

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia  
técnica  
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas  
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia  
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



# PROTEÇÃO DE EDIFÍCIOS EM TERRENOS COM GÁS METANO – O CASO DA USP LESTE

Scandar Gasperazzo Ignatius

Eng. Civil Pesquisador, Inst. Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, Brasil, [ignatius@ipt.br](mailto:ignatius@ipt.br)

Fabiana Cagnon

Geóloga, R&C Projetos em Geologia S.S., São Paulo, Brasil, [fa.cagnon@uol.com.br](mailto:fa.cagnon@uol.com.br)

Marcela Maciel de Araújo

Eng. Ambiental Pesquisadora, Inst. Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, Brasil, [marcelam@ipt.br](mailto:marcelam@ipt.br)

Osvaldo Shigueru Nakao

Professor doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, [nakao@usp.br](mailto:nakao@usp.br)

Caluan Rodrigues Capozzoli

Eng. Ambiental, Comp. Pesquisas Recursos Minerais – CPRM, São Paulo, Brasil, [caluan@gmail.com](mailto:caluan@gmail.com)

**RESUMO:** Estudos teórico-experimentais permitiram adaptar os sistemas pré-existentes de proteção dos edifícios da USP Leste contra emissão de gás metano do subsolo, de maneira que apresentassem funcionamento mais eficaz, mesmo tendo sido instalados em terreno cujo subsolo se encontra permanentemente com elevado grau de saturação. As adaptações feitas nos sistemas anteriormente instalados basearam-se no conceito de ventilação dos tapetes de brita existentes sob as lajes de piso dos edifícios, tendo sido calculadas as velocidades do ar nos tapetes e as vazões necessárias nas bombas de sucção (exaustores), por meio de modelagem numérica, para garantir que não haja intrusão de gás nos edifícios, nem tampouco acumulação sob as lajes de piso, duas condições que devem ser atendidas no caso de gases inflamáveis como o metano. A eficácia dos sistemas tem sido verificada por meio de medições periódicas em um conjunto de poços de monitoramento de gases instalados em três profundidades abaixo das lajes de piso dos edifícios no campus.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de ventilação de gás; Metano; Explosividade; Contaminação; USP Leste.

**ABSTRACT:** Theoretical-experimental studies made it possible to adapt the pre-existing protection systems of USP Leste buildings against the emanation of methane gas from the subsoil, in such a way that they would function effectively, even though they were installed in land whose subsoil is permanently with a high degree of saturation. The adaptations made to the systems previously installed were based on the concept of ventilation of the existing gravel mats under the floor slabs of the buildings, with the air velocities in the mats and the necessary flow rates in the suction pumps (exhausts) having been calculated by means of numerical modeling to ensure that there is no gas intrusion into buildings, nor accumulation under floor slabs, two conditions that must be met in the case of flammable gases such as methane. The systems' effectiveness has been verified through periodic measurements in a set of gas monitoring wells installed at three depths below the floor slabs of buildings on campus.

**KEYWORDS:** Gas ventilation systems; Methane; Explosivity; Contamination; USP Leste.

## 1 Introdução

A área objeto do trabalho é parte do Campus da Universidade de São Paulo (USP), denominada “Área Capital-Leste” (USP Leste), localizado na zona leste da cidade de São Paulo (SP), na Rua Arlindo Bettio, nº 1000, Vila Guaraciaba, que abriga a Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP (EACH). O campus



conta com 13 conjuntos de edificações principais, somando aproximadamente 44.000 m<sup>2</sup> de área construída. A propriedade está parcialmente inserida na Área de Proteção Ambiental da Várzea do Rio Tietê, circundada por córregos parcialmente canalizados e nas vizinhanças de antigas lagoas e braços aterrados do rio após sua retificação (Mendonça, 2012).

Previamente à construção dos edifícios da EACH, foram efetuadas campanhas de medição de gases a 0,5 m e 1,0 m de profundidade, que indicaram presença de gás metano (CH<sub>4</sub>) no subsolo. Gás metano, como se sabe, é inflamável, em concentrações de 5% a 15% em volume no ar atmosférico. Concentração de 5% equivale a LEL = 100% (*Lower Explosive Limit*).

