RELATÓRIO TÉCNICO
126877-205
USP/COESF
28 de fevereiro de 2012

Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo do edifício “Módulo Inicial”
ENSAIO PILOTO

Cliente

Universidade de São Paulo USP/COESF

UNIDADES RESPONSÁVEIS
Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas – CETAE
Centro Tecnológico do Ambiente Construído – CETAC

Resumo

Este relatório técnico apresenta os resultados do ensaio piloto de campo, executado em complemento ao Relatório Técnico Nº 125011-205, de 28 de outubro de 2011, denominado “Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo do edifício Módulo Inicial” que continha uma proposta de sistema de proteção do Edifício Módulo Inicial do campus da EACH-USP contra eventual emanação de gás do subsolo. O sistema proposto incorpora os tapetes de brita nº 2 colocados sob as lajes de piso do edifício por ocasião de sua construção, cuja presença foi comprovada no relatório IPT nº 125011-205 através de fotografias de arquivo da COESF, e tem como princípio básico a imposição de redes de fluxo de ar atmosférico nos tapetes, com o intuito de captar eventuais emanações de gás, impedindo sua acumulação sob as lajes de piso ou sua intrusão no edifício a partir do subsolo. O fluxo de ar foi imposto utilizando-se ventilação natural por meio do chamado “efeito chaminé”: chaminé metálica, pintada de preto, interna e externamente, conectada ao furo de extração, funcionando por aquecimento solar, provocando fluxo por diferença de densidade entre a coluna de ar aquecido, interna à chaminé, e a coluna de ar externa, mais fria, associada a tubo de captação de ar atmosférico, conectado a furo de captação, na outra extremidade do tapete.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, para o tapete com dimensões de 3,40 x 9,00 x 0,05 m e porosidade de 50%, que foi testado no ensaio piloto, o tempo de renovação total de ar nos poros do tapete foi de 12 minutos, em média, o que se considerou satisfatório para o propósito de proteger o edifício contra emanação de gás do subsolo.

Esses resultados indicaram que o sistema proposto deve ser eficaz para ventilar todos os panos de tapete existentes sob as lajes do edifício Módulo Inicial, corroborando resultados de ensaios em laboratório e simulações numéricas apresentados no relatório IPT nº 125011-205.

Palavras Chaves: ventilação natural, efeito chaminé, chaminé solar, intrusão de vapor, gás no solo

Sumário

1 INTRODUÇÃO 4
1.1 Objetivo 4
2 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO 4
3 DESCRIÇÃO DA EXECUÇÃO DOS FUROS NA LAJE DE PISO 6
4 CONCENTRAÇÃO DE GASES E VAPORES SOB A LAJE DE PISO 8
5 DESCRIÇÃO DO ENSAIO PILOTO 9
6 RESULTADOS OBTIDOS 36
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS 42
8 CONCLUSÃO 43
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES 44
Referências Bibliográficas 47
Lista de Tabelas 48
Lista de Figuras 48
Lista de Fotos 48
Lista de Gráficos 50

1 INTRODUÇÃO

Este Relatório Técnico apresenta os resultados obtidos no Ensaio Piloto efetuado em campo, última atividade prevista no projeto "Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo do edifício "Módulo Inicial", cujo Relatório Técnico foi entregue à COESF em 28 de outubro de 2011, sob o Nº 125011– 205 (IPT, 2011).

O ensaio foi efetuado numa das extremidades do Módulo 1 do bloco padrão B3 do Edifício Módulo Inicial do campus da EACH / USP, como indicado na **Figura 1**.

A disposição dos furos nos cantos da laje, nas extremidades de uma diagonal, visou maior conforto aos usuários da sala, além de melhorar a estética da fachada do prédio, já que assim é possível aproximar as chaminés duas a duas, causando menor impacto visual externamente ao prédio. Essa disposição mostrou-se tecnicamente possível, já que as simulações computacionais efetuadas indicaram que a rede de fluxo gerada é adequada aos propósitos de ventilação do tapete de brita sob a laje de piso, com a disposição em diagonal.

