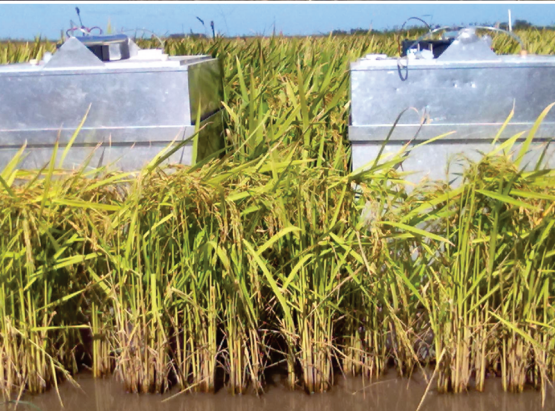


## **Protocolo para Medições de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção de Arroz Irrigado e em Áreas Sujeitas ao Alagamento do Solo – Rede Fluxus**



ISSN 1516-8840

Dezembro, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 426**

# **Protocolo para Medições de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção de Arroz Irrigado e em Áreas Sujeitas ao Alagamento do Solo – Rede Fluxus**

*Walkyria Bueno Scivittaro  
Rogério Oliveira de Sousa  
Cimélio Bayer*

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa Postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Embrapa Clima Temperado**

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-Presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson,*

*Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto: *Bárbara C. Cosenza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Nathália Coelho Moreira (estagiária)*

Fotos de capa: *Walkyria Scivittaro*

**1ª edição**

1ª impressão (2016): 30 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Clima Temperado

---

S415p Scivittaro, Walkyria Bueno

Protocolo para medições de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado e em áreas sujeitas ao alagamento do solo – Rede Fluxus / Walkyria Bueno Scivittaro, Rogério Oliveira de Sousa, Cimélio Bayer. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016.

41 p. (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1516-8840 ; 426)

1. Efeito estufa. 2. Arroz. 3. Solo hidromórfico.  
I. Sousa, Rogério Oliveira de. II. Bayer, Cimélio.  
III. Série.

# **Autores**

## **Walkyria Bueno Scivittaro**

Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Ciências,  
pesquisadora da Embrapa Clima Temperado,  
Pelotas, RS.

## **Rogério Oliveira de Sousa**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo,  
professor da Faem/UFPel, Pelotas, RS.

## **Cimélio Bayer**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo,  
professor da UFRGS, Porto Alegre, RS.





# **Apresentação**

O Bioma Pampa é um ecossistema natural que compreende todo o Uruguai, cerca de 1/3 da Argentina e, no Brasil, ocupa mais da metade do Rio Grande do Sul. Nesse estado, as áreas do Bioma Pampa são divididas em dois ambientes: as terras altas, com solos bem drenados, onde são desenvolvidos diversos sistemas aeróbios de produção de grãos, e as terras baixas, com características de relevo plano a suave ondulado, que remetem à ocorrência de solos hidromórficos, cuja principal aptidão é o cultivo de arroz, em sistema irrigado por inundação do solo.

Nas terras baixas do Rio Grande do Sul, tradicionalmente o cultivo do arroz se dá de forma integrada à pecuária de corte. O cereal é cultivado por até duas safras consecutivas e, em razão de limitações fitossanitárias, dá lugar ao pousio por dois a três anos, período em que se estabelece a pecuária extensiva. Há alguns anos, porém, o período de pousio tem sido alvo de interesse de produtores, que buscam maior aproveitamento do potencial de uso agrícola das terras baixas, por meio da diversificação de culturas, especialmente com soja.

Esse novo modelo de produção agrícola tem potencial para elevar os baixos índices econômicos e sociais do Pampa gaúcho, alterando, ainda, o uso e manejo do solo, da água e da cobertura vegetal nesse

complexo e frágil agroecossistema, refletindo-se na sustentabilidade dos sistemas de produção.

Todavia, pela importância, representatividade e especificidades do cultivo de arroz irrigado nas terras baixas do Bioma Pampa, com a manutenção do solo alagado por um período prolongado de tempo ao longo do ano, essa cultura constitui-se em elemento principal dos sistemas de produção de grãos estabelecidos nesse ambiente, com influência direta sobre o potencial de emissões de gases de efeito estufa e, portanto, sobre as ações de monitoramento e mitigação no âmbito do projeto Fluxus, coordenado pela Embrapa.

A execução das ações, envolvendo a cultura de arroz irrigado e os demais cultivos desenvolvidos em áreas sujeitas ao alagamento do solo do projeto Fluxus, exigiu a definição e a padronização de equipamentos e procedimentos de medição dos fluxos de gases de efeito estufa (GEE), particularmente o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), e de variáveis auxiliares, os quais foram reunidos neste documento.

O presente protocolo contém a descrição dos sistemas coletores, procedimentos de coleta, armazenamento e transporte de amostras e cálculos envolvidos nos processos de emissão de GEE em cultivos de arroz irrigado (sistemas alagados) e em áreas sujeitas ao alagamento temporário. Inclui, ainda, os procedimentos para avaliação de variáveis auxiliares ao entendimento da dinâmica de emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  do solo.

O material disponibilizado foi concebido para nortear as equipes de pesquisa envolvidas nas ações do projeto Fluxus, bem como outras dedicadas à mesma temática em sistemas alagados, visando contribuir para a padronização de métodos e a comparação de resultados.

Trata-se de uma primeira aproximação, utilizada como referência para a implementação das ações do projeto Fluxus, estando sujeita a adequações e refinamentos, considerando-se os avanços da ciência e do conhecimento sobre o tema. Assim, sugestões e contribuições ao presente material são bem-vindas e serão consideradas em sua revisão e atualização.

*Clenio Nailto Pillon*  
Chefe-Geral  
Embrapa Clima Temperado



# **Protocolo para Medições de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção de Arroz Irrigado e em Áreas Sujeitas ao Alagamento do Solo – Rede Fluxus**

---

*Walkyria Bueno Scivittaro*

*Rogério Oliveira de Sousa*

*Cimélio Bayer*

## **Introdução**

As atividades de avaliação de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de grãos da Rede Fluxus estão distribuídas em quatro biomas brasileiros: Amazônia, Cerrados, Mata Atlântica e Pampa. Este último está localizado na região Extremo Sul do Brasil, ocupando mais da metade do Estado do Rio Grande do Sul, além de todo o Uruguai e cerca de um terço da Argentina.

