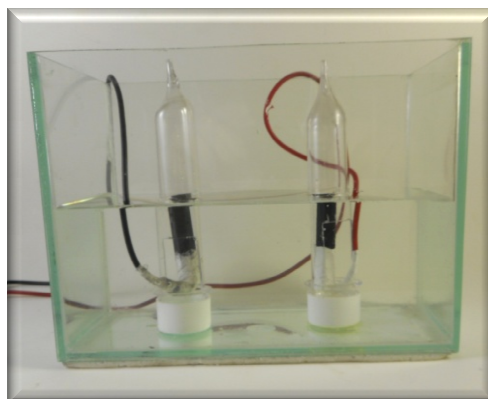


Figura 46 - Colocação de água no aquário

O nível da água deve cobrir o tubo, deixando somente a ponta do tubo onde será fixada a mangueira de silicone, conforme figura 47

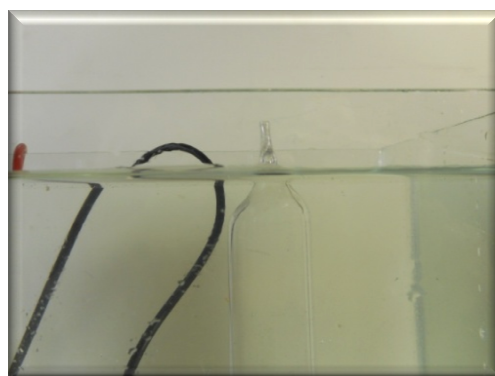


Figura 47 - Nível correto da água no aquário

Após encher totalmente o aquário, adicionar 30 a 50 gramas de sal de cozinha para ionizar a água permitindo a eletrólise.

Passo 5 ) O próximo passo é conectar a mangueira de silicone (que já está com o estrangulador) a extremidade do tubo onde será produzido o hidrogênio (tubo onde está o eletrodo negativo) de acordo com a figura 48.



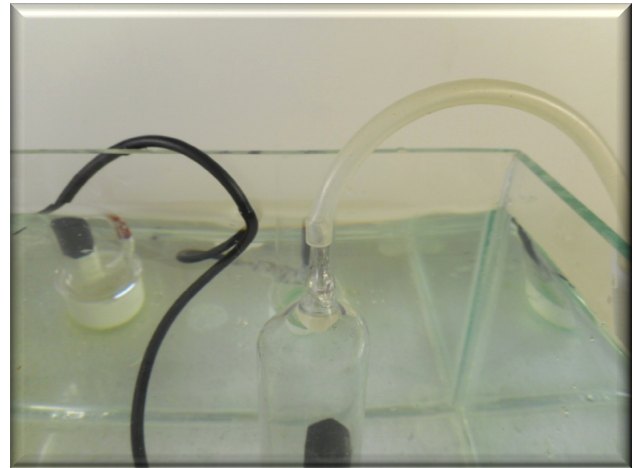
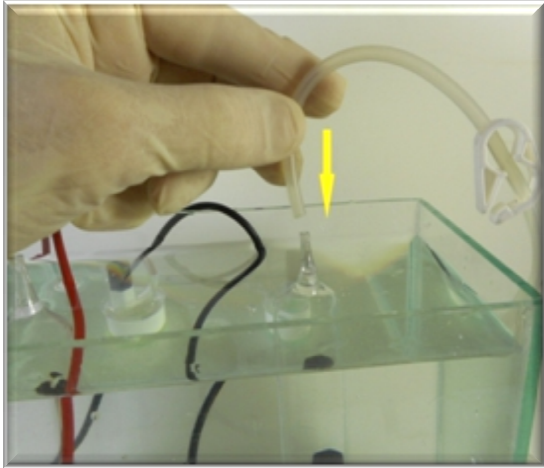


Figura 48 - Inserção da mangueira no tubo

Passo 6 ) O último passo para esta etapa é fechar o estrangulador para que, ao iniciar a eletrólise, o hidrogênio possa ficar armazenado no tubo. Para isto basta comprimir o estrangulador até travar conforme mostra figura 49.