Em consequência, foram instalados sistemas de proteção dos edifícios, constituídos por conjuntos de drenos (tubos-filtro geomecânicos perfurados) localizados na base de trincheiras de brita associadas aos tapetes, também de brita, sob as lajes de piso. O sistema todo seria mantido sob vácuo, por meio de bombas de sucção, com o objetivo de extrair gás do subsolo ou simplesmente manter pressão negativa (abaixo da atmosférica) sob os edifícios. Essa solução tem sido amplamente utilizada no meio técnico, sendo conhecida por *Sub-slab Depressurization* (SSD) (USEPA, 2008), que, no entanto, nesse caso, foi considerada inadequada, porque, em ensaios de verificação dos sistemas, implantados em dois dos edifícios do campus, o I 1 e o I 3, não se conseguiu pressão de vácuo em alguns dos pontos de medida, além de ocorrer entrada de água para as bombas, problema atribuído às baixas profundidades do nível de água, chegando a cerca de 0,7 m ou menos, em alguns locais, e ao conseqüentemente elevado grau de saturação do subsolo local.

Além disso, considera-se que, ainda que se pudesse garantir que todo o sistema de tubos, trincheiras e tapetes de brita permanecessem secos, mesmo imersos em solo totalmente saturado, garantir pressão de sucção sob as lajes de piso, num sistema fechado, sem vazão, por certo impediria fluxo advectivo de gás para o interior das edificações, porém não garantiria diminuição da concentração de metano nos bolsões de ar sob as lajes de piso abaixo dos níveis de concentração de segurança. Em consequência, mesmo sob pressão abaixo da atmosférica, o gás poderia continuar fluindo por difusão para o interior das edificações.

Ademais, o elevado grau de saturação do subsolo, embora praticamente inviabilize fluxo advectivo de ar sob vácuo em um sistema convencional de extração de gás do subsolo, não impede que o gás produzido nas camadas inferiores seja lentamente transportado por difusão ou borbulhamento através da água, acumulando-se sob as lajes de piso. Ensaios de campo e de laboratório efetuados no local pelo IPT (IPT, 2009) a cerca de 1,0 m de profundidade indicaram graus de saturação entre 66% e 100% e coeficientes de permeabilidade intrínsecos efetivos, em ensaios por percolação de ar, na faixa de 10<sup>-15</sup> m<sup>2</sup> a 10<sup>-17</sup> m<sup>2</sup>. Apesar dessa baixa permeabilidade, continuam sendo detectadas elevadas concentrações de metano (até 84,8% v/v), no solo entre 1,0 m e 1,5 m de profundidade (Weber, 2021), mas não no espaço sob as lajes, após implantação dos novos sistemas de ventilação, como relatado a seguir.

## 2 Soluções Atualmente Relatadas na Bibliografia

O gás metano, inflamável, embaixo ou próximo de uma edificação, representa risco caracterizado pela conjunção de três fatores (Card, Wilson e Mortimer, 2012):

- Uma fonte expressiva de gás no solo;
- Um caminho que permita que o gás migre rápido o suficiente para se acumular em concentração que ofereça risco;
- Um espaço confinado, receptor, na edificação onde o gás possa se acumular em concentração que ofereça risco.

Assim sendo, as estratégias de proteção contra o gás metano são estabelecidas em função do risco da conexão fonte-caminho-receptor, que está associado ao local e ao tipo de construção. Quando não é possível eliminar a fonte, o princípio orientador para o dimensionamento de sistemas de proteção é interromper o caminho de exposição da fonte ao receptor, por meio das seguintes abordagens (Wilson, Card e Haines, 2009; USEPA, 2015; NHBC, 2007):

- Barreiras impermeáveis ou de ventilação, verticais ou horizontais, instaladas no subsolo, para evitar a migração lateral ou vertical de gás;
- Extração ativa de gás do solo para controlar as pressões do gás;



- Barreiras impermeáveis nos perímetros das construções;
- Ventilação abaixo de edifícios (geralmente um vazio sob a laje de piso ou camada de ventilação), podendo ser ativa, por pressurização ou depressurização, ou passiva;
- Sistemas de monitoramento e alarme;
- Depressurização ativa sob a laje.

