



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

PROJETO DE UM SISTEMA DE MICROCOSMOS PARA BIOMONITORAMENTO DE VAZAMENTO DE CO₂

Letícia Azambuja dos Santos Licks¹ – leticia.licks@pucrs.br
Catterina Bonato Kunzler¹ – catterina.kunzler@acad.pucrs.br
Rodrigo Sebastian Iglesias^{1,2} – rodrigo.iglesias@pucrs.br
Claudio Luis Crescente Frankenberg¹ – claudio@pucrs.br

¹ Escola Politécnica ²Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS

Resumo: Este trabalho apresenta um projeto de um sistema de microcosmos para a injeção controlada de CO₂ em solo saturado e insaturado. Para isto, foi realizado um estudo em referências técnicas onde os aspectos principais de confecção foram a dimensão e material da coluna. A partir, do estudo e da disponibilidade de matérias foi criado um sistema com três colunas (replicatas biológicas) com injeção de fluxo ascendente contínuo de CO₂ a partir de um dispersor de gás. Para as colunas com solo saturado, foi adicionado um sistema de dispersão e purga de água. Por meio da metodologia e do estudo empregado, foi possível projetar um sistema de ensaio em colunas com solo saturado e insaturado de maneira com que o CO₂ percolasse por todo o solo presente na coluna. O sistema empregado também possibilitou a coleta de amostras e suas análises.

Palavras-chave: microcosmos, CO₂, colunas de solo, biomonitoramento.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

INSTRUCTIONS FOR THE PREPARATION AND SUBMISSION OF PAPERS TO BE PUBLISHED IN THE PROCEEDINGS OF THE 10º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL

Abstract: *This work aims a project of a microcosm system for the controlled injection of CO₂ into saturated and unsaturated soil. For this, a study was carried out in technical references where the main aspects of confection were the size and material of the column. From the study and the availability of materials, a three column system (biological replicates) was created with continuous upward flow of CO₂ injection from a gas disperser. For the columns with saturated soil, a dispersion and water purge system was added. Through the methodology and the study employed, it was possible to design a test system in columns with saturated and unsaturated soil so that CO₂ percolated throughout the soil present in the column. The system employed also enabled the collection of samples and their analysis.*

Keywords: *microcosms, CO₂, soil columns, biomonitoring.*

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo, estão diretamente relacionadas às emissões antropogênicas de dióxido de carbono. Essas são causadas principalmente pelo uso excessivo de combustíveis fósseis.

Uma opção para a estabilização da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera é a tecnologia de Captura e Armazenamento Geológico de Carbono, que consiste em coletar o CO₂ produzido por fontes industriais, transportá-lo para um local adequado e longe da atmosfera, por um determinado período de tempo (IPCC, 2005).

Segundo Foltram (2011), apesar de serem promissoras, as tecnologias de captura e armazenamento de CO₂ não estão livres de riscos. Com o gás já armazenado, o problema passa a ser a possibilidade de vazamento.

Para garantir a confiabilidade e eficácia do armazenamento e minimizar os riscos de escape e impactos ambientais, destaca-se a importância da implantação e validação de técnicas de Medição, Monitoramento e Verificação (MMV) de CO₂ aplicadas ao *site* de estocagem (NETL, 2009). Para a implantação e desenvolvimento de um laboratório de campo, é necessário um estudo prévio do local onde serão conduzidos os experimentos de vazamento controlado de CO₂ (MELO, 2012). A caracterização do solo é fundamental para a determinação de possíveis mudanças ambientais passíveis à liberação do gás.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Experimentos em microcosmos podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento de biossensores e outros métodos de monitoramento microbiológico, podendo ser utilizado como uma ferramenta de MMV. Apesar disso, poucos estudos são realizados para aplicá-los diretamente em Captura e Armazenamento de Carbono (ou CCS, do inglês *Carbon Capture and Storage*), indicando uma necessidade de futuras pesquisas para um melhor entendimento do comportamento dos microrganismos (NOBLE *et al.*, 2012).