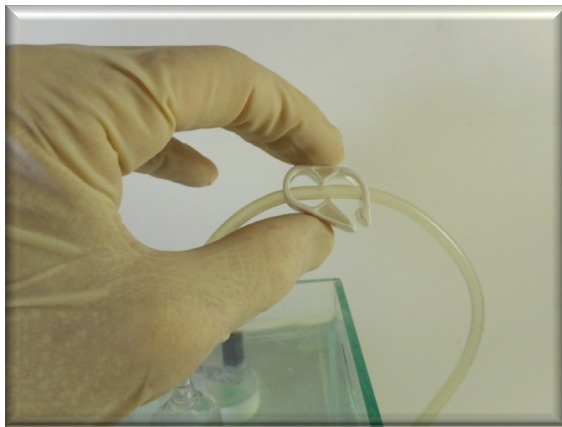


Figura 49 - Fechamento do estrangulador para armazenamento do hidrogênio

### **Preparação da célula a combustível e ligação ao motor**

Material utilizado: Célula a combustível, Válvula de limpeza, Cabos Elétricos e Motor elétrico

Passo 1) Primeiro conectamos a válvula de limpeza a célula a combustível, na conexão inferior, de acordo com a figura 50 e 51

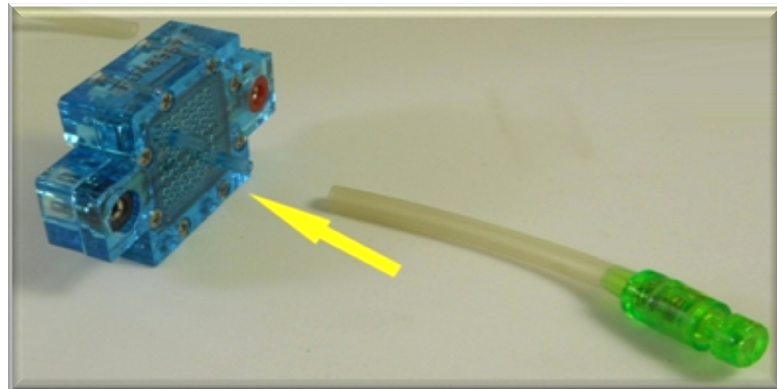


Figura 50 - Posição da conexão na célula a combustível

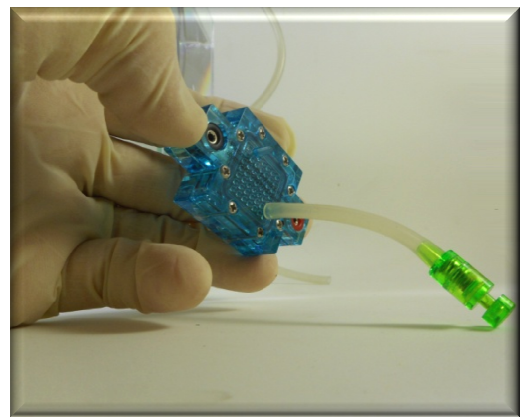
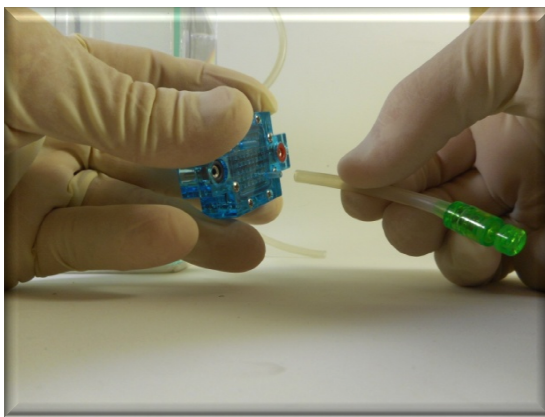


Figura 51 - Conexão da válvula na célula a combustível

Passo 2) Conectamos a outra extremidade da mangueira de silicone que está presa ao tubo de ensaio à célula a combustível na conexão superior como na figura 52.

