



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/10.16.18.50-RPQ

SISTEMA DE BOMBEAMENTO DO AMOSTRADOR DELTA – MANUAL DE INSTRUÇÃO E MONTAGEM

Jalusa Aparecida de Léo Palandi
José Roberto Chagas
Maria Cristina Forti

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PQTL85>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/10.16.18.50-RPQ

SISTEMA DE BOMBEAMENTO DO AMOSTRADOR DELTA – MANUAL DE INSTRUÇÃO E MONTAGEM

Jalusa Aparecida de Léo Palandi
José Roberto Chagas
Maria Cristina Forti

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PQTL85>>

INPE
São José dos Campos
2017



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Lista de figuras

Figura 1 - Esquema do sistema de amostragem.....	7
Figura 2 - Sistema de amostragem em campo.....	8
Figura 3 - Sistema DELTA situado em São José dos Campos.....	9
Figura 4 - Sistema de bombeamento.	12
Figura 5 - Entrada e saída de ar do medidor de volume.	12
Figura 6 – Entrada e saída de ar no rotâmetro/ajuste de fluxo.	13
Figura 7 - Bomba de sucção.....	13
Figura 8 - Fluxograma do sistema de alimentação da micro bomba.....	14
Figura 9 - Controlador de carga solar.....	14
Figura 10 - Disposição das saídas do controlador de carga solar.....	15
Figura 11 - Conexões de entrada da carga no painel solar.....	15
Figura 12 - Bateria de 12V.	15
Figura 13 - Fixação do circuito regulador.	16
Figura 14 - Micro bomba conectada no sistema.....	16
Figura 15 - Botão liga/desliga no controlador de carga solar.	17
Figura 16 - Indicadores das luzes de LED no controlador.	17
Figura 17 - Ponto de regulagem no rotâmetro.	18
Figura 18 - Sistema alimentado pela fonte estabilizada.....	19
Figura 19 – Fluxograma das formas de alimentação do sistema de bombeamento. .	20

Lista de tabelas

Tabela 1 - Instrumentos necessários para a montagem do sistema de bombeamento através de painel solar.	10
Tabela 2 - Instrumentos necessários para a montagem do sistema de bombeamento através de energia elétrica.	18
Tabela 3 - Procedimento de troca da micro bomba.	21

Lista de símbolos

NH ₃	Gás Amônia
HNO ₃	Ácido Nítrico
SO ₂	Dióxido de Enxofre
HCl	Ácido Clorídrico
Na ⁺	Íon Sódio
NH ₄ ⁺	Íon Amônio
K ⁺	Íon Potássio
Ca ²⁺	Íon Cálcio
Mg ²⁺	Íon Magnésio
Cl ⁻	Íon Cloreto
NO ₃ ⁻	Íon Nitrato
SO ₄ ²⁻	Íon Sulfato
L.min ⁻¹	Unidade de fluxo, litros por minuto
PVC	Cloreto de polivinila
m	Unidade de medida, metro
cm	Unidade de medida, centímetro
mm	Unidade de medida, milímetro
μL	Unidade de volume, microlitro
V	Volts

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. PROCEDIMENTO PARA MONTAGEM DO SISTEMA.....	9
2.1 Montagem do sistema alimentado por painel solar.	9
2.2 Montagem do sistema alimentado por energia elétrica.	18
2.3 Procedimento para substituição da bomba.....	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Amostragem de Aerossóis por Denuder foi adaptado a partir de sistema de amostragem DENuder for Long Term Atmospheric sampling – DELTA, desenvolvido no Centro de Ecologia e Hidrologia em Edimburgo (Sutton 2001), utilizado em programas de monitoramento de espécies reativas de nitrogênio tanto no Reino Unido como no Continente Europeu (Flechar 2011), tendo como base o método descrito por Ferm (1979).

O sistema DELTA é um sistema de amostragem atmosférica de longo prazo para gases e aerossóis que utiliza tubos adsorventes (denuderes) de vidro, revestidos com soluções adsorventes para a captura dos gases, e filtros, revestidos com soluções reagentes para captura de aerossóis. As soluções de revestimentos são preparadas para adsorver as espécies de interesse. Neste caso são: os gases NH_3 , HNO_3 , HCl e SO_2 e as formas particuladas de NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- e SO_4^{2-} . Assim, quando um fluxo de ar laminar passa pelo denuder a fase gasosa é adsorvida e a fase particulada, por diferença de velocidade, é capturada nos filtros que ficam na sequência do denuder.

Neste trabalho é montada uma sequência de denuderes e filtros de tal forma que no primeiro denuder, revestido com solução alcalina são capturados os gases de caráter ácidos (HNO_3 , HONO , SO_2 e HCl), e no segundo denuder, revestido com ácido cítrico, é capturada a NH_3 . Após a sequência dos denuderes, são inseridos dois filtros empilhados, o primeiro, revestido com NaOH , onde são capturadas as partículas da corrente de ar, porém, aquelas cuja composição incluem íons NH_4^+ , se transformam em NH_3 , o qual permeia esse filtro, e em seguida é capturada no segundo filtro (revestido com ácido cítrico) como NH_4^+ .