No Extremo Sul do Brasil, as áreas do bioma Pampa são, na percepção agrícola, divididas em dois ambientes: as terras altas, com solos bem drenados, onde são desenvolvidos diversos sistemas aeróbios de produção de grãos, e as terras baixas<sup>1</sup>, com características de relevo plano a suave ondulado, que remetem à ocorrência de solos hidromórficos, cuja aptidão principal é o cultivo de arroz, em sistema irrigado por inundação do solo.

Tradicionalmente, o cultivo do arroz nas terras baixas do bioma Pampa ocorre de forma integrada à pecuária de corte; o cereal é cultivado por

---

<sup>1</sup>Neste trabalho, consideram-se como “terras baixas” quaisquer áreas aptas ao cultivo de arroz irrigado, independentemente de estarem localizadas em planícies costeiras.



até duas safras consecutivas e, em razão de limitações fitossanitárias, notadamente a ocorrência de plantas daninhas, dá lugar ao pousio por dois a três anos, período em que se estabelece a pecuária extensiva. Porém, há vários anos, o período de pousio tem sido alvo de interesse de produtores, que buscam maior aproveitamento do potencial de uso agrícola das terras baixas, por meio da diversificação de culturas. Anualmente, mais de 2,5 milhões de hectares de áreas planas, aptas ao cultivo e relativamente próximas a pontos de escoamento de insumos e da produção, encontram-se em repouso do cultivo de arroz, podendo ser aproveitados por outras espécies produtoras de grãos.

Apesar das restrições naturais dos solos hidromórficos aos cultivos de sequeiro, nos últimos anos tem sido expressivo o aumento da área ocupada com culturas de grãos em rotação ao arroz nas terras baixas do bioma Pampa. A cultura preferencial é a soja, cujas estimativas indicam ocupar, anualmente, cerca de 300 mil hectares de áreas de produção de arroz irrigado (REUNIÃO..., 2016), com tendência de crescimento, devido à valorização da oleaginosa como “commodity” e pelos benefícios técnicos proporcionados ao sistema de produção.

Todavia, pela importância, representatividade e especificidades do cultivo de arroz irrigado nas terras baixas do bioma Pampa, com a manutenção do solo alagado por um período prolongado de tempo ao longo do ano, essa cultura constitui-se em elemento principal dos sistemas de produção de grãos estabelecidos nesse ambiente, com influência direta sobre o potencial de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do solo e, portanto, sobre as ações de monitoramento e mitigação no âmbito da Rede Fluxus.

Assim, como procedido para os sistemas aeróbios, foi necessário definir e padronizar protocolos de medição dos fluxos de gases de efeito estufa, particularmente metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), e de variáveis auxiliares a serem adotados na execução das atividades da Rede Fluxus, que envolvem a cultura de arroz irrigado e os demais

cultivos desenvolvidos em áreas sujeitas ao alagamento do solo.

O presente protocolo contém a descrição dos sistemas coletores, procedimentos de coleta, armazenamento e transporte de amostras e cálculos envolvidos nos processos de emissão de GEE em cultivos de arroz irrigado (sistemas alagados) e em áreas sujeitas ao alagamento temporário. Inclui, ainda, referência sobre avaliações de variáveis auxiliares ao entendimento da dinâmica de emissões de metano e óxido nitroso do solo, particularmente a análise de solução do solo.

## **Desenho da câmara**

Para as atividades da Rede Fluxus, definiu-se que as coletas de amostras de ar para avaliação de gases de efeito estufa em cultivos de arroz irrigado e em sistemas de produção de grãos estabelecidos em áreas sujeitas ao alagamento do solo seriam realizadas utilizando-se o método da câmara estática fechada.

A restrição proporcionada pela câmara à passagem de ar liberado do solo para a atmosfera permite a medida da alteração na concentração de gás em seu interior, desde que a coleta de amostras de ar seja feita em intervalos de tempo pré-determinados (COSTA et al., 2006). Nas câmaras fechadas, não há renovação do ar, portanto as alterações na concentração de gases são contínuas ao longo do período de amostragem (MATTHIAS et al., 1980). Isso exige a consideração das alterações no microambiente, a partir de sua instalação, para a interpretação dos resultados (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 1993).

As dimensões e o material de construção das câmaras utilizadas para a coleta de amostras de ar liberado do solo não são padronizados. Contudo, é essencial o uso de material inerte aos gases medidos, leve, resistente a impactos, que proporcione pequeno aumento da temperatura em seu interior e perturbação mínima ao local

de instalação e, na medida do possível, de baixo custo (COSTA et al., 2006; MINAMIKAWA et al., 2015). Assim, os materiais mais comumente utilizados na construção de câmaras utilizadas em sistemas alagados são o cloreto de polivinil (PVC), acrílico, aço galvanizado e alumínio.

De forma geral, a forma e o tamanho da câmara variam com o material a ser utilizado. Assim, câmaras retangulares e quadradas são normalmente construídas em chapas de acrílico, aço galvanizado ou alumínio, enquanto as circulares adéquam-se melhor ao PVC, ou mesmo, ao acrílico (MINAMIKAWA et al., 2015). O uso de câmaras maiores gera estimativas mais representativas de fluxus. Contudo, podem tornar-se limitantes quanto ao custo e operacionalidade (COSTA et al., 2006). Assim, o recomendável é que se utilizem câmaras com tamanho mínimo para fornecer medidas representativas dos fluxus em avaliação. Em cultivos de arroz irrigado, onde as plantas são mantidas no interior das câmaras, essas devem apresentar, ainda, altura compatível para abrigá-las, sem as danificar durante as coletas.

Na Rede Fluxus, as câmaras indicadas para a cultura de arroz irrigado por inundação do solo normalmente são confeccionadas em alumínio; eventualmente utiliza-se aço galvanizado, o que reduz o custo, mas aumenta bastante seu peso, dificultando o transporte. Compreendem base, um ou mais extensores e topo, estabelecendo um sistema coletor hermético (Figura 1), que é uma adaptação do sistema proposto por Mosier (1998).