1.1 Objetivo

O objetivo do ensaio piloto descrito no presente relatório técnico é verificar o funcionamento, em situação de campo, do sistema de ventilação do subsolo do edifício "Módulo Inicial", cujo detalhamento foi apresentado no relatório técnico Nº 125011–205, de outubro de 2011 (IPT, 2011).

2 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

A instalação descrita neste informativo foi efetuada no dia 3 de janeiro de 2012, pela empresa SENCA Serviços e Engenharia Ltda., contratada pelo IPT, e compõe-se de:

- Chaminé vertical externa ao edifício (**Foto 1**), com 11,8 m de comprimento útil mais 0,5 m de apoio no chão (**Foto 2**)**,** abaixo do tubo de entrada;
- Tubulação de extração de gás, de entrada na chaminé, horizontal, atravessando a parede externa do edifício (**Foto 3**). Pode-se notar, na foto, uma trava metálica horizontal de estabilização da chaminé, ligando esta à parede do prédio, e, por meio de um cotovelo de 90° alcançando o furo de extração de gás situado em um canto da sala, através da laje de piso no interior do prédio (alcançando o tapete de brita sob a laje de piso) (**Foto 4**);
- Tubulação de captação de ar atmosférico, no canto oposto da laje de piso da sala, em uma diagonal com a tubulação de extração, ligando o furo de captação na laje, subindo verticalmente junto à parede interna da sala, e, por meio de um cotovelo de 90°, atravessando a parede do corredor interno do prédio a cerca de 2 m de altura (**Foto 5**) e terminando em um ralo de proteção na superfície da parede externa à sala (**Foto 6**).

Todas as tubulações descritas, mais a própria chaminé e os dois furos na laje têm diâmetro de 110 mm.

A chaminé é provida dos seguintes elementos:

- Porta de limpeza na base, abaixo do tubo horizontal de entrada, fixada ao corpo da chaminé por parafusos (**Foto 7**);
- Válvula com torneira para ligação com a bomba de sucção, em caso de necessidade (**Foto 8**);
- Válvula de engate rápido para amostragem de gases durante o ensaio (**Foto 9**);
- Três entradas de rosca na base: entrada para medição de temperatura, entrada para medição de vazão, entrada para medição de pressão diferencial entre a base e o topo da chaminé (**Foto 8** e **Foto 9**);

- Válvula para interromper o fluxo para cima, instalada a cerca de 2 m de altura da chaminé, a ser utilizada caso seja necessário empregar a bomba de sucção (**Foto 10**);
- Capeamento em forma de chapéu chinês, no topo da chaminé, para proteção contra chuva e detritos (**Foto 11**);
- Uma entrada de rosca no topo para medição de pressão (**Foto 12**);
- Pontos no topo para medição de temperatura e pressão diferencial entre a base e o topo da chaminé (**Foto 12**).

A tubulação de captação de ar atmosférico é provida de entradas de rosca na base para medição de vazão (**Foto 13**).

As perfurações nas paredes foram executadas inicialmente utilizando-se furadeira elétrica com broca de menor diâmetro e finalizadas manualmente, com uso de talhadeira (**Foto 14** e **Foto 15**), tanto na parede externa do edifício quanto na parede interna.

3 DESCRIÇÃO DA EXECUÇÃO DOS FUROS NA LAJE DE PISO

Os furos na laje de piso foram efetuados no dia 13 de dezembro de 2011, pela empresa FURACON Sistemas de Cortes e Perfurações em Concreto Ltda., contratada pelo IPT.

O comprimento total de cada furo na laje (espessura da laje) foi de 16 cm.

Antes da execução dos furos foi instalada, com broca normal de pequeno diâmetro, uma haste no centro do futuro cilindro de concreto, que serviria de puxador caso o cilindro caísse para dentro do vazio, possivelmente existente sob a laje de piso devido a recalque do solo de fundação.