McLaughlin e Peterson (2006) lembram ainda a eventual necessidade de posicionar barreiras em instalações subterrâneas como dutos de água, esgoto e gás.

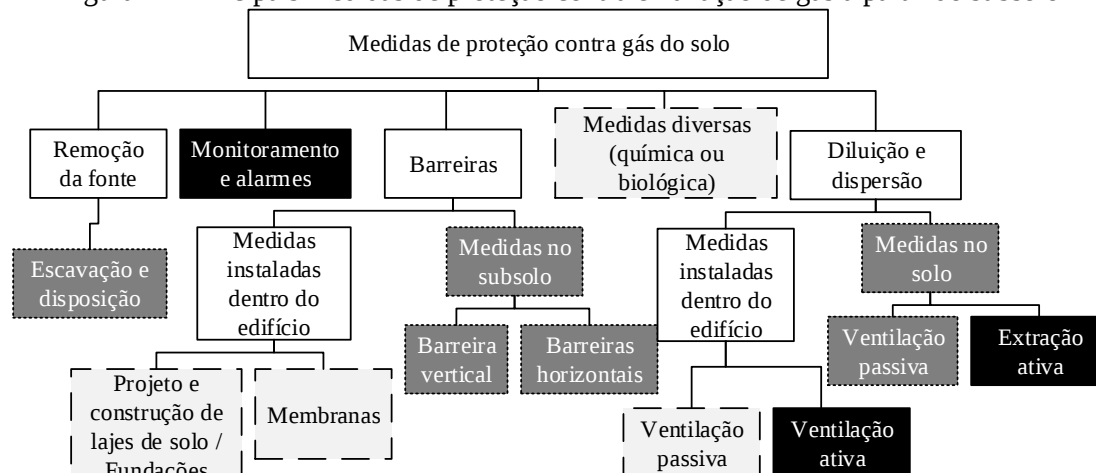
Segundo a NHBC (2007), as medidas de proteção são divididas em duas categorias principais:

- Sistemas ativos: atuam por meio de bombeamento mecânico do ar. Geralmente, estes sistemas não são recomendados para empreendimentos residenciais pequenos devido à manutenção necessária para operação; e
- Sistemas passivos: liberação controlada de gás/vapor por instalação de superfícies especiais, como barreiras, por exemplo.

Wilson, Card e Haines (2009) consideram que os principais métodos de proteção de edifícios contra a entrada de gás são: construção de laje de piso robusta e barreira resistente a gás em toda a laje de piso combinada com a ventilação passiva sob o piso ou pressurização positiva.

A Figura 1 apresenta as principais medidas de mitigação do risco relacionadas à presença de gás no subsolo (NHBC, 2007).

Figura 1 - Principais medidas de proteção contra emissão de gás a partir do subsolo



[---] Técnica de terraplanagem que pode ser adequada para empreendimentos residenciais pequenos.

[---] Técnica de construção geralmente considerada inadequada para empreendimentos residenciais.

[---] Técnica de construção adequada para empreendimentos residenciais pequenos.

Fonte: National House-Building Council (2007).

### 3 Solução Proposta e Implementada

A constatação do problema enfrentado pela USP no campus da EACH-USP Leste conduziu à proposição de outra solução, descrita a seguir (IPT, 2007, 2009, 2011, 2012, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d).

O problema colocado pela presença de gás ou vapor no subsolo costuma ser tratado no âmbito das tecnologias de mitigação da intrusão de vapor em edifícios (*vapor intrusion*), apesar de que, no caso de vapor ou gás inflamável, não basta impedir sua intrusão nos edifícios, sendo também necessário impedir sua acumulação sob as lajes de piso, devido ao risco de explosão. A solução proposta, e a seguir implementada na USP Leste, procurou atender a esses dois objetivos básicos, buscando-se, ainda, aproveitar elementos da solução anteriormente adotada (foram mantidos os tapetes de brita sob as lajes e, em alguns casos, algumas tubulações drenantes), mínimo impacto visual e ruído (respeitando o uso da área como campus



universitário), facilidade e baixo custo de operação e manutenção. As soluções adotadas foram individualizadas, levando em conta a tipologia de cada edificação.