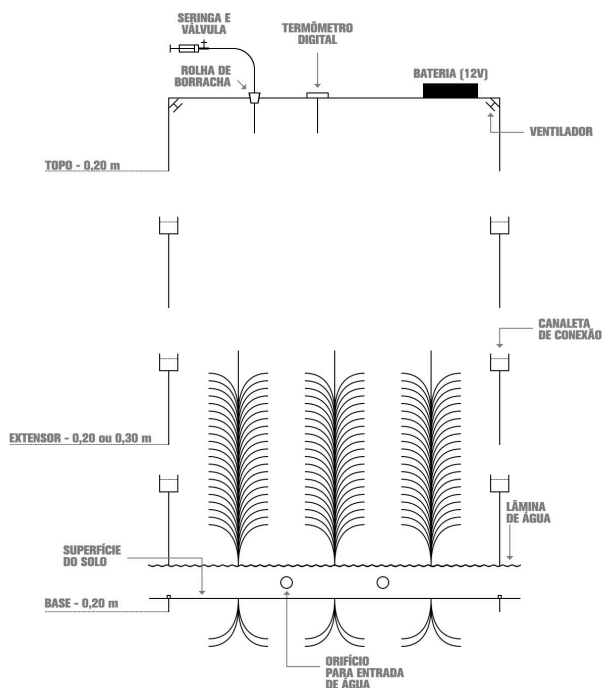


Ilustração: Thiago Verneti da Silva.

**Figura 1.** Representação de câmara estática fechada, base, extensor e topo, com detalhes da disposição dos orifícios para circulação de água, das canaletas para conexão das partes constituintes, dos ventiladores, do termômetro e da válvula de amostragem para retirada de amostras de ar.

A base é uma estrutura vazada com seção transversal quadrada (64 cm x 64 cm) e 20 cm de altura, construída em chapa de parede simples com 2,5 mm de espessura. Imediatamente acima da superfície do solo, as bases apresentam em duas laterais opostas dois orifícios de cerca de 20 mm de diâmetro, para permitir a circulação de água entre o ambiente externo (lavoura de arroz) e o sistema coletor, exceção feita para os períodos de amostragem de ar, em que os orifícios são vedados com rolhas de borracha. Na parte superior, a

base apresenta uma canaleta, com 4 cm de altura e 4 cm de largura, para o acoplamento do topo ou do extensor da câmara (Figura 2). Para garantir o fechamento hermético da câmara durante as coletas, a canaleta é preenchida com água anteriormente ao acoplamento do topo (GOMES et al., 2009). Quando se utilizam extensores, sua conexão à base e ao topo é feita da mesma forma.



Foto: Walkyria Bueno Scivittaro

**Figura 2.** Base de câmara estática fechada em alumínio, instalada em lavoura de arroz antecedendo a inundação do solo, ilustrando os orifícios para circulação de água entre o ambiente externo e o sistema coletor e a canaleta superior onde é feito o acoplamento da base ao topo e/ou extensor.

O extensor é uma estrutura estabelecida para aumentar a altura da câmara, sendo disposto entre a base e o topo da câmara quando o porte das plantas de arroz presentes no interior da base excede a altura do conjunto formado pela base e o topo. Trata-se de uma estrutura vazada, com dimensões e desenho semelhantes ao da base, devendo ser confeccionado em chapa de parede simples, porém com

espessura menor que a da base (2 mm). O extensor também deve ser dotado de canaleta com aproximadamente 4 cm de altura e 4 cm de largura na parte superior (Figura 3). Considerando-se a estatura média das cultivares de arroz irrigado do tipo moderno atualmente em uso na região subtropical do Brasil, é necessário o uso de um ou dois extensores, em função da fase de desenvolvimento da cultura (Figura 4).

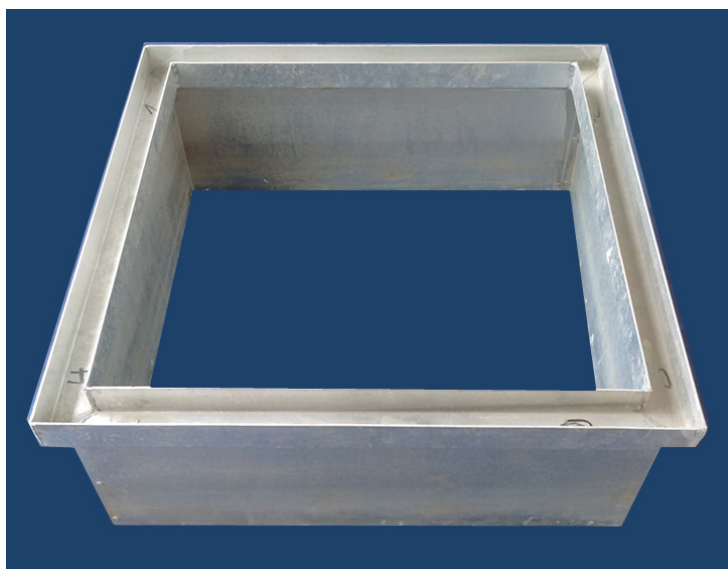


Foto: Walkyria Bueno Scivittaro

**Figura 3.** Extensor de câmara estática fechada em alumínio com canaleta superior para o acoplamento de topo ou de outro extensor, distinguindo-se da base pela ausência de orifícios laterais.



Foto: Walkyria Bueno Scivittaro



**Figura 4.** Câmara estática fechada em alumínio composta por base, dois extensores e topo em lavoura de arroz irrigado durante amostragem.

Por sua vez, o topo ou câmara coletora, que apresenta fechamento superior, deve ser construído em chapa de parede dupla de 1 mm espessura. As dimensões são pouco menores que as da base e extensores, ou seja, 20 cm de altura e 60 cm de comprimento e de largura. Internamente, são requeridos três suportes para o acoplamento de ventiladores. Externamente, a parte superior do topo deve dispor uma alça para facilitar as operações de abertura e fechamento e o transporte, bem como três orifícios com aproximadamente 15 mm de diâmetro. Um desses orifícios é vedado com um septo (rolha de borracha perfurada) por onde passa a fiação que conecta uma bateria de 12 V (apoiada sobre o topo durante as coletas) a três ventiladores dispostos no interior da câmara. Os ventiladores são acionados nos momentos de amostragem, para homogeneizar o ar no interior do sistema coletor. O segundo orifício é fechado por uma rolha de borracha vazada, na qual é conectado

um termômetro digital do tipo espeto, utilizado para a medição da temperatura do ar no interior da câmara. O acoplamento do termômetro ao topo deve ocorrer imediatamente após o fechamento do sistema coletor com o topo, evitando o aprisionamento de ar. Por sua vez, o terceiro orifício é vedado com uma rolha de borracha por onde passa o dispositivo para a tomada de amostras de ar (Figuras 5 e 6).