O sistema DELTA, utilizado neste estudo, é constituído por:

- um tubo de estabilização de fluxo de teflon, (não revestido) na entrada do sistema, que é responsável por deixar o fluxo laminar para atravessar o sistema,
- dois denuderes com 15 cm de comprimento e 0,7 cm de diâmetro interno, com revestimento de caráter básico (impregnado com hidróxido de sódio e glicerol) para a captura de HNO_3 , SO_2 e HCl ,
- dois denuderes com 10 cm de comprimento e 0,7 cm de diâmetro interno, com revestimento de caráter ácido (impregnado com ácido cítrico) para a captura do NH_3 .
- um sistema com dois filtros em série, para captura de particulados: o primeiro, de caráter básico, para a captura dos ânions NO_3^- , SO_4^{2-} , e Cl^- e os cátions K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , e o segundo, de caráter ácido, para a captura de NH_4^+ .

Todos os componentes são conectados com tubos de silicone com 0,8cm de diâmetro interno e parede de 3,0 mm. Para proteger o sistema, eles são montados dentro de um estojo de PVC, previamente projetado para alocar os denuderes e filtros de modo linear. Na figura 1 é mostrado o esquema de montagem do sistema.

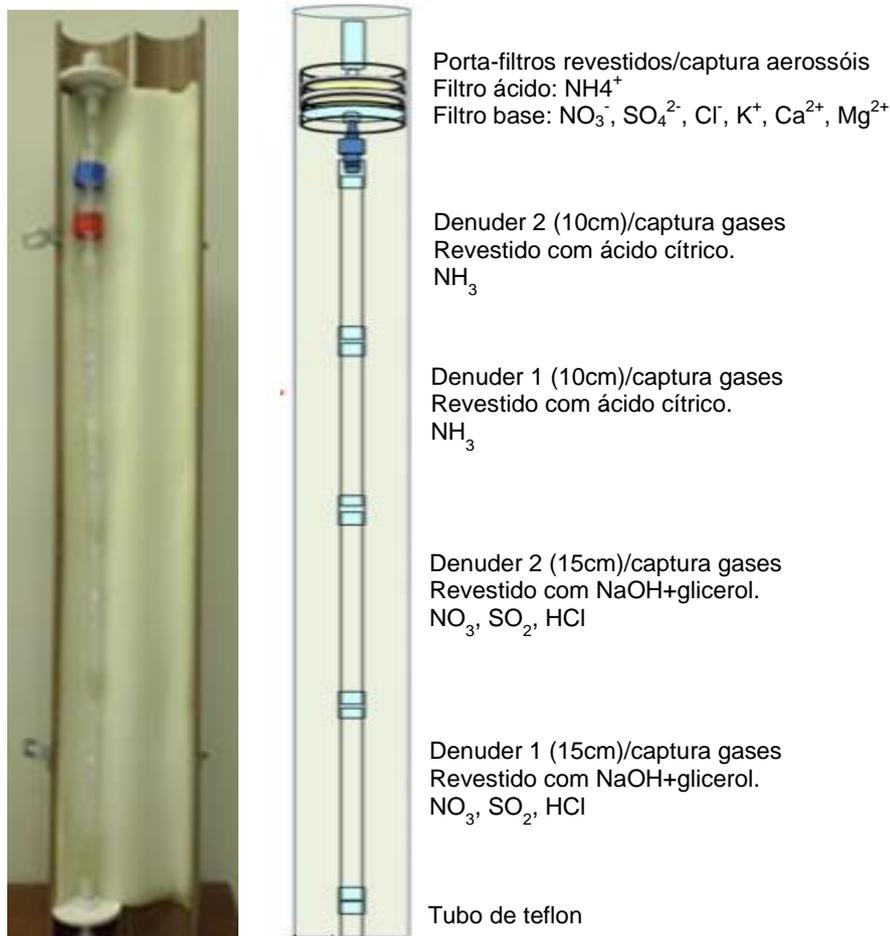


Figura 1 - Esquema do sistema de amostragem.

O sistema de bombeamento é inserido, externamente, após a sequência de denuderes e filtros, de acordo com o mostrado na figura 2, sendo composto por uma micro bomba de vácuo que permite bombear com um fluxo constante entre $0,3$ a $0,4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, (para bombas com capacidade de bombeamento maior ou cujo fluxo não é possível ser mantido constante, é necessário inserir um rotâmetro para ajustar o fluxo), e um medidor de volume que registra o volume de ar (Tang e Simmons, 2009).