Os furos foram executados com uso de furadeira elétrica munida de broca tipo copo de 110 mm de diâmetro, ao longo de quase toda a espessura da laje, faltando cerca de 1 cm.

O cilindro de concreto gerado pela furação foi então retirado introduzindo uma talhadeira no sulco gerado e batendo com marreta leve lateralmente no topo da talhadeira, de modo a provocar nela um esforço de alavanca que rompeu esse 1 cm final.

A perfuração com broca foi efetuada com injeção simultânea de água, de maneira contínua durante sua execução.

Esses cuidados visaram:

- A não produção de faíscas elétricas por atrito da broca com o concreto e armadura de ferro da laje, que poderiam ser fonte de ignição para o bolsão de gás metano eventualmente existente sob a laje de piso;
- A não introdução da água, utilizada na perfuração, no tapete de brita sob a laje, o que poderia dificultar ou impedir o fluxo de ar atmosférico, prejudicando a ventilação do tapete de brita e, portanto, prejudicando o ensaio.

A **Foto 16** mostra o equipamento de perfuração posicionado.

A **Foto 17** mostra o furo sendo executado, com água abundante, na qual se observa a marca em vermelho na broca para controle da profundidade de perfuração.

A **Foto 18** mostra a haste de puxar instalada no centro do cilindro cortado.

A **Foto 19** mostra o cilindro de concreto retirado, com a haste puxadora, sendo possível observar as pontas de alguns ferros da armadura da laje.

A **Foto 20** mostra o interior do furo na laje de piso (Furo 2, junto à parede externa do prédio), antes da retirada da folha plástica que foi colocada por ocasião da concretagem, separando o topo do tapete de brita da base da laje.

A **Foto 21** mostra o interior do furo na laje de piso e a brita do tapete (Furo 2, junto à parede externa do prédio), após a retirada da folha plástica.

A **Foto 22** mostra o furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, imediatamente após sua execução e leitura da concentração de gases e vapores com aparelho do tipo Gastech.

A **Foto 23** mostra o furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se água condensada no plástico no interior do furo.

A **Foto 24** mostra o furo na laje, após retirada da tampa plástica e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se o fundo seco do furo.

4 CONCENTRAÇÃO DE GASES E VAPORES SOB A LAJE DE PISO

A concentração de gases e vapores foi medida com equipamento Termo Gastech Innova SV, no interior dos furos na laje, imediatamente após sua execução, e após 20 dias dos furos tampados com plástico. Os resultados obtidos estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Concentração de gases e vapores no interior dos furos na laje
(leituras feitas com equipamento tipo Gastech)

	Leitura no equipamento		**Leitura corrigida**
Furo	**VOC (exceto CH4)**	**CH4**	**CH4**
1 (13/12/2011)	0	140 ppm	462 ppm (*)
2 (13/12/2011)	0	0	
1 (03/01/2012)	0	0	
2 (03/01/2012)	0	0	

(*) fator de correção para leitura de metano com equipamento calibrado com hexano: 3,3 (Manual do equipamento)
Furo 1: lado da parede interna do edifício
Furo 2: lado da parede externa do edifício

Foram ainda efetuadas medidas de concentração de gases e vapores com o equipamento Termo Gastech Innova SV, durante a execução do ensaio piloto, na válvula de engate rápido especialmente instalada para esse fim, na base da chaminé de extração (**Foto 9**). Os resultados foram nulos ao longo de todo o ensaio.

5 DESCRIÇÃO DO ENSAIO PILOTO

O ensaio piloto executado, constou basicamente de medidas das seguintes variáveis, nos dias 31/01, 01/02, 09/02 e 10/02 de 2012:

- Vazão de saída do tapete de brita, na base da chaminé;
- Vazão de entrada no tapete de brita, na base da tubulação de entrada;
- Temperatura da coluna de ar interna à chaminé, no topo e na base dela;
- Temperatura no ar externo à chaminé;
- Energia solar incidente;
- Concentração de gás e vapor na coluna de ar de saída do tapete de brita, por meio de equipamento de campo tipo Gastech.