Como o valor mínimo recomendado do coeficiente de permeabilidade intrínseco efetivo do solo é de  $10^{-14}$  m<sup>2</sup>, para sistemas de extração de gás do subsolo (USACE, 2002), considerou-se inviável a instalação de drenos de gás no próprio solo abaixo dos edifícios.

A solução indicada foi ventilação forçada, por sucção, do tapete de brita existente sob as lajes, induzindo, no tapete, uma rede de fluxo de ar atmosférico. Os elementos mais profundos dos sistemas anteriormente implementados, como as trincheiras de brita e as tubulações drenantes (tubos-filtro geomecânicos perfurados) foram tamponados, a não ser em alguns dos edifícios em que parte das tubulações drenantes foi aproveitada no novo sistema. Perfurações nas vigas baldrame previamente existentes, providenciaram conexão entre os vários “panos” de tapete de brita sob as lajes de piso. Os tapetes de brita encontram-se bem acima do lençol de água subterrânea e, mesmo estando em contato com o solo saturado, não se saturam por capilaridade, devido à grande dimensão dos seus poros, o que permite pleno fluxo de ar por eles.

Foram propostas, como parte integrante dos sistemas, perfurações nas lajes, estrategicamente localizadas, alcançando os tapetes de brita, para providenciar pontos de entrada de ar atmosférico e pontos de extração ativa de ar por exaustores.

O sistema aéreo ligando os pontos de extração nas lajes aos exaustores é constituído de tubulações e válvulas que podem ser abertas ou fechadas de maneira a concentrar a sucção em alguns locais dos sistemas que eventualmente os sensores de monitoramento indiquem como sendo momentaneamente mais críticos (WEBER, 2020).

Após a elaboração de estudos, ensaios de campo e laboratório e ensaio piloto no local, foram calculadas as vazões e pressões necessárias, considerando as perdas de carga nos elementos dos sistemas, e instalados 22 sistemas de ventilação de gases sob 13 conjuntos de edificações da USP Leste, que operam continuamente desde o ano de 2014.

#### 4 Operacionalização da Solução

Várias alternativas de localização dos pontos de extração e de entrada de ar para os tapetes de brita sob as lajes de piso de cada edifício foram estudadas para escolha da mais adequada. Isso foi feito com o programa de computador Visual ModFlow (VMF) (Guiguer e Franz, 1996), utilizado de acordo com as adaptações sugeridas em ASTM D5719-13 (*Standard Guide for Simulation of Subsurface Airflow Using Groundwater Flow Modeling Codes*) para modelagem de fluxo de ar em meio poroso. Para a melhor alternativa, foi desenhada a rede de fluxo de ar gerada no tapete de brita, com indicação das velocidades do ar, e calculadas as pressões e as vazões dos exaustores.

Aplicação da equação para fluxo de ar em um meio poroso pode ser efetuada de maneira simplificada se for possível considerar o fluido como incompressível, o que implica que a diferença de pressões aplicada ao fluxo seja menor que cerca de 0,2 atm (Ignatius, 1999; ASTM D5719-13). Nesse caso, o erro envolvido na aplicação da teoria é menor que 1%. Se forem aplicadas diferenças de pressão até 0,8 atm o erro envolvido é menor que 5% (ASTM D5719-13). Para maiores diferenças de pressão, seria necessário considerar o ar como fluido compressível, a vazão seria dependente do quadrado das pressões aplicadas, havendo necessidade de se considerar as pressões absolutas e não apenas a diferença das pressões relativas, o que complicaria desnecessariamente as equações e a análise para a maioria dos casos práticos.