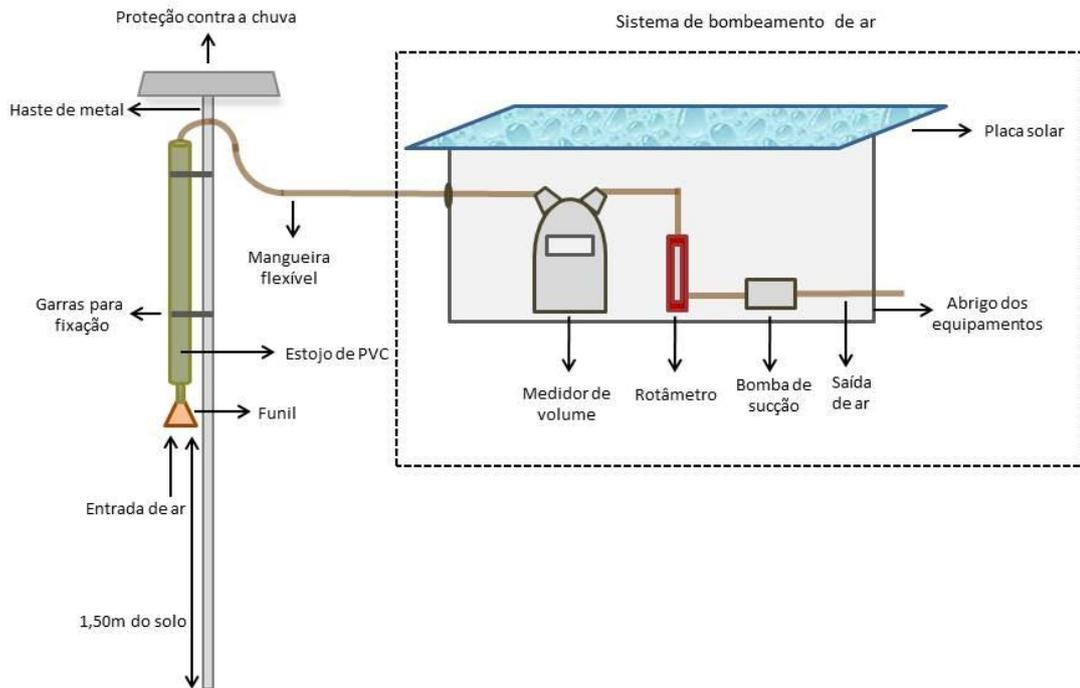


Figura 2 - Sistema de amostragem em campo.

O período de exposição desse sistema é variável, dependendo dos objetivos do estudo e da concentração das espécies de interesse na atmosfera. O intervalo de tempo de coleta típico deste sistema é de quinze dias que, com essa configuração deverá ser amostrado entre 12 e 17 m³ de ar por mês.

Como o DELTA foi desenvolvido para amostragem de ar atmosférico em campo, o mesmo deve ficar protegido contra chuvas, ventos e poeiras para evitar possíveis danos. Assim, a sequência de denuderes e filtros são acondicionados no interior de um estojo de PVC, o qual é acoplado em um poste. A distância entre o chão e a entrada de ar do sistema deve ser tipicamente 1,50 m, para não ocorrer eventuais problemas de interferência na amostragem. A saída do compartimento de PVC é conectada ao sistema de bombeamento conforme ilustrado na Figura 2. As fontes de energia para o funcionamento do sistema podem ser de três formas diferentes: um dispositivo eólico, bateria acoplada ao painel solar ou energia elétrica.

Como a energia elétrica nem sempre está disponível em campo, optou-se neste trabalho, em utilizar painéis solares como fonte de energia. No caso de possuir eletricidade no local, será descrito também, como alimentar o sistema utilizando energia elétrica.

2. PROCEDIMENTO PARA MONTAGEM DO SISTEMA

Neste item são descritos o sistema alimentado por energia solar e o por energia elétrica. Para cada um é apresentada uma tabela com os materiais utilizados bem como a montagem de cada sistema.

Além disso, é importante o projeto de um abrigo para os equipamentos, pois os mesmos podem sofrer danos se expostos às intempéries no campo, e que é ilustrado, para o sistema DELTA situado no INPE em São José dos Campos, que foi montado em uma plataforma, sustentado por um andaime, como mostrado na figura 3.



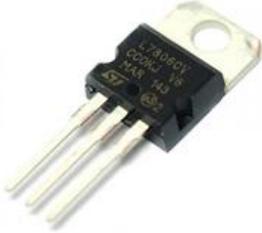
Figura 3 - Sistema DELTA situado em São José dos Campos.

2.1 Montagem do sistema alimentado por painel solar.

O sistema de alimentação de energia utilizando painel solar requer a inserção de sistemas de controle para que oscilações na luminosidade não interfiram no fluxo da bomba, além disso, cuidados devem ser tomados com relação ao sistema de armazenagem de energia durante os períodos noturnos. Os materiais necessários para a montagem desse sistema, e que foram utilizados neste estudo, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Instrumentos necessários para a montagem do sistema de bombeamento através de painel solar.