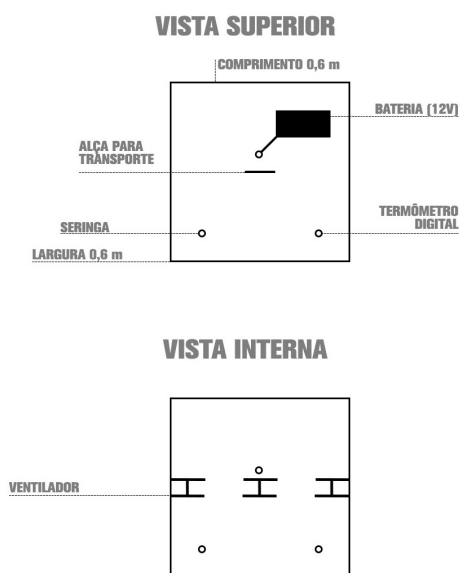
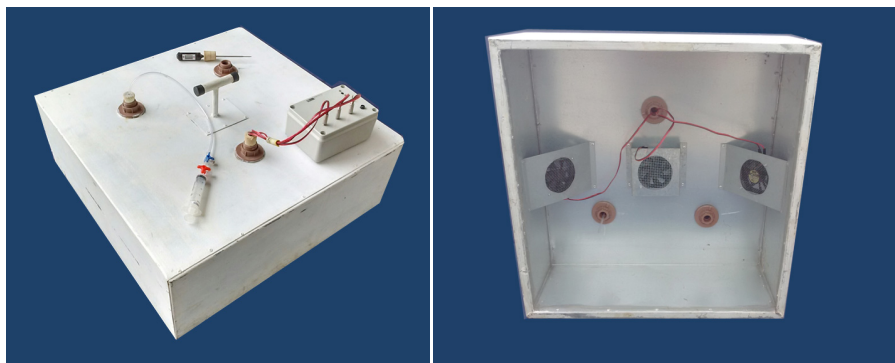


Ilustração: Thiago Verneti da Silva

**Figura 5.** Ilustração com vistas superior e interna de topo de câmara estática fechada para a cultura de arroz irrigado, com detalhes da disposição da alça para transporte, dos orifícios para acoplamento de fiação para bateria, do termômetro e do dispositivo para tomada de amostras de ar, bem como dos ventiladores internos.



**Figura 6.** Vistas de topo de câmara estática em aço galvanizado, com acabamento em pintura de cor branca, ilustrando, externamente, alça para o manuseio da câmara e orifícios para o acoplamento de termômetro digital tipo espeto, de dispositivo para tomada de amostras de ar com seringa acoplada e de fiação que liga os ventiladores internos à bateria (a), e internamente tubo para a coleta de amostras de ar e ventiladores para homogeneização do ar no interior da câmara, instalados em suportes específicos (b).

O dispositivo para a coleta de amostras de ar consiste em um tubo de PVC com 5 mm de diâmetro externo, 3 mm de diâmetro interno e cerca de 60 cm de comprimento transpassando uma rolha de borracha perfurada. Na extremidade do tubo que fica do lado de fora da câmara, deve-se conectar uma válvula de três vias do tipo *luer lock*, para o acoplamento das seringas utilizadas nas coletas de amostras de ar.

Como reportado previamente, a exploração agrícola no ambiente de terras baixas inclui, além do tradicional binômio arroz/pecuária, sistemas de diversificação de culturas, incluindo rotações de arroz irrigado com espécies de sequeiro. Para os cultivos de sequeiro, recomenda-se o uso de sistemas coletores distintos do descrito para o arroz irrigado, os quais se assemelham bastante aos utilizados

em sistemas aeróbios de produção de grãos, requerendo, apenas, algumas adequações para o uso no ambiente de terras baixas.

Devido ao relevo predominantemente plano e à presença de horizonte subsuperficial impermeável e à baixa condutividade hidráulica dos solos de terras baixas, é relativamente frequente a ocorrência de condição de solo saturado, ou mesmo com presença de lâmina de água, durante o período de cultivo das espécies de sequeiro. Por essa razão, o modelo de câmara utilizado em cultivos de sequeiro desenvolvidos no ambiente de terras baixas distingue-se, em alguns aspectos, daqueles utilizados em sistemas aeróbios.

Assim como para a cultura de arroz irrigado, indica-se o uso de câmara estática fechada, todavia compreendendo, apenas, base e topo. A base é uma estrutura vazada com seção transversal retangular (80 cm x 40 cm) e 9 cm de altura, construída em chapa de parede dupla com 2,5 mm de espessura e dotada, na parte superior, de canaleta com aproximadamente 4 cm de altura e 4 cm de largura, para o acoplamento do topo da câmara (Figura 7). É mais comum o uso de aço galvanizado para a confecção desses sistemas coletores, pelo menor custo em relação ao alumínio, sendo fundamental, porém, para aumentar sua durabilidade, o recobrimento com fundo de Galvanite® de coloração escura, normalmente verde. A base deve ser inserida no solo até a profundidade de 5 cm, ficando exposta, apenas, a canaleta superior onde é acoplado o topo ou câmara. Assim como para o sistema coletor utilizado em cultivos de arroz irrigado, para garantir o fechamento hermético da câmara durante as coletas, a canaleta superior da base deve ser preenchida com água previamente ao acoplamento do topo (GOMES et al., 2009). Nessa operação é necessário prevenir o molhamento do solo, evitando alterações em sua umidade atual.



Foto: Walkyria Bueno Scivittaro

**Figura 7.** Vista superior de base de câmara estática fechada em aço galvanizado com pintura em cor verde, ilustrando canaleta superior onde é feito o acoplamento da base ao topo.

O topo utilizado em cultivos de sequeiro é uma estrutura fechada de seção transversal retangular, com dimensões próximas à da base (77 cm x 37 cm) e 25 cm de altura, construído em chapa de parede dupla de 1 mm de espessura. Quando confeccionada em aço galvanizado, recomenda-se o recobrimento com o fundo Galvanite® de cor branca, para aumentar sua durabilidade e minimizar a elevação da temperatura do ar no interior da câmara durante as amostragens. Internamente, a parte superior do topo deve conter suportes para a fixação de três ventiladores, utilizados para a homogeneização do ar no interior da câmara, durante as coletas. Externamente o topo deve dispor de alça, para auxiliar em seu manuseio, e três orifícios para a conexão de rolhas de borracha perfuradas contendo o dispositivo para a coleta de amostras de ar, termômetro digital tipo espeto e fiação elétrica ligando a bateria externa de 12 V aos ventiladores internos, utilizados para promover a movimentação do ar no interior da câmara (Figuras 8 e 9).