A equação para fluxo de ar, com as adaptações relatadas a seguir, para aplicação no nosso caso, de fluxo no tapete de brita, é a que é resolvida por muitos modelos de fluxo d'água nos solos (ASTM D5719, USACE, 1999):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Em que:

W: vazão volumétrica por volume unitário;



$S_s$ : armazenamento específico do meio saturado pelo fluido percolante;

$h$ : pressão expressa em altura de coluna de ar;

$K_{xx} = K_{yy} = K_{zz} = K_a$ : coeficiente de permeabilidade da brita ao ar (meio homogêneo e isotrópico).

As outras condições para aplicação dessa equação para fluxo de ar, tendo-se garantido fluxo incompressível, são (ASTM D5719):

- A Lei de Darcy é válida para fluxo de ar;
- O componente de altura da carga de pressão é desprezível;
- Os efeitos de temperatura são desprezíveis;
- A Lei dos Gases Ideais é válida para a compressibilidade do ar;
- O “Efeito Klinkenberg” é desprezível;
- A porosidade do meio é constante ao longo do tempo.

#### 4.1 Parâmetros de entrada do programa utilizados

- Rendimento específico (tapete de brita): Igual à porosidade efetiva,  $\theta_{ef}$ , por sua vez igual à porosidade total (brita seca). Para os tapetes de brita nº 1 esse valor foi adotado como sendo 0,5;
- Armazenamento específico,  $S_s = g\omega\theta/RT$ ;
- Pressão  $h = P/\rho g$ ;
- $K_a = \frac{\mu_w \cdot \rho_a}{\mu_a \cdot \rho_w} K_w$ ;
- $K_w$ : determinado experimentalmente no Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do IPT/CETAC. Resultou valor igual ao previsto pela conhecida expressão de Hazen,  $K_w = 100(d_{10})^2$ ;
- $\mu_w$ : viscosidade dinâmica da água;
- $\mu_a$ : viscosidade dinâmica do ar;
- $\rho_w$ : densidade da água;
- $\rho_a$ : densidade do ar;
- $\omega$ : massa molecular média do ar igual a 28 g/mol.

O valor do coeficiente de permeabilidade da brita ao ar,  $K_a$ , foi reduzido de uma ordem de grandeza (estimado), quando necessário, para considerar a presença de interferências, como furos nas vigas baldramas.

#### 4.2 Critérios de avaliação dos resultados

A eficácia do sistema foi verificada pelos seguintes critérios:

- Critério de velocidades: os valores de velocidade de escoamento do ar nos tapetes de brita, obtidos nas simulações, foram comparados com o valor mínimo de  $10^{-5}$  m/s, recomendado (USACE, 2002), que contém orientações para construção e operação de sistemas de extração de vapor do solo;
- Critério de vazões: Critério subjetivo adotado. Taxa aceitável de renovação total do ar nos poros dos tapetes de brita (renovações/24h) para manter ventilação adequada do tapete; e
- Critério de concentração de metano: amostragens efetuadas nas saídas dos sistemas. Se a amostragem indicar elevada concentração de metano, aumenta-se a vazão no exaustor até a concentração diminuir a níveis aceitáveis, o que garante, adicionalmente, que concentrações seguras do gás sejam emitidas para a atmosfera.

#### 4.3 Dimensionamento dos exaustores

Para o dimensionamento dos exaustores foram calculadas as perdas de carga (distribuídas no tubo e localizadas em cotovelos, etc), ao longo dos tubos lisos de condução do ar para os exaustores e dos exaustores para a atmosfera, 1,0 m acima do teto dos edifícios. Nos casos pertinentes, foram também



calculadas as perdas de carga ao longo dos tubos geomecânicos perfurados de extração e de captação de ar, instalados no interior do tapete de brita, com base em resultados experimentais de ensaios efetuados no Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do IPT, sobre trechos de tubos perfurados utilizados nas edificações.

Os exaustores foram dimensionados com capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, determinadas nas simulações numéricas com o VMF, além de contemplar diversas outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, disponibilidade no mercado nacional, facilidade de operação e manutenção, dentre outras.