No.	Item	Especificação
1		<p>Micro bomba Marca: KNF Neuberger Modelo: NMP 09 L Volt: 6V Fluxo máximo: 0,85L/min Vida útil: 10.000h</p>
2		<p>Bateria Marca: UNIPOWER Modelo: UP 12180 Tensão Nominal: 12V Capacidade Nominal: 18 Ah</p>
3		<p>Controlador de carga solar Marca: PWM Modelo: RLH 12/24V Voltagem: 12V/24V 6.0 – liga/desliga</p>
4		<p>Painel Solar Marca: Sunmodule Modelo: SW 85 poly R5A Voltagem máxima: 17,9V</p>

5		<p>Medidor de volume de Gás Diafragma Marca: LAO Indústrias Modelo: G 1,6 Linha Residencial Vazão máxima: 2,5 m³/h Vazão mínima: 0,016 m³/h Pressão máxima: 50 kPa</p>
6		<p>Rotâmetro Marca: Blaster Modelo: BL 14 Pressão máxima: 10kgf/cm² a T=21°C Faixa de vazão: 0,15~1,5L/H Dimensões: C = 140 mm, L = 38 mm</p>
7		<p>Circuito regulador de tensão Tensão de regulação: 6V Tensão recomendada de alimentação: 9V a 21V Corrente média de saída: 500mA</p>
8		<p>Mangueiras de poliuretano</p>

Para este caso, o sistema de bombeamento é composto por um medidor de volume de gás, um rotâmetro (para casos onde é necessário regular o fluxo de ar que passará no sistema) e, na sequência, uma micro bomba de vácuo, que é alimentada por baterias acopladas em painéis solares conforme ilustrado na Figura 4.

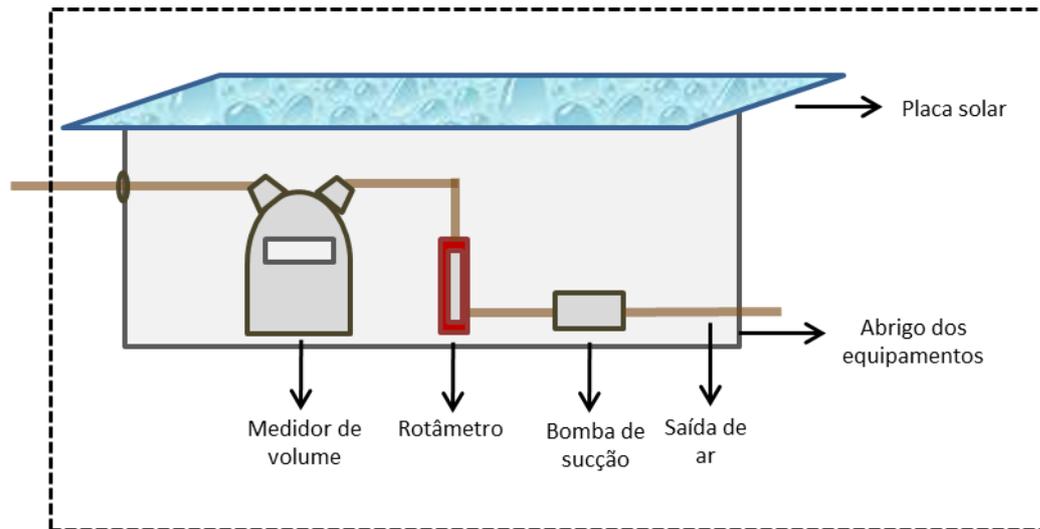


Figura 4 - Sistema de bombeamento.

Primeiramente, é necessário conectar as mangueiras de poliuretano da passagem de ar pelos equipamentos envolvidos no sistema, e só então, fazer as ligações elétricas no painel solar.

O procedimento para a conexão das mangueiras através do sistema está detalhado passo a passo a seguir.

Passo 1: A mangueira que sai do estojo de PVC deve ser conectada à entrada de ar no medidor de volume, sendo outra mangueira conectada à saída do medidor, em direção ao rotâmetro, como mostrado na figura 5.

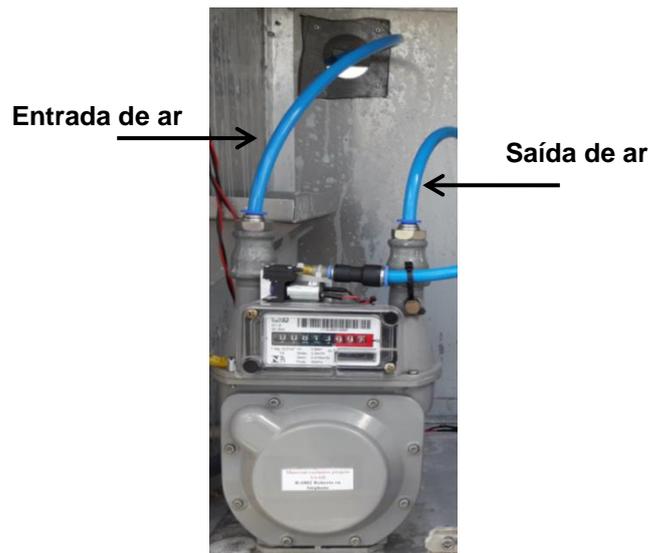


Figura 5 - Entrada e saída de ar do medidor de volume.