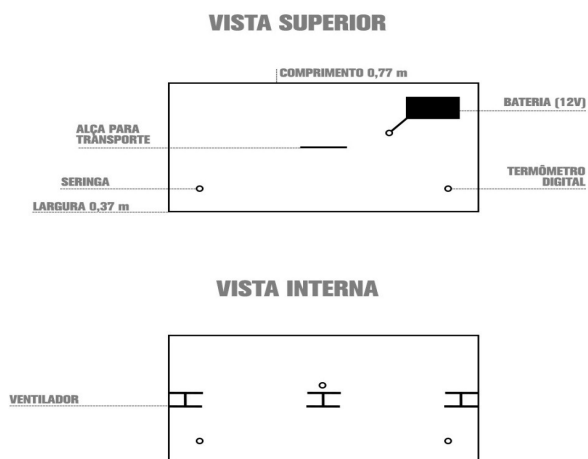


Ilustração: Thiago Vernetti da Silva

**Figura 8.** Ilustração com vistas superior e interna de topo de câmara estática fechada para cultivos de sequeiro, com detalhes da disposição da alça para transporte, dos orifícios para acoplamento de fiação para bateria, do termômetro e do dispositivo para tomada de amostras de ar, bem como dos ventiladores internos.



Foto: Walkyria Bueno Scivittaro

**Figura 9.** Vistas de topo de câmara estática em aço galvanizado, com acabamento em pintura de cor branca, ilustrando, externamente, alça para o manuseio da câmara, fiação que liga os ventiladores internos à bateria e orifícios para o acoplamento de termômetro digital tipo espeto e dispositivo para tomada de amostras de ar (a), e internamente ventiladores para homogeneização do ar no interior da câmara, instalados em suportes específicos (b).



## **Procedimentos de coleta de amostras**

Geralmente, a base do sistema coletor permanece na área experimental durante todo o período de avaliação, devendo ser inserida no solo a uma profundidade de aproximadamente 5 cm, pelo menos com um dia de antecedência do início das avaliações. A remoção das bases do solo somente é realizada por ocasião de operações mecanizadas na área, incluindo o preparo do solo, quando previsto, a sementeira e a colheita. Já o topo e os extensores são utilizados apenas durante as coletas, quando se procede ao isolamento das atmosferas interna e externa da câmara, mediante a colocação de água nas canaletas localizadas na parte superior da base, antecedendo o acoplamento da câmara (GOMES et al., 2009). Nos períodos em que é necessário o uso de extensores, deve-se adotar procedimento semelhante para realizar o isolamento das atmosferas interna e externa da câmara, nos acoplamentos entre a base e o extensor e deste último com outro extensor ou o topo.

Também nos cultivos de sequeiro, a colocação da base na área experimental deve ser feita anteriormente ao início das avaliações. A remoção da base normalmente só é feita para a execução de operações mecanizadas. Vale acrescentar que, eventualmente, após eventos de chuva intensa, causando a saturação ou mesmo a formação de lâmina de água na superfície do solo, pode ser necessária a retirada ou mudança temporária de local da base, visto se tornar um obstáculo físico à drenagem superficial da área, estabelecendo um ambiente interno mais úmido que o exterior, refletindo-se no potencial de emissões de gases de efeito estufa. Isso se deve a características do ambiente de terras baixas, particularmente o relevo, de plano a suavemente ondulado, e à presença de horizonte subsuperficial impermeável e baixa condutividade hidráulica dos solos.

Em sistemas alagados, para evitar alterações físicas no solo ou interferir na ebulição de metano durante as coletas (MINAMIKAWA

et al., 2015), é necessária a instalação de uma estrutura de suporte, em que a pessoa que realiza a coleta de amostras se apoia durante esse procedimento. Os suportes mais comuns incluem bases (tubos de cimento ou tocos de madeira) e apoios (tábuas) (Figura 10). Dependendo da natureza do experimento, particularmente os que envolvem variações no manejo da água, é conveniente, ainda, estabelecer uma taipa ronda, circundando o perímetro do experimento, mantendo-a com água para evitar perdas de água por fluxo lateral.

As amostras de ar devem ser tomadas manualmente, utilizando-se seringas de polipropileno, com capacidade para 20 mL, equipadas com válvula de três vias do tipo *luer-lock* para a retenção das amostras. Na região de clima temperado, indica-se a realização de amostragens no período da manhã, entre 9h e 12h, por ser o horário representativo da média diária da emissão de metano do solo em cultivos de arroz irrigado (COSTA et al., 2008). Em situações em que o óxido nitroso é o gás alvo das avaliações, o intervalo para as coletas é ainda mais restrito, recomendando-se que as amostragens sejam feitas entre 9h e 11h, visto ser o horário representativo do fluxo médio diário desse gás do solo (JANTALIA et al., 2008; ALVES et al., 2012).



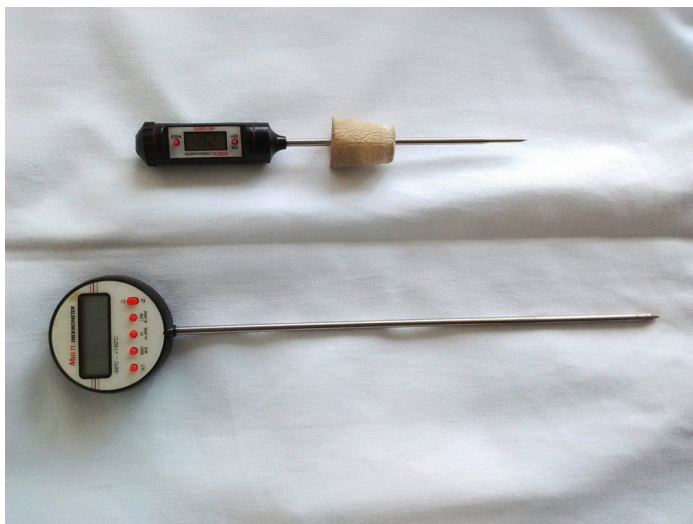
Fotos: Cimélio Bayer

**Figura 10.** Estruturas constituídas por tubos de cimento e tábuas de madeira para o suporte e movimentação do amostrador durante os procedimentos de coleta de amostras em sistemas alagados.

Indicam-se amostragens em quatro tempos: 0; 5; 10 e 20 minutos após o fechamento da câmara. A primeira amostragem (tempo zero) é feita imediatamente após o acoplamento do topo à base. Nas amostragens realizadas nos tempos 5, 10 e 20 minutos, deve-se promover a homogeneização do ar no interior da câmara, pelo acionamento dos ventiladores dispostos no topo do sistema coletor, com 30 segundos de antecedência. Nas coletas em que são utilizados extensores, o período de acionamento dos ventiladores deve ser estendido em cerca de 10 segundos para cada coletor acrescido.