## 5 Monitoramento

Encontra-se, atualmente, implantada uma rede de monitoramento de gases em todos os edifícios da USP Leste, com 236 poços em três profundidades no subsolo e 173 pontos de medição no interior das edificações. Esses poços monitoram os gases no subsolo a 0,3 m (poços nível “A” instalados nos tapetes de brita sob as lajes de piso), e 1,0 m a 1,5 m de profundidade (poços nível “B”), no solo embaixo das lajes de piso das edificações.

São monitoradas concentrações de gás metano, compostos orgânicos voláteis, dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxigênio e sulfeto de hidrogênio, além de pressão e flamabilidade. Os resultados do monitoramento, cuja periodicidade é semanal (poços de monitoramento) e quinzenal (pontos no interior das edificações), são apresentados em relatórios trimestrais que são enviados para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB, e publicados pela USP no endereço eletrônico: [www.sef.usp.br](http://www.sef.usp.br).

Foram feitas cerca de 700.000 leituras em poços de monitoramento instalados em todos os edifícios, desde 2014 até outubro de 2021, os quais possuem sistemas de ventilação operando de forma contínua. Nesse período, foram detectadas concentrações de CH<sub>4</sub> nos poços sub-laje (poços “A”), acima de 1% em volume em apenas 40 medições sendo que, destas, em apenas 7 vezes, em 3 dos poços, o LEL atingiu 100% (WEBER, 2021), apesar de terem ocorrido concentrações de metano elevadas (84,8% v/v), no conjunto de poços nível “B”. Nessas ocasiões foram adotadas as ações propostas no documento Plano de Ação, apresentado em Weber (2021), dentre estas o ajuste das válvulas do sistema de exaustão a fim de direcionar o fluxo da ventilação para o ponto detectado e o aumento do número de medições até que se constatasse a diminuição das concentrações.

No caso do Edifício I 1 (Figura 2), que possui atualmente instalados 17 poços de monitoramento de gases, o sistema de ventilação foi iniciado em abril de 2014 e, posteriormente, de forma definitiva, em agosto de 2014. Nessa edificação, as medições feitas no período de abril de 2014 a outubro de 2021 indicam que as concentrações de metano nos poços nível “A” não ultrapassaram 1% v/v (LEL = 20%), apesar de terem ocorrido concentrações de metano elevadas (até cerca de 59,5% v/v), no conjunto de poços nível “B”. No gráfico da Figura 2, são apresentadas as concentrações de CH<sub>4</sub> detectadas ao longo do tempo no Edifício I 1, sendo que as concentrações medidas nos poços nível “A” não aparecem por serem menores que 1%. As datas de medição nos níveis “A” e “B” foram sempre as mesmas. A linha pontilhada na Figura 2 indica que as médias das leituras nos poços nível “B” diminuíram ao longo do tempo, provavelmente também por efeito da instalação dos sistemas de ventilação sub-laje, o que se observou também nos outros edifícios do campus.