Como se tratava da validação do procedimento desenvolvido no laboratório na situação real de campo, foi utilizada a mesma sistemática de medição. Para isso foram usados os seguintes instrumentos:

- Termopares tipo T, bitola 24 AWG para a medição da temperatura do ar na entrada (base) e na saída (topo) das chaminés;
- Sensor de pressão diferencial piezo-resistivo, com resolução de 0,1 Pa para a medição da diferença de pressão do ar na entrada (base) e na saída (topo) das chaminés;
- Piranômetros, com resolução de 1 W/m^2 para a medição da radiação solar incidente tanto na superfície horizontal como na superfície vertical;
- Anemômetro de fio quente, com resolução de 0,01 m/s e valor mínimo de medição de 0,1 m/s para a medição da velocidade média da corrente de ar ascendente na chaminé e no duto de entrada de ar para a determinação da vazão do sistema; e
- Termógrafo infravermelho para registro da temperatura superficial externa da chaminé.

Na **Foto 25** e na **Foto 26**, pode ser vista a montagem dos equipamentos para a aquisição de dados de temperaturas, diferencial de pressão, velocidade do ar e radiação solar.

A posição dos furos na laje de piso para execução do ensaio piloto está indicada na **Figura 1.**

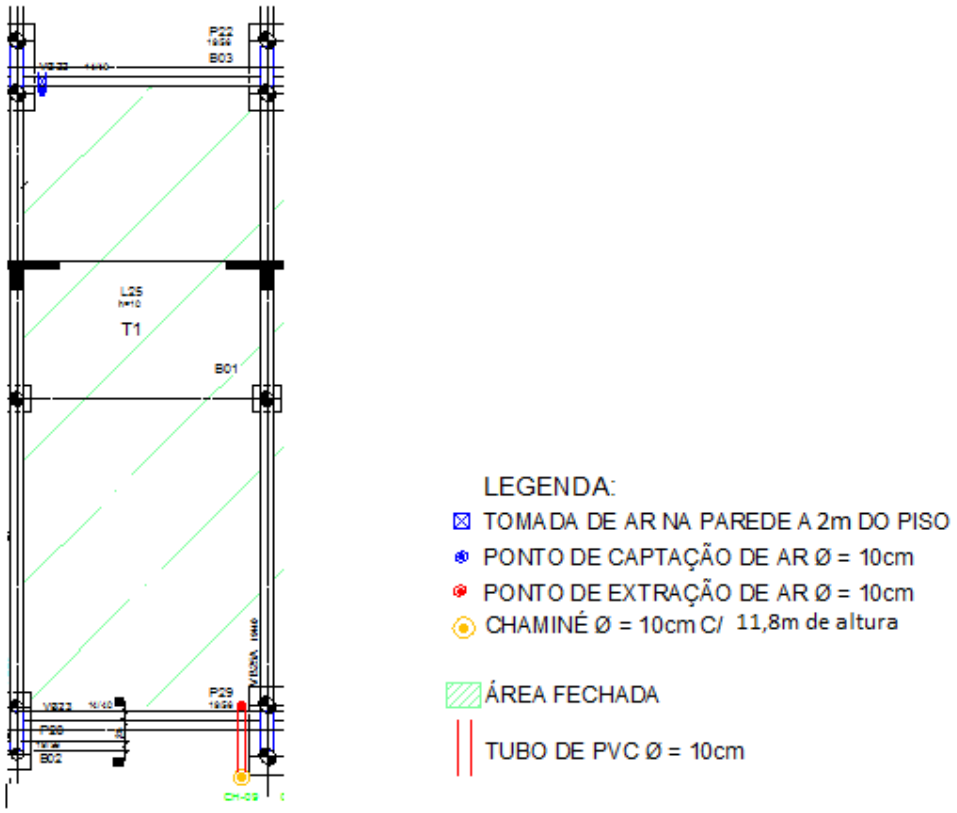


Figura 1: Posição dos furos na laje de piso para execução do ensaio piloto.