Em cada tempo de coleta das amostras de ar, devem ser registradas a temperatura do ar no interior da câmara e a temperatura do solo no ambiente externo, utilizando-se termômetros digitais tipo espeto específicos (Figura 11). O termômetro de solo deve ser disposto em área adjacente à dos sistemas coletores, na profundidade de 5 cm.

Foto: Walkyria Bueno Scivittaro



**Figura 11.** Termômetros digitais tipo espeto utilizados para o registro da temperatura do ar no interior da câmara (a) e do solo (b) nos tempos de amostragem.

Outra avaliação requerida para a determinação dos fluxos de gases de efeito estufa em sistemas alagados é a medição da altura da lâmina de água no interior das câmaras coletoras. Nesse sentido, recomenda-se tomar essa medida em quatro pontos no interior de cada câmara. O valor médio da altura da lâmina de água deve ser deduzido da altura total média do sistema coletor, que deve ser determinada nos quatro lados dos sistemas coletores. Esses dados são necessários para o cálculo do volume de ar no interior da câmara em cada coleta.

Na Figura 12, é apresentado modelo de planilha de coleta de dados utilizada por ocasião das amostragens de amostras de ar em sistemas de cultivo de arroz irrigado ou em áreas naturais sujeitas ao alagamento temporário. Planilhas semelhantes podem ser utilizadas para avaliações realizadas em áreas sob cultivos de sequeiro, sendo dispensável, porém, a coluna de registro de altura de lâmina de água. Na planilha apresentada, observa-se que além dos dados registrados por ocasião das coletas, é importante incluir informações sobre o clima, horário da coleta de cada repetição, responsável pela coleta, bem como sobre quaisquer observações realizadas por ocasião da coleta e que possam auxiliar na interpretação correta dos dados de fluxos obtidos.

PLANILHA DE COLETA DE AMOSTRAS DE AR EM SISTEMAS ALAGADOS

Local:

Data de coleta:

Horário de início da coleta: Rep. 1: Rep. 2: Rep. 3:

Responsável pela coleta:

Condições climáticas:

Experimento:

Tratamento:

Tempo de coleta (min.)	Repetição	Seringa Nº	Frasco Nº	Altura da câmara (cm)	Altura da lâmina d'água (cm)	Temperatura	
						Ar	Solo
0	1						
5	1						
10	1						
20	1						
0	2						
5	2						
10	2						
20	2						
0	3						
5	3						
10	3						
20	3						

Uso de extensor: Sim ( ) Número:

Não ( )

Observações:

**Figura 12.** Modelo de planilha utilizada para o registro de dados em procedimentos de coleta de amostras de ar para avaliação de emissão de gases de efeito estufa em sistemas alagados.

Imediatamente após as amostragens, as seringas contendo amostras de ar devem ser acondicionadas em sacos de polietileno e conservadas em caixas térmicas contendo gel térmico previamente resfriado até o final do período de coleta. Concluídos os procedimentos de coleta, as amostras devem ser imediatamente levadas para o laboratório, onde serão analisadas por cromatografia gasosa. O uso de seringas de polipropileno para a coleta e o armazenamento das amostras, pela relativa permeabilidade, requer que a análise seja feita em um prazo máximo de 24 horas após a coleta, evitando perdas dos gases a serem mensurados (CHOUDHARY et al., 2002). No caso de os locais de coleta e análise serem distantes, concluída a coleta, deve-se proceder à substituição do gel térmico no interior das caixas térmicas, lacrá-las e transportá-las para local abrigado e de preferência climatizado, onde possa ser feita sua transferência para frascos de vidro pré-evacuados, com tampa de borracha. Esse procedimento permite estender por vários dias o tempo de armazenamento da amostra até a análise, sendo recomendável armazená-los em câmara fria no período antecedente à análise. No âmbito da Rede Fluxus na região Sul do Brasil, têm sido utilizados para o armazenamento de amostras os seguintes frascos pré-evacuados com capacidade para 12 mL: Pre-Evacuated Exetainer® Vials - LABCO.

### **Período e frequência e de amostragem de fluxos de gases**

No âmbito da Rede Fluxus, preconizam-se avaliações por, pelo menos, dois anos continuamente. Avaliações por um período maior de tempo são particularmente importantes quando se pretende gerar fatores de emissão de gases.

A frequência de amostragem deve ser estabelecida em função do objetivo do trabalho, da época do ano e de realização de práticas de manejo, bem como da capacidade de amostragem e de análise disponíveis. De forma geral, indica-se frequência mínima semanal



entre as amostragens, durante o período de safra, e quinzenal, durante o período de entressafra. Todavia, dependendo do objetivo do estudo, especialmente naqueles envolvendo manejo do solo e da cobertura vegetal, pode ser necessário adotar frequência mínima semanal também durante o período de entressafra.

Vale destacar que independentemente da época do ano e do objetivo do experimento, a ocorrência de quaisquer eventos que promovam alterações nos fluxos de gases de efeito estufa do solo, com destaque para operações de preparo do solo e de resíduos vegetais, adubações, bem como precipitações, irrigações e drenagem da área, é necessário aumentar temporariamente a frequência de amostragens, se possível, para avaliações diárias, por pelo menos uma semana ou até que o fluxo de gases retorne ao padrão normal.

### **Análise cromatográfica e cálculos de fluxos**

Normalmente, quando se utiliza o método da câmara estática fechada, a análise de gases é feita por cromatografia gasosa, por se tratar de uma técnica consolidada e prática, permitindo a avaliação dos gases metano, óxido nitroso e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (COSTA et al., 2006), embora os dados deste último, via de regra, não sejam utilizados, pela dificuldade de interpretação dos resultados pela presença de plantas em sistemas agrícolas.

As determinações das concentrações de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  nas amostras provenientes da Rede Fluxus na região Sul do Brasil têm sido feitas em cromatógrafo modelo “Greenhouse”, equipado com detector de captura de elétrons (ECD) a  $325^\circ\text{C}$  e colunas empacotadas em temperatura de  $70^\circ\text{C}$ , utilizando-se o  $\text{N}_2$  como gás de arraste a um fluxo de  $26 \text{ mL min}^{-1}$  e temperatura do injetor de  $250^\circ\text{C}$ . O equipamento é provido por um metanador, que transforma o  $\text{CO}_2$  em  $\text{CH}_4$ , o qual é quantificado em detector de ionização de chama (FID) trabalhando na temperatura de  $250^\circ\text{C}$ .