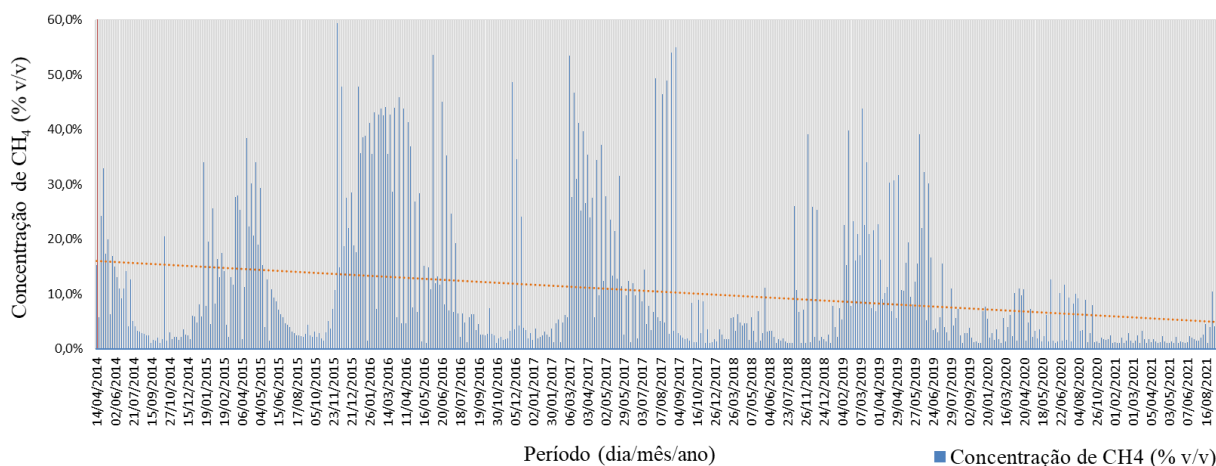
## 6 Conclusão

Elevado grau de saturação do subsolo dificulta sobremaneira a definição de uma solução de projeto que evite a intrusão e acúmulo sob as lajes de piso de edificações por gases inflamáveis presentes no subsolo, e pode inviabilizar o uso de sistemas convencionais de extração de gases, como ocorreu inicialmente na USP Leste. A solução proposta e implementada de ventilação dos tapetes de brita, ou de eventuais vazios sob as lajes de piso, demonstrou-se eficaz no caso dos edifícios da USP Leste, por meio dos monitoramentos contínuos nos 236 poços de monitoramento de gases em três profundidades, instalados em todos os edifícios: poços “A” a 0,3 m (instalados nos tapetes de brita sob as lajes de piso), e “B” de 1,0 m a 1,5 m, além de 173 pontos de medição no interior das edificações. Nos poços a 0,3 m de profundidade, as medições feitas no período de abril de 2014 a outubro de 2021 indicam que as concentrações de metano ultrapassaram 1% v/v



(LEL = 20%) em apenas 40 medições no nível “A”, nos tapetes de brita, em um universo de cerca de 700.000 leituras, apesar de terem sido detectadas concentrações de metano elevadas (84,8% v/v) no conjunto de poços “B” mais profundos, sendo que as médias das leituras nos poços nível “B” diminuíram ao longo do tempo, provavelmente também por efeito da instalação dos sistemas de ventilação sub-laje. A utilização de modelagem de fluxo como forma de operacionalizar a solução conceitual proposta de ventilação de tapetes de brita sob as lajes de piso, foi fundamental para o sucesso da solução implementada.

Figura 2 - Edifício I 1 - Concentrações de Metano nos Poços “A” (profundidade 0,3 m, não visíveis por serem menores que 1% v/v) e “B” (profundidade de 1,0 m a 1,5 m) no período de 08/04/2014 a 30/10/2021



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Card, G.; Wilson, S., Mortimer, S (2012). A Pragmatic Approach to Ground Gas Risk Assessment. *CL:AIRE Research Bulletin RB17*. vol. 17. London: CLAIRE. Disponível em: <https://www.claire.co.uk/component/phocadownload/category/11-research-bulletins?download=312:research-bulletin-17>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- Guiguer, N., Franz, T. (1996). Visual MODFLOW. *User's manual*, Waterloo, 1996. Hydrogeologic. WHI.
- Ignatius, S. G (1999). *Fluxo unidirecional de gás através de um solo compactado –Determinação laboratorial dos parâmetros*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- IPT (2007). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Avaliação e sugestões de aperfeiçoamento para alguns dos sistemas de ventilação de gás e vapor do subsolo de edifícios do Campus da USP Leste – Resultados Preliminares*. São Paulo: IPT/Cetae. 45 p. (Relatório Técnico 92353-205).
- IPT (2009). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Ventilação do subsolo do edifício “Módulo Inicial”, detalhamento da contaminação do solo superficial da área A 16 e serviços complementares no Campus da USP Leste*. São Paulo: IPT/Cetae, 2009. 137 p. (Relatório Técnico 112640-205).
- IPT (2011). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Detalhamento do Sistema de Ventilação do Subsolo de edifício “Módulo Inicial” da EACH-USP, Gleba I*. São Paulo: IPT/Cetac. 82 p. (Relatório Técnico 125011-205).
- IPT (2012). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Detalhamento do Sistema de Ventilação do Subsolo de edifício “Módulo Inicial”*. São Paulo: IPT/Cetac. 53 p. (Relatório Técnico 126877-205).