Passo 2: Como a micro bomba utilizada nesse projeto possui uma capacidade maior de bombeamento que o necessário (fluxo máximo de $0,85\text{L}/\text{min}^{-1}$), a instalação de um rotâmetro é necessário para ajustar o seu fluxo entre $0,3$ a $0,4\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Ele é instalado logo após o medidor de volume, e a mangueira de entrada de ar é conectada na parte inferior, e a saída de ar, na parte superior. O ajuste é feito em sua válvula situada abaixo do leitor de vidro e a leitura é feita direta no visor. A figura 6 ilustra os locais de conexões e sua válvula de ajuste. O volume amostrado pode ser acompanhado através do medidor de volume.

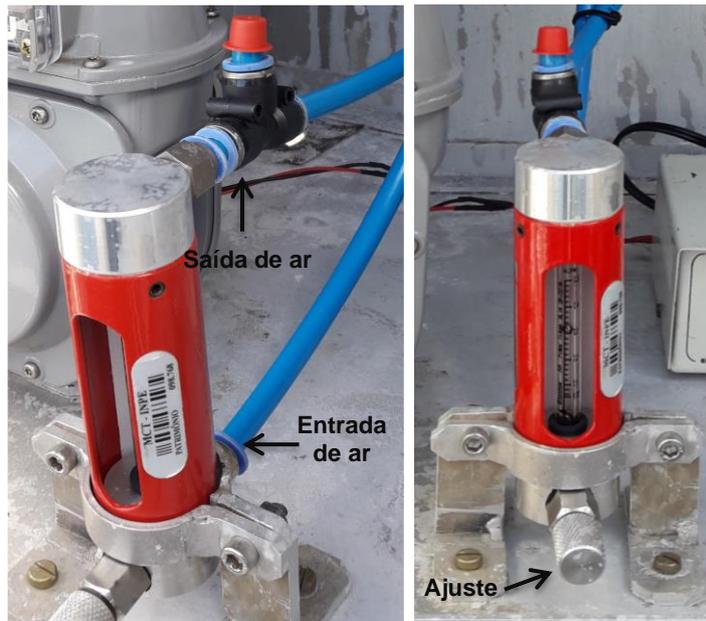


Figura 6 – Entrada e saída de ar no rotâmetro/ajuste de fluxo.

Passo 3: A mangueira que saí do rotâmetro é conectada à entrada da bomba, como ilustrado na figura 7.

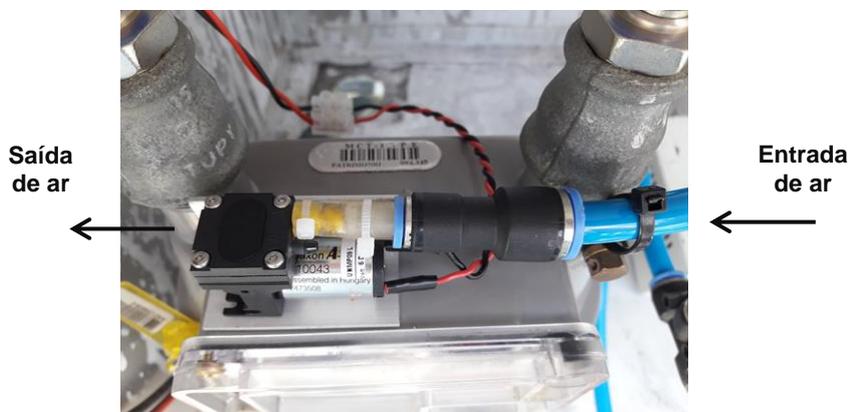


Figura 7 - Bomba de sucção.

Outras opções de configuração são permitidas no sistema, como por exemplo, a utilização de micro bombas de 12 V, bombas com outros fluxos, ou mesmo bombas com fluxo controlado, porém, esta última pode apresentar custo mais alto.

Quando se trata da alimentação do sistema através de painel solar, o sistema deve possuir o painel solar e seu controlador de carga, uma bateria e a micro bomba de vácuo. Como a bateria utilizada neste projeto é de 12 V, e a micro bomba é de 6V, houve a necessidade de introduzir um circuito regulador de tensão antes de alimentar a bomba no sistema, para que não ocorressem variações no fluxo. O fluxograma é apresentado na figura 8.

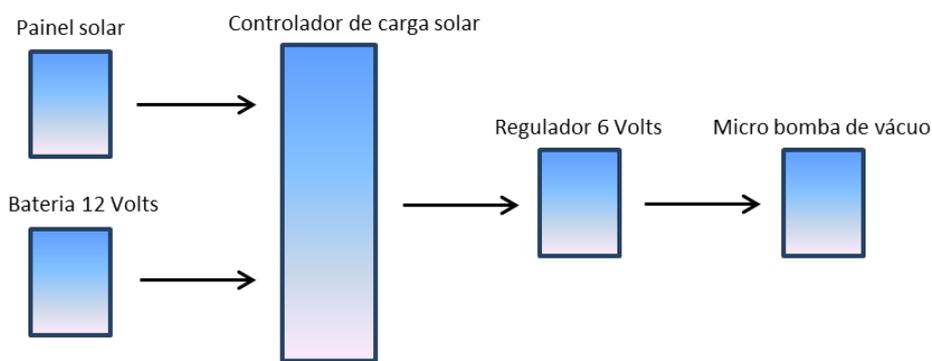


Figura 8 - Fluxograma do sistema de alimentação da micro bomba.