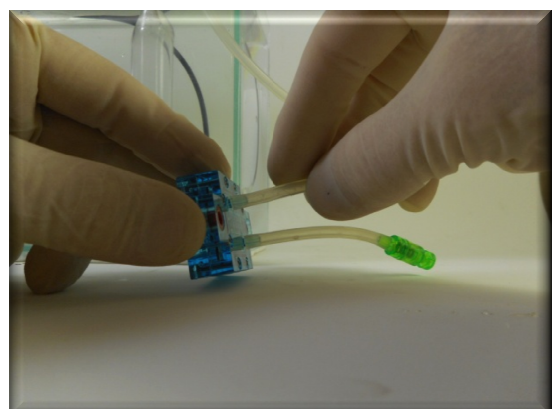
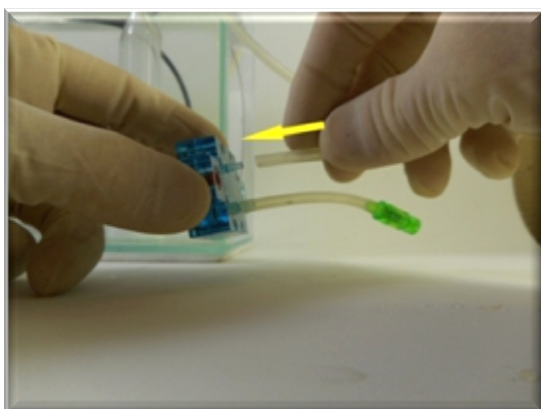


Figura 52 - Conexão da mangueira do tubo a célula a combustível

Passo 3) Conexão dos cabos elétricos. A conexão elétrica deve ser feita com os cabos apropriados que possuem um conector banana de 2mm nas extremidades. Conectamos o cabo vermelho no borne positivo (vermelho) da célula, conforme figura 53.

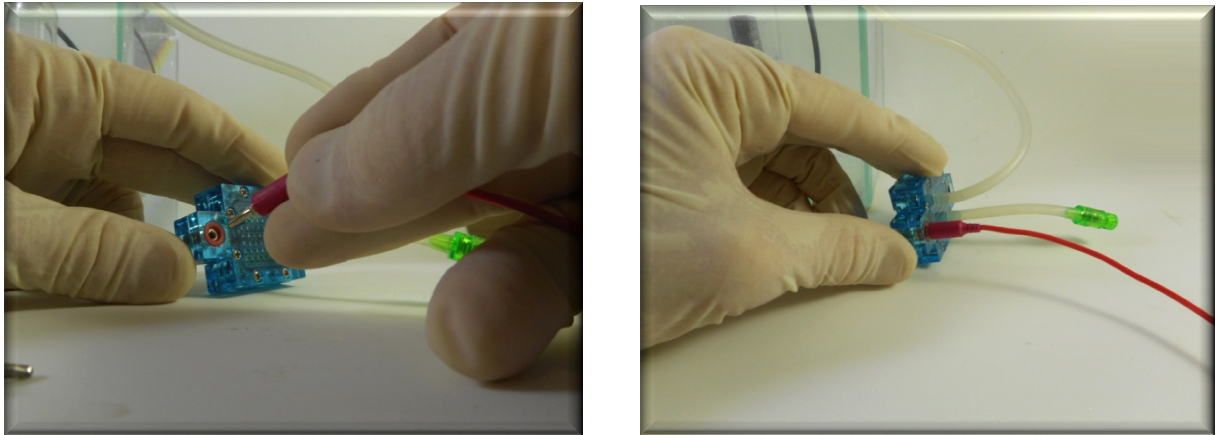


Figura 53 - Conexão do cabo ao borne positivo

Mesmo procedimento com os cabos negativos (preto), agora fazendo a ligação nos bornes pretos figura 54.