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia  
técnica  
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas  
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia  
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



**COBRAMSEG 2022**  
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL  
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- IPT (2013a). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Determinação da perda de carga em tubo ranhurado submetido a um fluxo de ar interno. São Paulo: IPT/Cetac. 18 p. (*Relatório Técnico 133254-205*).
- IPT (2013b). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH/USP. São Paulo: IPT/Cetac. 100 p. (*Relatório Técnico 130991-205*).
- IPT (2013c). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH / USP. São Paulo: IPT/Cetac. 35 p. (*Relatório Técnico 130989-205*).
- IPT (2013d). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH/USP*. São Paulo: IPT/Cetac. 51 p. (*Relatório Técnico nº RT 130.990-205*).
- McLaughlin, M. Peterson, E. (2006). *Methane mitigation. Monitoring and mitigation of methane at landfill sites*. Califórnia: SCS Engineers®. Disponível em [https://www.scsengineers.com/wp-content/uploads/2015/03/McLaughlin-Peterson\\_Methane\\_Mitigation\\_WMWorld.pdf](https://www.scsengineers.com/wp-content/uploads/2015/03/McLaughlin-Peterson_Methane_Mitigation_WMWorld.pdf). Acesso em: 17 mar. 2021.
- Mendonça, C.A (2012). Metano na planície do Rio Tietê: Uma combinação de fatores naturais e de urbanização? In: *Seminários do Departamento de Geofísica*. São Paulo. Tópicos temáticos. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- NHBC (2007). National House-Building Council. Guidance on Evaluation of Development Proposals on Sites Where Carbon Dioxide are Present. *Report Edition n: 04*. United Kingdom. Disponível em <https://www.nhbc.co.uk/binaries/content/assets/nhbc/products-and-services/tech-advice-and-guidance/guidance-on-evaluation-of-development-proposals-on-sites-where-methane-and-carbon-dioxide-are-present.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- USACE (2002). United States Army Corps of Engineers. *Engineering and Design: Soil Vapor Extraction and Bioventing*. Washington. Disponível em: [https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM\\_1110-1-4001.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-4001.pdf). Acesso em: 17 mar. 2021.
- USEPA (2008). United States Environmental Protection Agency. *Indoor Air Vapor Intrusion Mitigation Approaches*. Washington: Office of Research and Development National Risk Management. Disponível em: <https://clu-in.org/download/char/600r08115.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021
- USEPA (2015). United States Environmental Protection Agency. *Technical Guide for Addressing Petroleum Vapor Intrusion at Leaking Underground Storage Tank Sites*. Office of Underground Storage Tanks: Washington. Disponível em: <https://www.epa.gov/ust/technical-guide-addressing-petroleum-vapor-intrusion-leaking-underground-storage-tank-sites>. Acesso em: 17 mar. 2021b.
- WEBER (2020). *As Built Completo dos Sistemas de Ventilação de Gases Instalados na USP LESTE – VS.05*, São Paulo/SP. São Paulo: Weber Ambiental. Disponível em [http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2020/12/311-1264-14-egs\\_uspleste-vs-05-nov2020.pdf](http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2020/12/311-1264-14-egs_uspleste-vs-05-nov2020.pdf). Acesso em: 27 nov. 2020.
- WEBER (2021). *Evolução do monitoramento de intrusão de Gases e da Operação do Sistema de Ventilação – 3º Trimestre/2021 (Julho a Setembro)*, USP Leste. São Paulo: Weber Ambiental. Disponível em: <http://www.sef.usp.br/usp-leste/ventilacao-e-monitoramento-de-gases>. Acesso em 30 de novembro de 2021.
- Wilson, S., Card, G., Haines, S (2009). *Ground Gas Handbook*. Scotland, Whittles Publishing.