Os fluxos desses gases são calculados de acordo com a Equação 1:

$$f = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \frac{PV}{RT} \frac{M}{A} \quad \text{Equação 1}$$

**onde:**  $f$  é o fluxo de  $N_2O$  ou  $CH_4$  (g de  $N_2O$  ou de  $C_H4$  ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>);

$\Delta Q/\Delta t$  é a variação na concentração do gás (mol h<sup>-1</sup>) na câmara no momento da coleta;

$P$  é a pressão atmosférica (atm) no interior da câmara, assumida como 1 atm;

$V$  é o volume da câmara (L);

$R$  é a constante dos gases ideais (0,08205 atm L mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

$T$  é a temperatura dentro da câmara no momento da coleta (K);

$M$  é a massa molar do gás (μg mol<sup>-1</sup>) e

$A$  é a área da base da câmara (m<sup>2</sup>)

A partir dos valores de fluxo calculados, estimam-se as emissões diárias. A emissão acumulada no período de avaliação é calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação trapezoidal dos valores diários de emissão de  $N_2O$  e de  $CH_4$  do solo (BAYER et al., 2015).

Com base na emissão acumulada de  $CH_4$  e de  $N_2O$ , convertidas para  $CO_2$  equivalente –  $CO_{2eq}$ , calcula-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), de acordo com a Equação 2. Para tanto, considera-se o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao  $CO_2$  (25 vezes para o  $CH_4$  e 298 para o  $N_2O$ ).

$$PAGp = [(CH_4 * 25) + (N_2O * 298)] \quad \text{Equação 2}$$

**onde:** PAGp é o potencial de aquecimento global (kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) e CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são as emissões acumuladas desses gases (kg ha<sup>-1</sup>)

É possível determinar, ainda, a intensidade de emissão de um cultivo, relacionando-se as quantidades de gás emitido por unidade de produto produzido (PAGp/Rend), conforme descrito na Equação 3:

$$PAGp/Rend = \frac{PAGp}{R} \quad \text{Equação 3}$$

onde: PAGp/Rend é o potencial de aquecimento global por unidade de produto (kg CO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup>grão);

PAGp é o potencial de aquecimento global (kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) e

R é o rendimento do arroz (kg ha<sup>-1</sup>)

### Avaliações complementares

Em ambientes sujeitos ao alagamento do solo, alguns parâmetros da solução do solo, como o potencial redox (Eh), o pH e as concentrações de Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, estão relacionados com a intensidade de oxirredução e podem auxiliar na explicação de variações observadas nas emissões de gases de efeito estufa.

As coletas de solução do solo devem ser realizadas simultaneamente às coletas de gases de efeito estufa. Para tanto, anteriormente ao início do alagamento do solo, devem ser instalados, na profundidade 10 cm (profundidade em que estão concentradas as raízes de plantas em solos de terras baixas), próximo às câmaras coletoras de gás,

extratores de solução do solo semelhantes aos descritos em Sousa et al. (2002), com adaptações para coletas de campo.

### **Descrição do sistema amostrador de solução do solo**

O dispositivo de coleta da solução de solos alagados em condições de campo constitui-se de um tubo de polietileno com 70 cm de comprimento, 6 mm de diâmetro interno e 7 mm de diâmetro externo perfurado com duas fileiras de pequenos orifícios com aproximadamente 1 mm de diâmetro (Figura 13). Uma das extremidades do dispositivo deve ser fechada com o auxílio de um ferro aquecido. O tubo de polietileno deve ser revestido, a partir da extremidade fechada, com tela de “nylon” (tecido utilizado em serigrafia), com malha de 400 mesh, ao longo de toda a porção perfurada. Na sequência, a tela deve ser amarrada firmemente com linha de nylon, para impedir que partículas mais finas de solo penetrem no tubo juntamente com a solução do solo (Figura 14). O tubo deve ser enrolado sobre si, na forma de uma espiral, mantendo-se aproximadamente 2 cm de distância entre cada volta da espiral.

O dispositivo de extração da solução do solo deve, então, ser ligado a um outro tubo flexível de polietileno (tipo espaguete) de 2 mm de diâmetro e 65 cm de comprimento, o qual deve estar fixado a uma estaca com aproximadamente 1,35 m de altura (Figura 15).

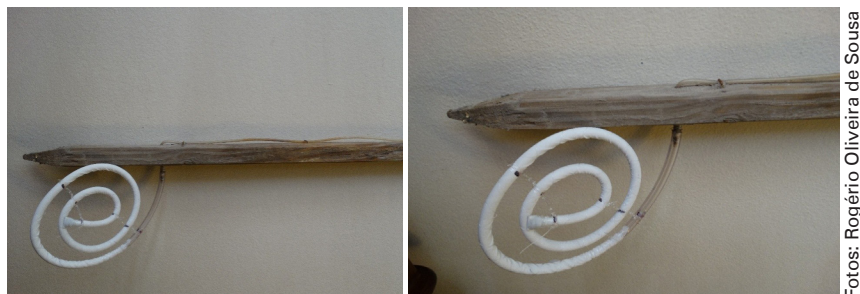
Fotos: Rogério Oliveira de Sousa



**Figura 13.** Confecção de furos em um dos lados do tubo de polietileno com o auxílio de um ferro de soldar adaptado com um fio de cobre bifurcado, em substituição à ponta tradicional.



**Figura 14.** Recobrimento do tubo de polietileno com tela de “nylon” e fixação com linha de “nylon”.



**Figura 15.** Dispositivo de coleta de solução do solo fixado em estaca de madeira.

Em cultivos de arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco, o conjunto extrator de solução do solo deve ser instalado após a emergência da cultura e antecedendo o início da irrigação definitiva, tomando-se o cuidado para que fique posicionado na profundidade de 10 cm (Figura 16).



**Figura 16.** Procedimentos de instalação de dispositivo de coleta da solução do solo em lavoura de arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco, incluindo a abertura de buraco na profundidade de 10 cm (a), colocação do dispositivo de coleta (b); conferência da profundidade (c); e posterior cobertura com solo (d).

No sistema de cultivo de arroz pré-germinado, o uso de extratores de solução do solo somente é possível se o preparo do solo for realizado em solo seco. Nesse caso, a instalação do coletor de solução do solo deve ser realizada após o preparo, antecedendo a inundação da área, para a semeadura do arroz. Também para esse sistema, o dispositivo para a coleta de solução deve ser posicionado na profundidade de maior concentração de raízes efetivas da cultura. Como as coletas de solução do solo são realizadas, normalmente, durante o período em que o solo se encontra alagado, avaliações em áreas de terras baixas naturais são possíveis apenas durante o período em que o solo permanece alagado, coincidindo com a estação chuvosa. Nessa condição, os coletores de solução do solo devem ser instalados pouco antes do início do período chuvoso, quando o solo ainda se encontra drenado.