Os ensaios em microcosmos (colunas) buscam simular condições de campo, porém com maior controle de entrada dos gases e análises em diferentes condições. Normalmente nesses ensaios é injetado ar atmosférico ou outros gases nas colunas preenchidas com o substrato a ser estudado (ARAUJO, 2014). Na construção das colunas, questões técnicas podem afetar o resultado do experimento, pois podem se formar vias preferencias de percolação, regimes de umidade irreais e injeção de infiltração não ideal (LEWIS; SJÖSTROM, 2010). Östeirreicher-Cunha *et al.* (2014) avaliaram o efeito do aumento da quantidade de CO₂ sobre a microbiota e as propriedades físico químicas de um solo tropical não saturado a partir de um microcosmo construído em PVC de 60 cm de altura e 20 cm de diâmetro conectado a um cilindro de CO₂. O gás foi injetado na coluna no sentido ascendente e foi avaliado por um período de incubação de até 90 dias.

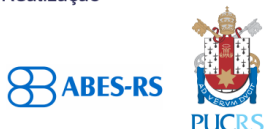
Os experimentos em colunas com solo indeformado permitem avaliar os efeitos do CO₂ como se estivesse avaliando nos poços de estocagem (Östeirreicher-Cunha *et al.*, 2014). Colunas de solo insaturado são conhecidos como lisímetros (termo utilizado para colunas de solo ao ar livre), sem definição para requisito mínimo de tamanho. São caracterizadas por terem ar e água (ou outro líquido) nos poros, e são utilizados para reproduzir características encontradas no solo aerado. Já as colunas que operam em regime saturado, têm seus poros preenchidos com um líquido, como a água, ou um líquido não aquoso, como uma fase oleosa. Não possuem ar ou fase gasosa presente nos poros e são geralmente utilizadas para reproduzir as condições encontradas em um aquífero (LEWIS; SJÖSTROM, 2010).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é projetar um sistema de ensaio em colunas com amostras de solo saturado e insaturado para injeção de CO₂, possibilitando a retirada de amostras de solo e suas análises.

2. METODOLOGIA

Para a realização do experimento foi feito um estudo bibliográfico para determinar o tipo e as características das colunas a serem utilizadas nos ensaios. Foram avaliadas técnicas, tamanhos e

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



materiais que pudessem ser utilizados na confecção de um sistema para aferição dos dados experimentais. Para a construção do microcosmos foram levantados como pontos principais, o material de confecção e a dimensão da coluna. O Quadro 1 apresentada apresenta os principais estudos utilizados na definição dos sistemas de colunas.

Quadro 1 – Principais referencias utilizadas na escolha do material e dimensão das colunas.

| Estudo | Colunas | | | Referência |
|--|----------|----------------------------------|--|------------|
| | Material | Dimensão | Informações | |
| Como as comunidades microbianas metanotróficas, em uma variedade de solos, respondiam à presença de gás metano | PVC | 1 m x 0,15 m | 90 cm de solo; | [1] |
| | | | Fluxo de Metano ascendente ($5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$); | |
| | | | Fluxo de ar descendente ($300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) | |
| Testar potencial de oxidação do metano em adubos | Acrílico | 1m x 0,14m | Amostragem a cada 0,05 m da coluna; | [2] |
| | | | Fluxo ascendente | |
| Obtenção de design para a construção de uma cobertura oxidante de metano e analisar a capacidade oxidante deste gás | PVC | 1,07 m x 0,19m | Amostragem a cada 0,10 m da coluna; | [3] |
| | | | Fluxo ascendente | |
| | | | Purga de água | |
| Efeito do aumento da quantidade de CO_2 sobre a microbiota e as propriedades física e químicas de um solo tropical não saturado | PVC | 0,6 m x 0,2 m | Fluxo ascendente ($1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) por 2h 3x e 5x por semana. | [4] |
| | | | 1 cilindro de CO_2 . | |
| | | | Incubação de 90 dias de ensaio | |
| Relação da dispersividade das propriedades do solo em colunas homogêneas, saturadas e empacotadas | - | Diâmetros $\geq 7,59 \text{ cm}$ | Maior dispersividade e que esta irá variar somente com a altura da coluna. | [5] |
| | | Colunas $> 10,7 \text{ cm}$ | Produzem maiores dispersividades, apesar dos efeitos de escalonamento sugerirem o contrário. | |