Foto 1: Chaminé vertical externa ao edifício, com 11,8 m de comprimento útil mais 0,5 m de apoio no chão.

Foto 2: Tubo adicional de 0,5 m para apoio no chão abaixo do tubo de entrada na chaminé vertical externa ao edifício.

Foto 3: Tubulação de extração de gás, de entrada na chaminé, horizontal, atravessando a parede externa do edifício. (Pode-se notar, na foto, uma trava metálica horizontal de estabilização da chaminé, ligando esta à parede do prédio).

Foto 4: Tubulação de extração de gás, atravessando a parede externa do edifício, ligando o furo (que alcança o tapete de brita sob a laje) no piso, no interior da sala, à chaminé do lado externo do prédio.

Foto 5: Tubulação de captação de ar atmosférico, ligando o furo de captação no piso (que alcança o tapete de brita sob a laje), subindo verticalmente junto à parede interna da sala, e, por meio de um cotovelo de 90°, atravessando a parede do corredor interno do prédio a cerca de 2 m de altura.

Foto 6: Ralo de proteção a cerca de 2 m de altura finalizando o tubo de captação de ar atmosférico.

Foto 7: Porta de limpeza na base da chaminé, abaixo do tubo horizontal de entrada, fixada ao corpo da chaminé por parafusos.

Foto 8: Válvula com torneira para ligação com a bomba de sucção, em caso de necessidade.

Foto 9: Válvula de engate rápido (à direita) para amostragem de gases durante o ensaio piloto.

Foto 10: Válvula para interromper o fluxo na parte superior da chaminé, instalada a cerca de 2 m de altura, a ser utilizada caso seja necessário empregar a bomba de sucção.

Foto 11: Capeamento em forma de chapéu chinês, no topo da chaminé, para proteção contra chuva e detritos.

Foto 12: Uma entrada de rosca no topo para medição de pressão e ponto no topo para medição de temperatura.

Foto 13: Tubulação de captação de ar atmosférico provida de entradas de rosca na base para medição de vazão.

Foto 14: Início das perfurações nas paredes utilizando-se furadeira elétrica com broca de pequeno diâmetro.

Foto 15: Finalização manual das perfurações nas paredes utilizando-se talhadeira.

Foto 16: Equipamento de perfuração da laje de piso com broca tipo copo posicionado.

Foto 17: Furo na laje sendo executado, com água abundante, vendo-se a marca em vermelho na broca para controle da profundidade de perfuração

Foto 18: Haste de puxar instalada no centro do cilindro cortado.

Foto 19: Cilindro de concreto retirado da laje de piso, com a haste puxadora, vendo-se as pontas de alguns ferros da armadura da laje.

Foto 20: Interior do furo na laje de piso (Furo 2, junto à parede externa do prédio), antes da retirada da folha plástica que foi colocada por ocasião da concretagem, separando o topo do tapete de brita da base da laje.

Foto 21: Interior do furo na laje de piso (Furo 2, junto à parede externa do prédio), apos retirada da folha plástica, vendo-se a brita do tapete.

Foto 22: Furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, imediatamente após sua execução e leitura da concentração de gases e vapores com aparelho do tipo Gastech.