Para a montagem do sistema, os seguintes passos devem ser seguidos:

Passo 1: Fazer as conexões necessárias no controlador de carga solar. O modelo utilizado neste projeto é mostrado na figura 9, e a disposição das saídas do controlador está mostrada na figura 10, sendo: 2 saídas para o painel solar, 2 para a bateria e 2 para o circuito regulador. Cada saída possui 2 cabos: o vermelho de polaridade positiva (+), e o preto, de polaridade negativa (-).



Figura 9 - Controlador de carga solar.

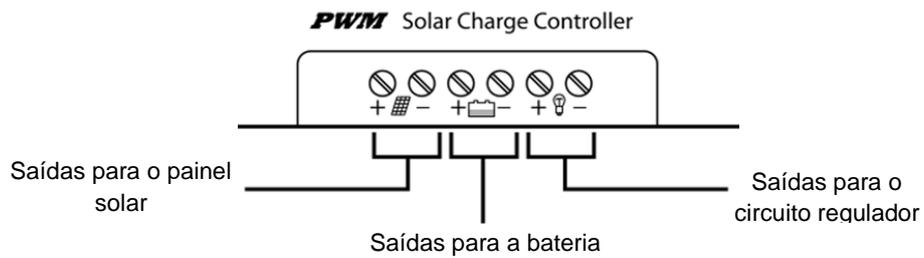


Figura 10 - Disposição das saídas do controlador de carga solar.

Passo 2: As saídas para o painel solar devem ser conectadas no dispositivo presente na parte traseira da placa solar. Na figura 11 mostra-se o dispositivo com suas conexões de entrada.



Figura 11 - Conexões de entrada da carga no painel solar.

Passo 3: As saídas centrais do controlador devem ser conectadas na bateria escolhida, conforme suas polaridades indicadas. Na figura 12 apresenta-se o modelo de bateria utilizado.



Figura 12 - Bateria de 12V.

Passo 4: O circuito regulador deve estar fixado na parede do abrigo, próximo ao controlador de carga. As últimas saídas devem ser conectadas ao circuito, e seus parafusos devem ser apertados para que o circuito tenha um eficiente contato com a carcaça do abrigo (que vai funcionar como dissipador), conforme mostrado na figura 13.

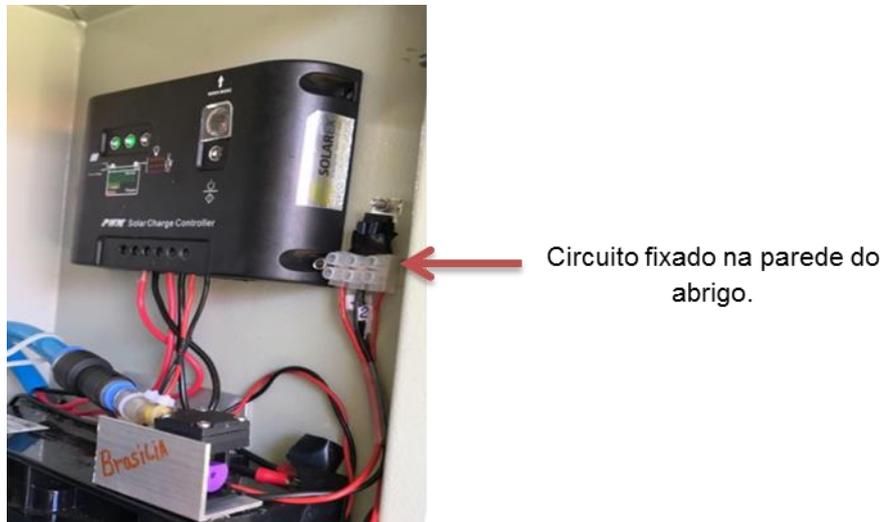


Figura 13 - Fixação do circuito regulador.

Passo 5. Finalmente, as saídas do circuito regulador são conectadas à micro bomba, conforme mostrado na figura 14.



Figura 14 - Micro bomba conectada no sistema.

Passo 6. Realizada todas as conexões de cabos e mangueiras, o sistema pode ser ligado no controlador de carga solar, conforme indicado na figura 15.



Figura 15 - Botão liga/desliga no controlador de carga solar.

Quando o painel solar estiver exposto à luz solar, a luz indicativa de carregamento de carga (representada pelo número 1 na figura 16) estará verde, indicando que o sistema está carregando normalmente. Em condição de carga excessiva ou circuito aberto, a luz verde piscará.

A luz indicativa de bateria (número 2) estará verde indicando que a bateria está totalmente carregada; a luz amarela indica que a bateria está com carga abaixo do normal, e a luz vermelha indica bateria completamente descarregada.

A luz indicativa de carga (número 3) estará amarela quando a saída de carga estiver funcionando normalmente.