[1] Kightley, Nedwell e Cooper (1995); [2] Wilshusen, Herriaratchi e Stein (2004); [3] Rachor et al. (2011); [4] Östeirreicher-Cunha et al. (2014); [5] Bromly et al. (2007).



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

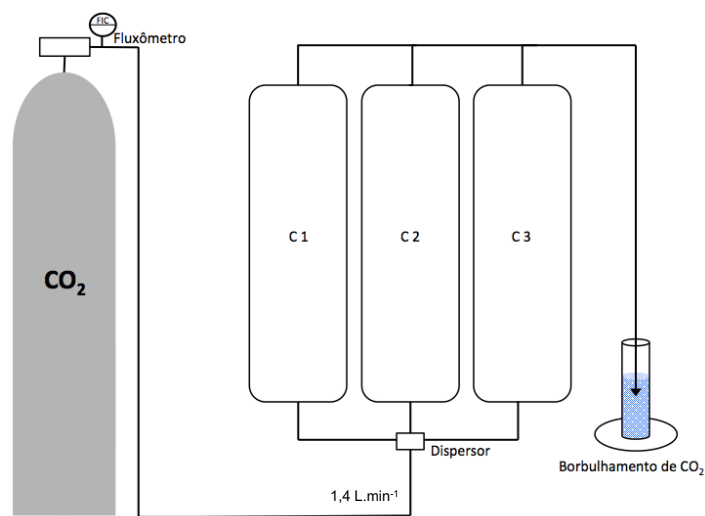
02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Para cada ensaio (solo saturado e solo insaturado) foi utilizado um cilindro de CO₂ (8m³) com fluxo ascendente para simular o movimento natural do gás em uma situação de escape. A vazão de percolação do CO₂ foi definida em 1,4 L.min⁻¹, controlada por um fluxômetro, e distribuída por um dispersor de gás em três colunas (replicatas biológicas). Para monitoramento da saída de gás, o efluente das colunas foi borbulhado em sabão diluído (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma do sistema de injeção de CO₂ em colunas com solo insaturado.

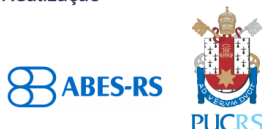


Foram confeccionadas 8 colunas, 4 colunas para o ensaio com solo saturado e 4 para o ensaio com solo insaturado. Além das triplicatas biológicas uma coluna para cada ensaio foi utilizada sem percolação de CO₂. As colunas permaneceram a temperatura controlada de 23 ± 3°C durante todo o tempo do ensaio, que teve a duração de 160 dias, sendo os quatro primeiros com injeção de CO₂ e os demais dias o período de incubação.

3. RESULTADOS

Para a escolha do material, além dos estudos apresentados, foram considerados os custos, disponibilidade de recursos e de confecção das colunas. Os microcosmos, foram confeccionadas com PVC no LABFAB da Escola Politécnica da PUCRS, com 15 cm de diâmetro externo, 14,2 cm de

Realização



Correalização



Informações:

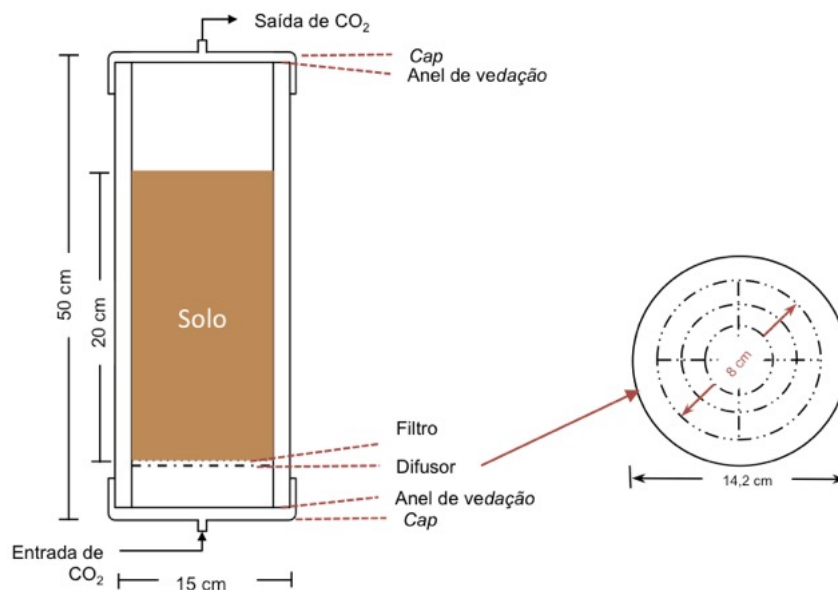
qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



diâmetro interno e 50 cm de altura. Para o fechamento da coluna foram utilizados dois *caps* (tampas de PVC), inferior e superior, onde foram instaladas entradas e saídas para o fluxo de ar e água.

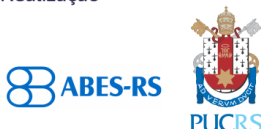
Com o intuito de realizar experimentos tanto com solo insaturado e saturado, as colunas foram projetadas de forma distinta para cada tipo de solo. Na coluna para o solo insaturado foi instalada na base uma entrada para o gás e, no topo, uma saída. Foi utilizado um difusor de fluxo de gás (com 14,2 cm de diâmetro e com ranhuras para a dispersão do gás do centro até 8 cm de diâmetro), e papel filtro quantitativo (11 cm de diâmetro e com poros de 8 μm), para garantir o correto escoamento e evitar caminhos preferenciais. As colunas foram seladas e vedadas com anéis de vedação (*O-rings*) entre os *caps* e o tubo. A Figura 2 apresenta um esquema da coluna para solo insaturado e um detalhamento da vista superior do difusor de CO_2 . Os difusores de gás e os dispersores foram desenvolvidos no LABFAB.

Figura 2 – Representação esquemática da coluna para solo insaturado com o detalhamento da vista superior do difusor de gás.



A coluna para solo saturado além do ter as mesmas dimensões e características da coluna para solo insaturado, possui uma entrada e um aspersor para a distribuição homogênea de água no topo da coluna e uma purga na parte inferior. O solo foi saturado antes do ensaio e essa foi mantida durante o teste a partir da reposição de água diariamente. A Figura 3 exibe um esquema da coluna para solo saturado.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



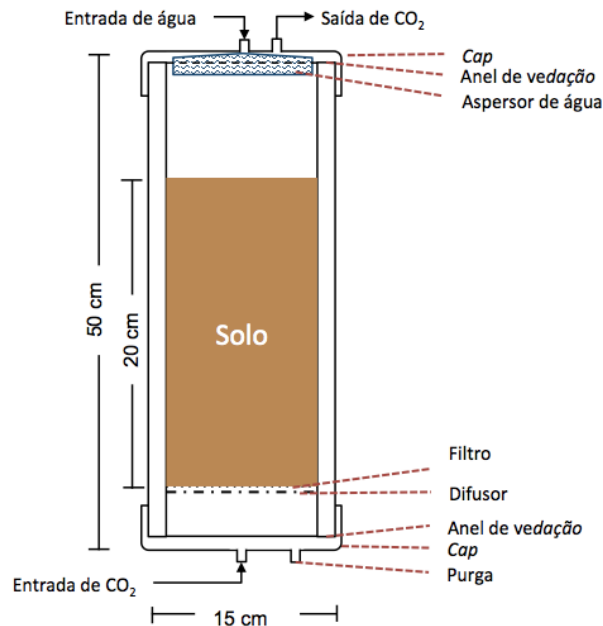
11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Figura 2 – Representação esquemática da coluna para solo saturado