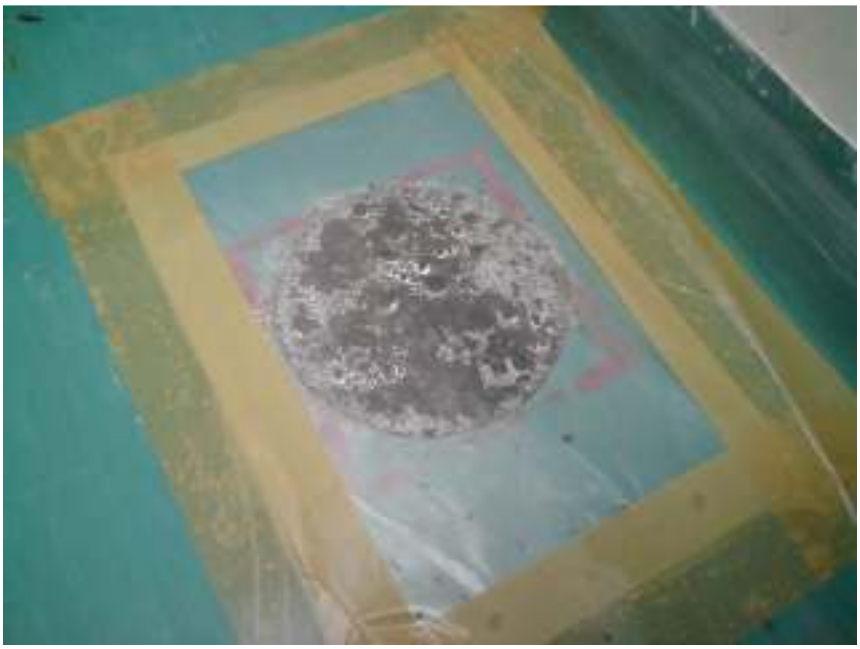


Foto 23: Furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se água condensada no plástico no interior do furo.

Foto 24: Furo na laje, após retirada da tampa plástica e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se o fundo seco do furo.

Foto 25: Montagem do sistema de aquisição de dados, na chaminé, e sensores para medição de pressão, radiação solar, temperatura, velocidade do ar e concentração de gases e vapores.

Foto 26: Montagem do sensor de velocidade do ar na tomada de ar externo.

6 RESULTADOS OBTIDOS

Para o ensaio piloto, realizado nas datas de 31/01, 01/02, 09/02 e 10/02 de 2012, são apresentados na **Tabela 2** os valores de: diferença de pressão entre topo e base da chaminé (ΔP); velocidade do ar no interior da chaminé (V_{ar}); diferença de temperatura entre topo e base da chaminé (ΔT); e velocidade do ar no duto de captação do corredor ($V_{ar\ ent}$).

Tabela 2: Valores médios obtidos no ensaio piloto

Data	Período	Grandeza medida	
31/jan	Tarde	ΔP_{media}	4 Pa
		V_{ar}	0,12 m/s
		ΔT_{media}	4 °C
		$V_{ar\ ent}$	0,13 m/s
09/fev	Tarde	ΔP_{media}	1,7 Pa
		V_{ar}	0,14 m/s
		ΔT_{media}	9 °C
		$V_{ar\ ent}$	0,14 m/s
10/fev	Tarde	ΔP_{media}	4 Pa
		V_{ar}	0,16 m/s
		ΔT_{media}	9 °C
		$V_{ar\ ent}$	0,15 m/s
09 e 10/fev	Noite Manha	ΔP_{media}	1,4 Pa
		V_{ar}	0,15 m/s
		ΔT_{media}	9 °C
		$V_{ar\ ent}$	0,15 m/s
01/fev	Tarde	ΔP_{media}	2,2 Pa
		V_{ar}	0,14 m/s
		ΔT_{media}	7 °C
		$V_{ar\ ent}$	0,15 m/s

Abaixo são apresentados gráficos que ilustram o comportamento da diferença de temperatura, do ar interno, entre topo e base da chaminé e a temperatura do ar externo (**Gráfico 1**), a incidência de radiação solar na horizontal e na vertical (**Gráfico 2**) e o diferencial de pressão e velocidade do ar dentro da chaminé provocado pela diferença de temperatura entre o topo e a base (**Gráfico 3**).