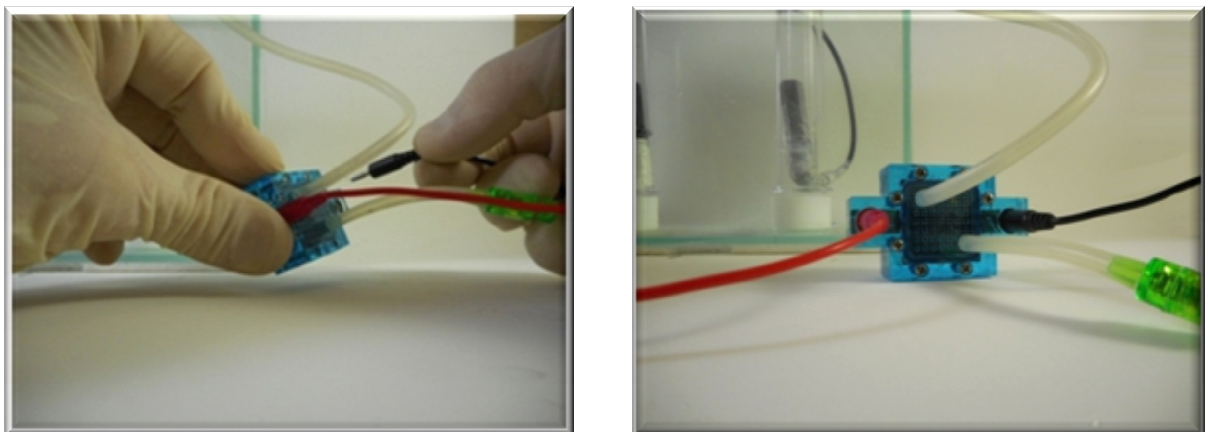


Figura 54 - Conexão do cabo ao borne negativo

Passo 4) Ligação ao motor. Com a outra extremidade do cabo negativo (já ligado à célula a combustível), fazemos a ligação ao borne negativo do motor DC como na figura 55.

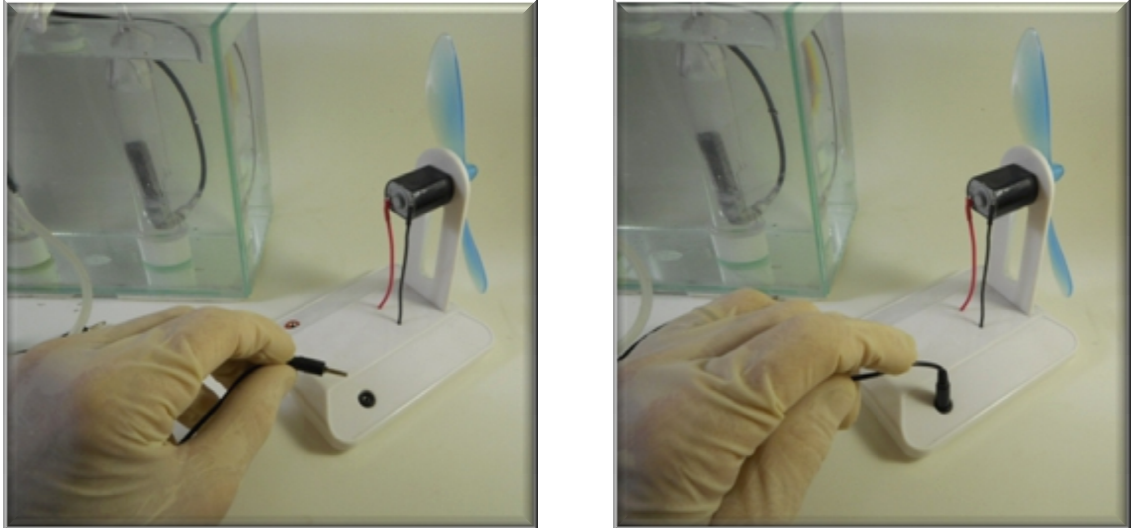


Figura 55 - Conexão do cabo ao borne negativo do motor

Mesmo procedimento com o cabo positivo, fazemos a ligação ao borne positivo do motor DC.