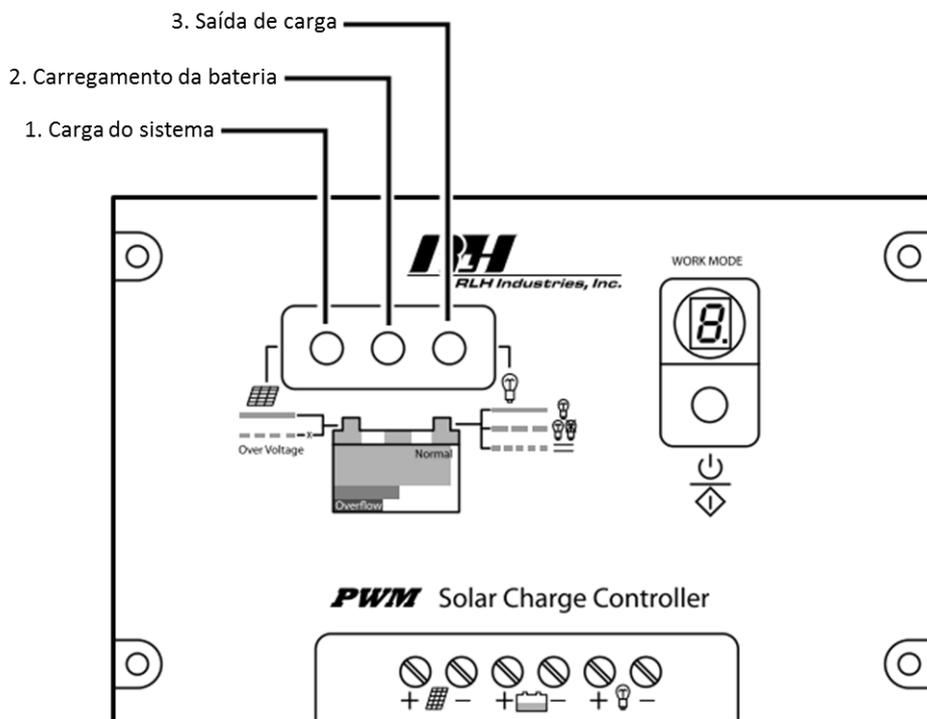


Figura 16 - Indicadores das luzes de LED no controlador.

Passo 6. Com o sistema funcionando, é possível fazer a regulação do fluxo de ar no rotâmetro para 0,3 a 0,4 L.min⁻¹ na válvula de ajuste. O valor pode ser confirmado no visor de vidro, onde apresenta a graduação, e a sua leitura é direta. Na figura 17 mostra-se o ponto de regulação.

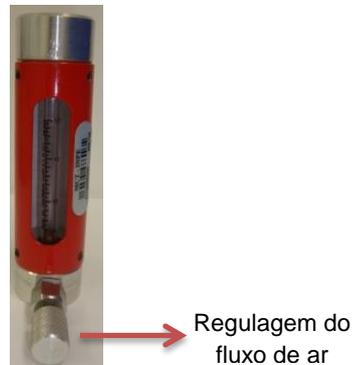


Figura 17 - Ponto de regulação no rotâmetro.

Conforme já exposto anteriormente, essa configuração permite amostrar entre 12 e 17 m³ de ar por mês.

O volume amostrado pode ser monitorado pelo visor do medidor de volume, anotando-se o valor inicial e final de amostragem.

2.2 Montagem do sistema alimentado por energia elétrica.

Para a montagem desse sistema, ou mesmo a substituição das fontes de alimentação, serão necessários os instrumentos apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Instrumentos necessários para a montagem do sistema de bombeamento através de energia elétrica.

No.	Item	Especificação
1		<p>Micro bomba</p> <p>Marca: KNF Neuberger</p> <p>Modelo: NMP 09 L</p> <p>Volt: 6V</p> <p>Fluxo máximo: 0,85L/min</p> <p>Vida útil: 10.000h</p>

2		<p>Medidor de volume de Gás Diafragma Marca: LAO Indústrias Modelo: G 1,6 Linha Residencial Vazão máxima: 2,5 m³/h Vazão mínima: 0,016 m³/h Pressão máxima: 50 kPa</p>
3		<p>Rotâmetro Marca: Blaster Modelo: BL 14 Pressão máxima: 10kgf/cm² a T=21°C Faixa de vazão: 0,15~1,5L/H Dimensões: C = 140 mm, L = 38 mm</p>
4		<p>Fonte estabilizada Modelo Hy 123/5 Entrada 110/220Vac Saída 12Vdc 3,5A</p>

No caso da alimentação do sistema, a fonte de 6V irá substituir o conjunto de painel solar, controlador, circuito regulador e bateria.

Na figura 18 é mostrado o sistema montado para alimentação por fonte estabilizada.



Figura 18 - Sistema alimentado pela fonte estabilizada.

As duas formas de alimentação podem ser utilizadas no sistema DELTA. Como a energia elétrica nem sempre está disponível em campo, uma solução é utilizar os painéis solares como fonte de energia.

O fluxograma dos sistemas descritos neste trabalho está representado na figura 19.