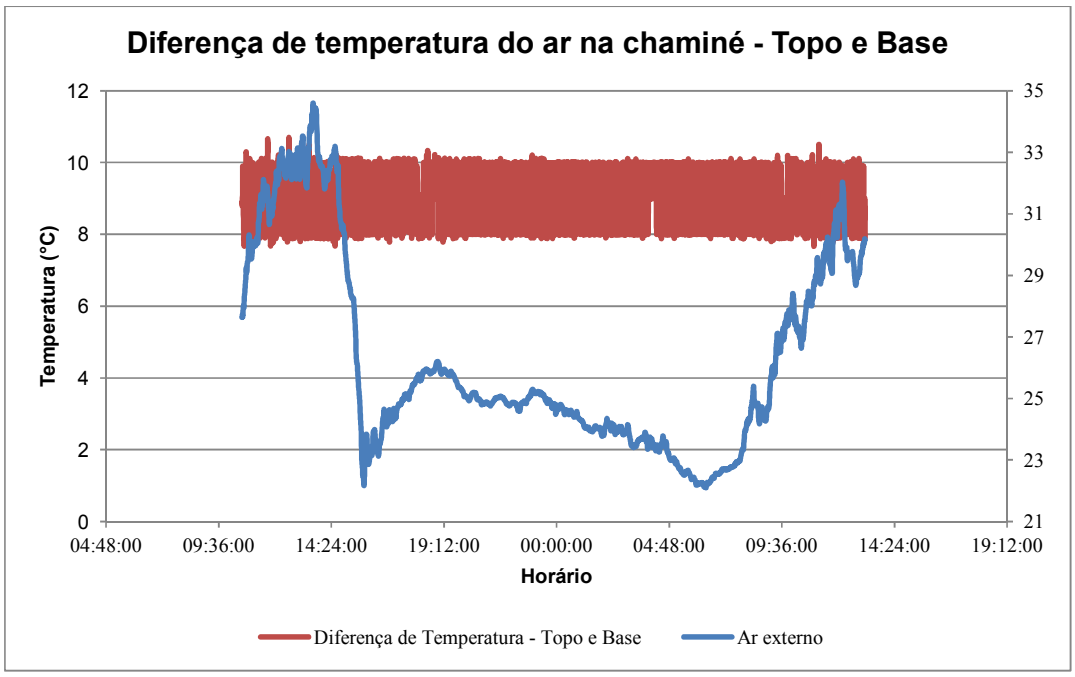


Gráfico 1 – Diferença de temperatura entre topo e base do ar interno da chaminé e variação da temperatura do ar externo.