### **Procedimento de coleta de amostras e análise de solução do solo**

A coleta da solução do solo é realizada acoplando-se o dispositivo de coleta a uma seringa com capacidade de 60 mL, que é utilizada para aplicar vácuo ao sistema, possibilitando o recolhimento da solução do solo por sucção (Figura 17)





Foto: Rogério Oliveira de Sousa

**Figura 17.** Procedimento de coleta de solução do solo por sucção em cultivo de arroz irrigado, utilizando-se seringa com capacidade para 60 mL.

As análises de pH e Eh da solução do solo devem ser realizadas *in situ*, imediatamente após a coleta de solução, utilizando-se eletrodos combinados específicos, ligados a dois potenciômetros (um equipamento para cada eletrodo) e previamente instalados em uma célula eletrométrica (Figura 18), construída em vidro, semelhante à utilizada por Sousa et al. (2002). Como a célula é totalmente preenchida de solução do solo durante as leituras, é possível minimizar seu contato com o oxigênio molecular, diminuindo os riscos de alteração de suas características eletroquímicas.



Foto: Rogério Oliveira de Sousa



**Figura 18.** Procedimento de medida do potencial redox (Eh) e do pH com a solução do solo no interior da câmara eletrométrica.

Imediatamente após as determinações de pH e Eh, as amostras devem ser filtradas em membrana de ésteres e celulose ( $0,45\mu\text{m}$ ), transferindo-se aproximadamente 30 mL de solução para frascos previamente preenchidos com 1 mL de solução  $3\text{ mol L}^{-1}$  de HCl, de forma que a concentração final de HCl na amostra seja de aproximadamente  $0,1\text{ mol L}^{-1}$  (Figura 19).

Os frascos com as amostras de solução de solo devem ser levados ao laboratório e mantidos sobre refrigeração até que seja possível proceder às demais análises. Isso deve ocorrer com a maior brevidade possível. A determinação das concentrações de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  são realizadas por espectrofotometria de absorção atômica e as de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  por destilação a vapor, seguindo-se procedimentos descritos em Tedesco et al. (1995).

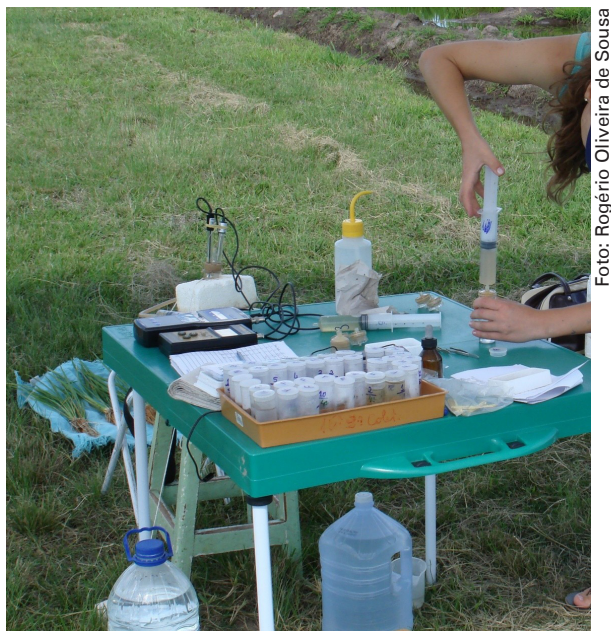


Foto: Rogério Oliveira de Sousa

**Figura 19.** Filtragem da solução do solo em filtro 0,45  $\mu\text{m}$  e transferência para os frascos de transporte e estocagem.

Além da caracterização da solução do solo, outras informações e variáveis auxiliares são importantes para a compreensão e correta interpretação das emissões de gases de efeito estufa em sistemas alagados, destacando-se:

- Histórico de cultivo (sistema de culturas – rotação e sucessão de culturas, sistema de preparo do solo, quantidade e qualidade de resíduos vegetais).
- Solo (classificação e caracterização – atributos químicos, físicos, eletroquímicos e biológicos).
- Variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, precipitação, temperatura do solo, temperatura da água, tensão de água no solo, etc.).

- Cultivar de arroz (ciclo biológico, número de perfilhos, área foliar, estatura de planta, produção de biomassa, produtividade de grãos, componentes de produtividade e rendimento industrial).
- Teor de nutrientes no tecido vegetal.
- Acompanhamento dos estádios de desenvolvimento do arroz – escala de Counce et al. (2000).
- Período de irrigação, água aplicada, água utilizada e altura da lâmina de água.
- Manejo da adubação.

## Referências

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N<sub>2</sub>O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 129-135, 2012.

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; PEDROSO, G. M.; ROSA, C. M.; CAMARGO, E. S.; BOENI, M.; MARCOLIN, E.; REIS, C. E. S.; SANTOS, D. C. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scale greenhouse gas emission from flooded irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil Tillage Research**, v. 145, p. 118-125, 2015.

CHOUDHARY, H. A.; AKRAMKHANOV, A.; SAGGAR, S. Nitrous oxide emissions from New Zealand cropped soil, tillage effects, spatial and seasonal variability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 33-43, 2002.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.

COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. S.; PICCOLO, M. C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical 16 climate. **Soil Tillage Research**, v. 106, p. 36-44, 2009.

HUTCHINSON, G. L.; LIVINGSTON, G. P. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M.; ROLSTON, D. E. (Ed.). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Madison: ASA; CSSA; SSA, 1993. p. 63-78. (ASA Specc. Publ. 55).

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, n. 2, p. 161- 73, 2008.

MATTHIAS, A. D.; BLACKMER, A. M.; BREMNER, J. M. A simple chamber technique for field measurement of emissions of nitrous oxide from soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 9, p. 251-256, 1980.

MINAMIKAWA, K.; TOKIDA, T.; SUDO, S.; PADRE, A.; YAGI, K. **Guidelines for measuring CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from rice paddies by manually operated closed chamber method**. Tsukuba: National Institute for Agro-Environmental Sciences, 2015. 76 p.

MOSIER, A. R.; DELGADO, J. A.; KELLER, M. Methane and nitrous oxide fluxes in an acid Oxisol in western Puerto Rico: effects of tillage, liming and fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 2087–2098, 1998.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016.

SOUSA, R. O. de; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 343-348, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