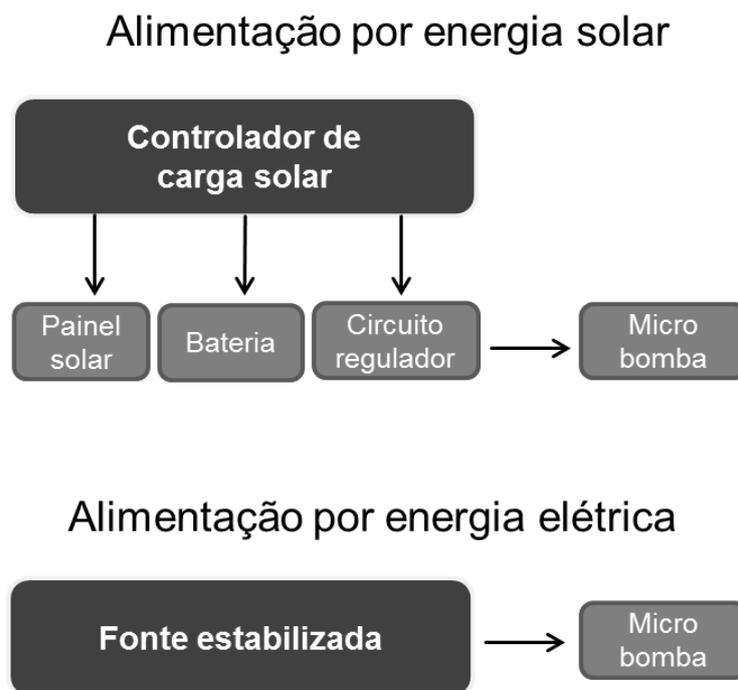


Figura 19 – Fluxograma das formas de alimentação do sistema de bombeamento.

2.3 Procedimento para substituição da bomba

Durante o desenvolvimento deste sistema houve muitos problemas com fornecedores e qualidade dos materiais. As bombas, embora especificadas de boa qualidade, têm vida útil de cerca de 10.000 horas e, mesmo substituindo o diafragma, elas não funcionam adequadamente, precisando de substituição.

Como no mercado nacional não existem fabricantes desse tipo de bomba, optou-se por bombas chinesas que são cerca de 10 vezes mais baratas. Mas, ao longo do tempo de amostragem, as bombas não apresentaram um bom desempenho. Um novo lote de bombas da marca KNF foi adquirido e a substituição das bombas foi realizada.

A seguir, está descrito os passos de como é feita a troca da micro bomba no sistema quando alimentado por painel solar. No caso da alimentação por energia elétrica, o procedimento é mais simples, sendo necessário apenas o desligamento na fonte.

Tabela 3 - Procedimento de troca da micro bomba.

<p>1. No controlador de carga solar, desligar o sistema, no botão liga/desliga.</p>	 <p>Botão liga/desliga</p>
<p>2. Retirar o circuito já existente, soltando o parafuso fixado na parede do abrigo.</p> <p>3. Conectar o circuito da nova bomba, e apertar o parafuso para que o mesmo tenha um eficiente contato com a carcaça da caixa.</p>	 <p>Circuito fixado na parede da casa de proteção.</p>
<p>4. Retirar os cabos que estão conectados nas saídas do controlador, e conectar os do novo circuito instalado, conforme mostrado ao lado.</p> <p>Atenção para as polaridades: o cabo vermelho (+) será conectado na penúltima saída, e o cabo preto (-) conectado na última saída.</p>	 <p>Conexões do circuito</p>
<p>5. Ligar o sistema no botão de liga/desliga do controlador de carga solar.</p>	<p>Conforme imagem do passo 1.</p>

6. Regular o fluxo de ar no rotâmetro para 0,3 a 0,4 L.min⁻¹.



Regulagem
do fluxo de ar

A troca deverá ser programada logo que a mesma apresentar queda em seu desempenho, para não prejudicar a eficiência do sistema e da amostragem.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FORTI, M. C., et al. *Sistema de amostragem atmosférica com base em denuderes: Protocolo de montagem, instalação, amostragem, preparação e análise de denuderes e filtros*. São José dos Campos: INPE, 2016 v.1, 50 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.05.17.38-MAN). Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M7S7M5>.
- FERM, M. *Method for determination of atmospheric ammonia*. *Atm. Environ.* **13**:1385 – 1393, 1979.
- FLECHARD, C. R., et al. *Dry deposition of reactive nitrogen to European ecosystems: a comparison of inferential models across the NitroEurope network*, *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 2703–2728, 2011, Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/11/2703/2011/>
- SUTTON, M.A.; Tang, Y.S.; Miners, B.;Fowler, D. (2001). *A new diffusion denuder system for long-term, regional monitoring of atmospheric ammonia and ammonium*. *Water Air and Soil Pollution: Focus*, **1**:145-156. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1013138601753#page-1>>.
- TANG, Y.S. e Sutton, M.A, 2007. *Operation Manual for the CEH DELTA System For sampling gaseous NH₃, HNO₃, HONO, SO₂, HCl and aerosol NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺* Centre for Ecology & Hydrology Edinburgh Research Station Bush Estate Penicuik Midlothian EH26 0QBScotland February. DELTA_FullProtocol_v2.doc CONFIDENTIAL.