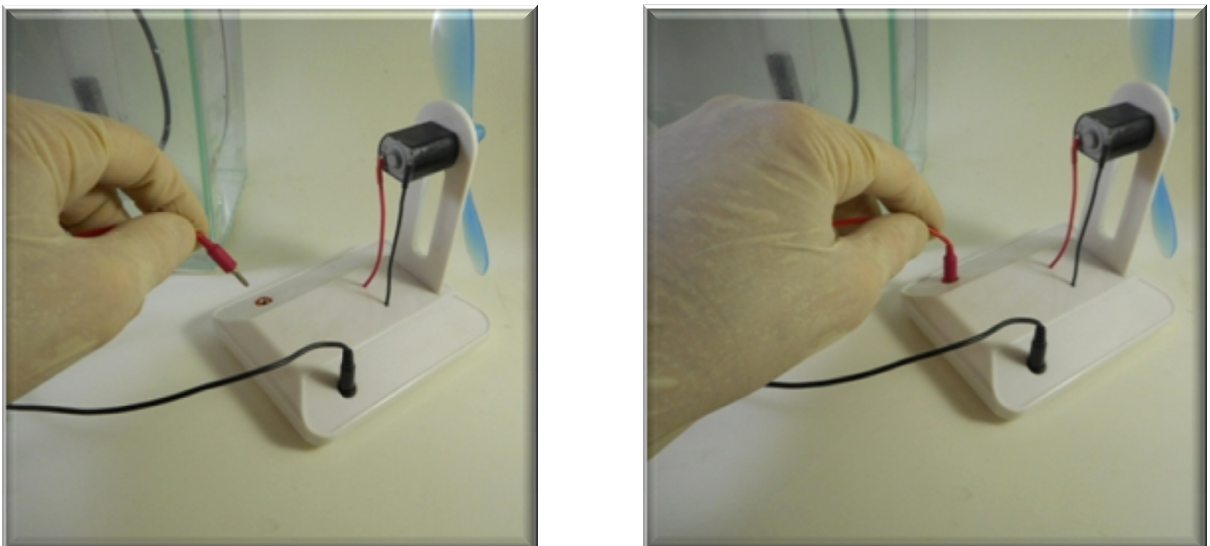


Figura 56 - Conexão do cabo ao borne positivo do motor

Com as ligações feitas temos a montagem conforme a figura 57.

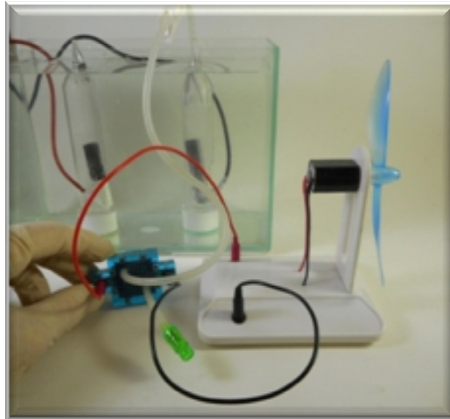


Figura 57 - Montagem final do reservatório de hidrogênio, célula a combustível e motor elétrico

### **Ligação do eletrodo ao controlador**

O último passo para montagem final do experimento é a ligação dos eletrodos ao controlador, que irá permitir a utilização da eletricidade gerada no painel solar.

Conecte o terminal positivo (vermelho) do eletrodo no controlador com o auxílio de uma chave de fenda fina no local indicado na figura 58.

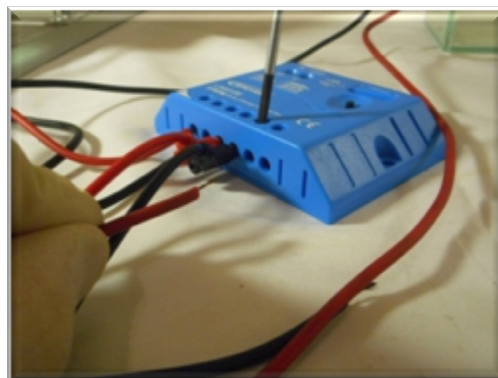


Figura 58 - Conexão do cabo do eletrodo ao controlador

Em seguida seguimos o mesmo procedimento para conectar o terminal negativo do eletrodo no controlador, finalizando a montagem devendo ficar de acordo com a figura 59.