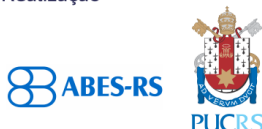


4. CONCLUSÃO

Quanto as colunas e seus componentes projetados para o sistema de microcosmos, pode-se constatar que as dimensões, materiais e dispositivos como o dispersor de vazão e o difusor de gás, foram adequados aos ensaios em microcosmos com fluxo ascendente, permitindo a retirada de amostra e controle adequado dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Além disso, pela utilização do PVC como material, foi viável a coleta de maneira indeformada por cravamento, o que preserva as características do solo. Portanto, o modelo experimental dos ensaios em microcosmos foi adequado aos experimentos realizados com solo insaturado e saturado.

Destaca-se ainda que a saturação em uma operação com injeção em fluxo ascendente e contínuo é complexa pois a água precisa se manter no solo e não pode alterar a vazão e o deslocamento do gás no meio. O procedimento para manter o solo encharcado adotado não afetou o sistema contínuo, no entanto, seria interessante estudar-se um maior controle deste processo.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Por meio da metodologia e do estudo empregado, foi possível projetar um sistema de ensaio em colunas com solo saturado e insaturado de maneira com que o CO₂ percolasse por todo o solo presente na coluna.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, L. B. **Estudo de emissões de gases em colunas de solo simulando camadas de cobertura oxidativa de aterro sanitário**. Recife. 2014. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

BROMLY, M.; HINZ, C.; AYLMORE, L. A. G. *Relation of dispersivity to properties of homogeneous saturated repacked soil columns*. **European journal of soil science**, v. 58, [n. 1, p. 293-301](#), 2007.

FOLTRAM, Rafael. Estoca-se Gás Carbônico. Instituto Ciência Hoje- ICH. 2011. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/04/estoca-se-gas-carbonico/>>. Acesso em 03 de abril de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York. 2005.

KIGHTLEY, D.; NEDWELL, D. B.; COOPER, M. *Capacity for methane oxidation in landfill cover soils measured in laboratory-scale soil microcosms*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 2, p. 592-601, 1995.

LEWIS, J.; SJÖSTROM, J. *Optimizing the experimental design of soil columns in saturated and unsaturated transport experiments*. **Journal of contaminant hydrology**, v. 115, n. 1, p. 1-13, 2010.

MELO, C. L. **Técnicas de Monitoramento para Armazenamento Geológico de CO₂**. I Curso Básico- Compreendendo a Captura e o Armazenamento de Carbono. 2012. Disponível em: <http://www.pucrs.br/cepac/download/lccac/16_Monitoramento_CO2_Superficie_-_Clarissa_Melo.pdf>. Acesso em 25 de março de 2016.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY- NETL. *Best Practices for: Monitoring, Verification Accounting of CO₂ Stored in Deep Geologic Formations*. DOE/NTEL-311/081508. 2009.

NOBLE, R. *et al.*, *Biological monitoring for carbon capture and storage: A review and potential future developments*. **Greenhouse Gas Control**, v. 10, p.520-535, 2012.

ÖSTERREICHER-CUNHA, Patricia *et al.* Experimental evaluation of CO₂ percolation effects on subsurface soil microbiota. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 32, p. 135-146, 2015.

RACHOR, I. *et al.* *Assessment of the methane oxidation capacity of compacted soils intended for use as landfill cover materials*. **Waste management**, v. 31, n. 5, p. 833-842, 2011.

WILSHUSEN, J. H.; HETTIARATCHI, J. P. A.; STEIN, V. B. *Long-term behavior of passively aerated compost methanotrophic biofilter columns*. **Waste Management**, v. 24, n. 7, p. 643-653, 2004.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375