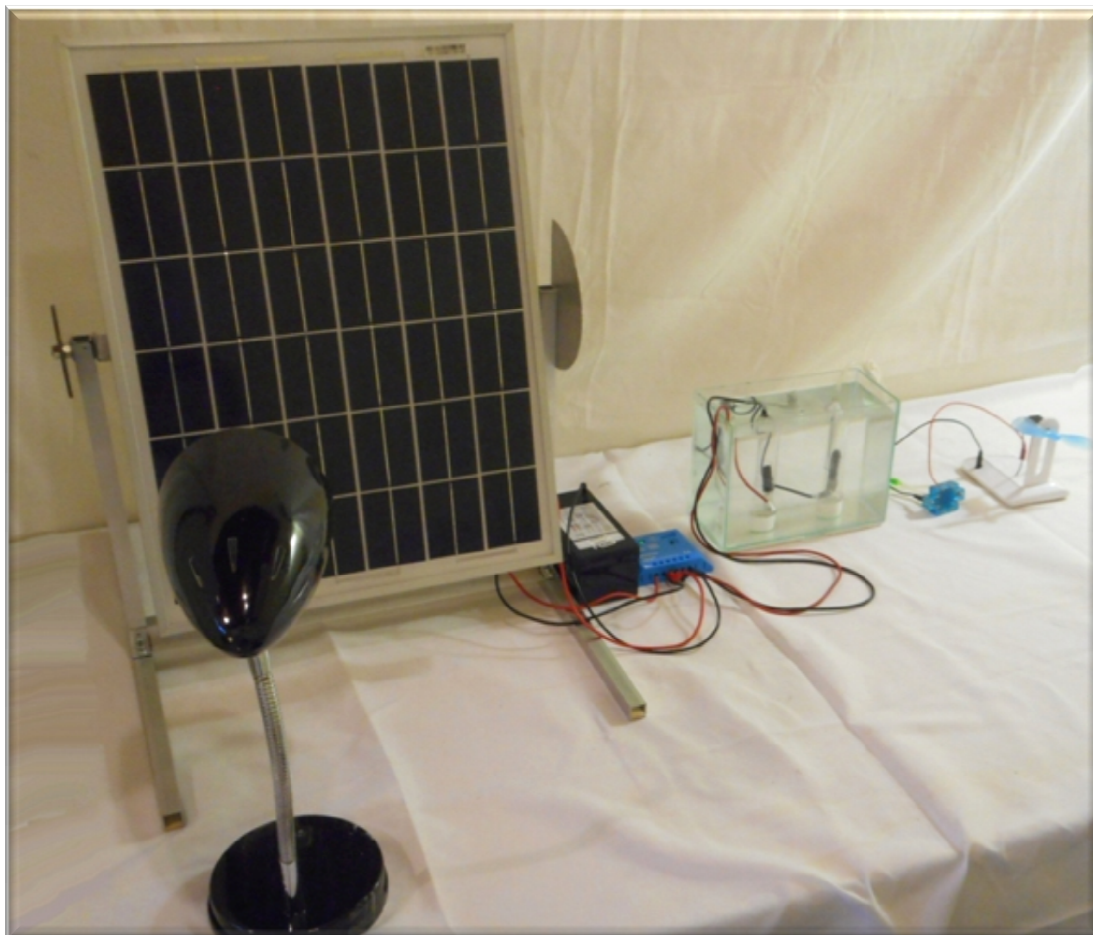


Figura 59 - Experimento montado

## **CAPÍTULO 4**

### **UTILIZAÇÃO DO EXPERIMENTO**

#### **Revisão da Montagem**

Toda a configuração e montagem devem estar de acordo com o capítulo 2 deste manual. Os pontos principais para revisão são:

Ligação do painel solar ao controlador na polaridade correta

Ligação da bateria ao controlador na polaridade correta

OBS: A ligação invertida entre as polaridades positiva (vermelha) e negativa (preta) pode causar danos ao painel e provocar curto na bateria.

Ligação dos eletrodos ao controlador

Posicionamento dos eletrodos

Verificar se foi adicionado à água do aquário o sal na quantidade de 30 a 50g.

Certificar que todas as mangueiras estão presas e colocadas em suas posições (tubo de ensaio e célula a combustível)

Verificar se o estrangulador está na posição correta.

Ligação dos cabos da célula a combustível ao motor elétrico na polaridade correta.

#### **Geração de Hidrogênio.**

A eletrólise tem início a partir do momento em que o painel solar passa a fornecer energia elétrica aos eletrodos, ou seja, basta colocar o painel no sol (ou se o experimento for no laboratório acender a luminária), assim o hidrogênio passa a ser produzido e armazenado no tubo de ensaio. Devemos verificar se a luz incidente está chegando no painel de forma mais perpendicular possível, para isso podemos mudar a inclinação do painel se for necessário. Outro cuidado que devemos ter é verificar se o estrangulador de retenção está fechada para que o hidrogênio não se perca (ver figura 49 deste manual)

### **Movimentando o motor elétrico**

Para movimentação do motor elétrico, basta liberar a válvula de retenção. O hidrogênio armazenado vai chegar até a célula a combustível tendo início o processo de geração de eletricidade, assim o motor entra em movimento.

OBS: Caso o motor não se movimente a célula pode não estar gerando eletricidade suficiente por haver ar em seu interior, para resolver este problema temos que acionar a válvula de limpeza para que ela trabalhe como uma bomba de sucção, trazendo o hidrogênio do tubo até a célula a combustível.