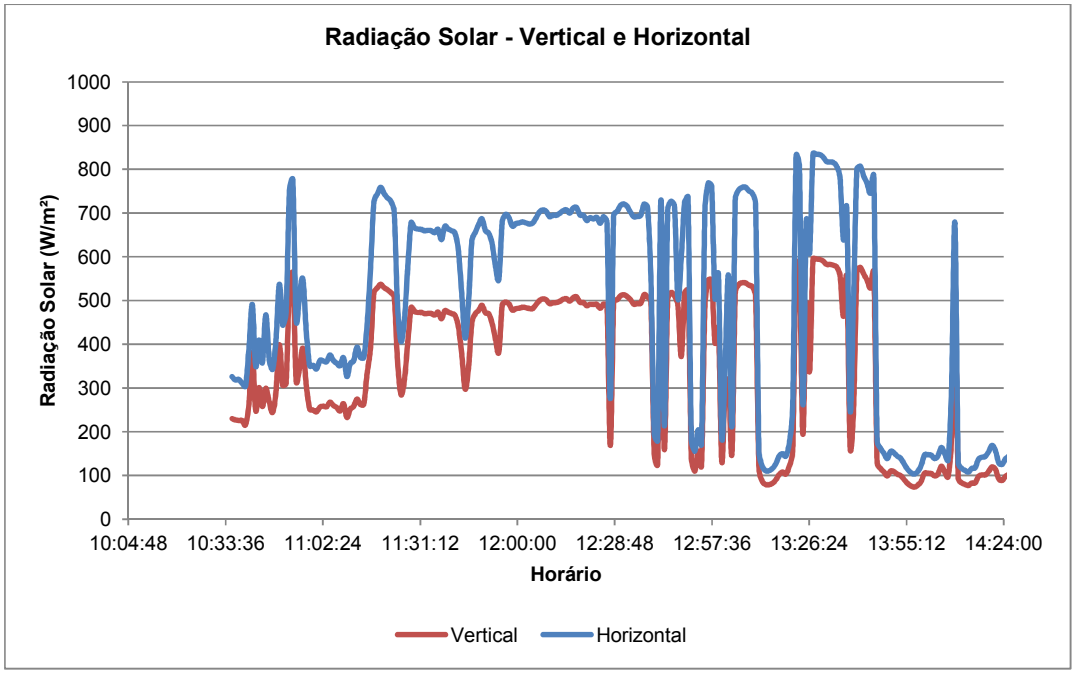


Gráfico 2 – Radiação solar incidente nos planos horizontal e vertical no primeiro dia de medição.

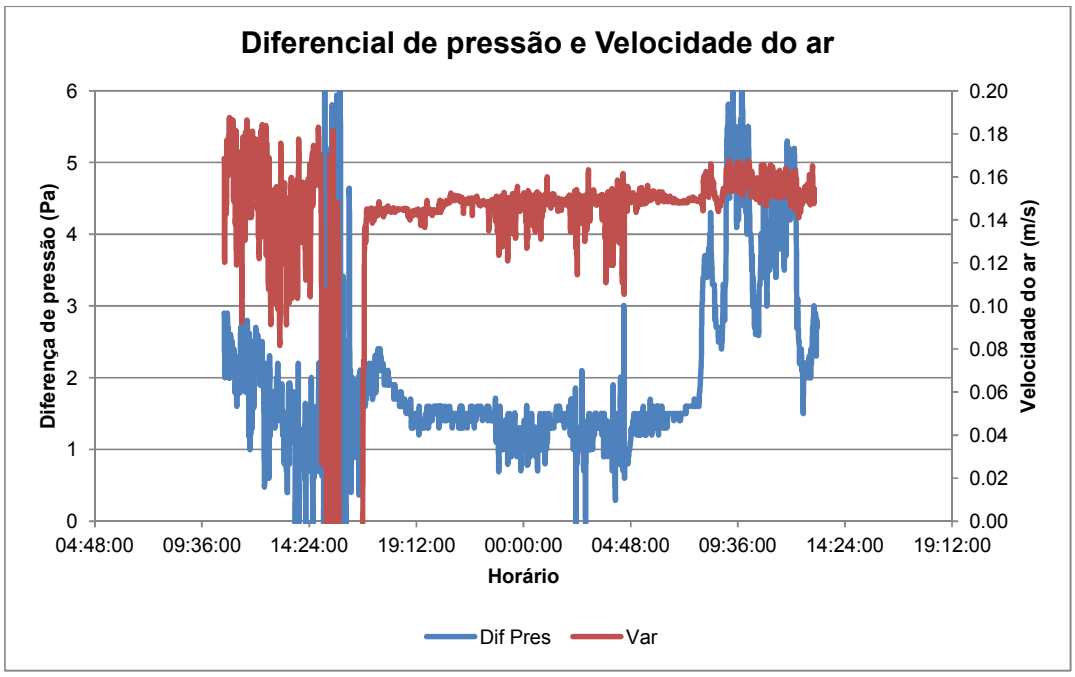


Gráfico 3 – diferencial de pressão e velocidade do ar dentro da chaminé.

A **Foto 27** ilustra a diferença da temperatura superficial da parede da chaminé, obtida entre a base da chaminé e sua parte superior.

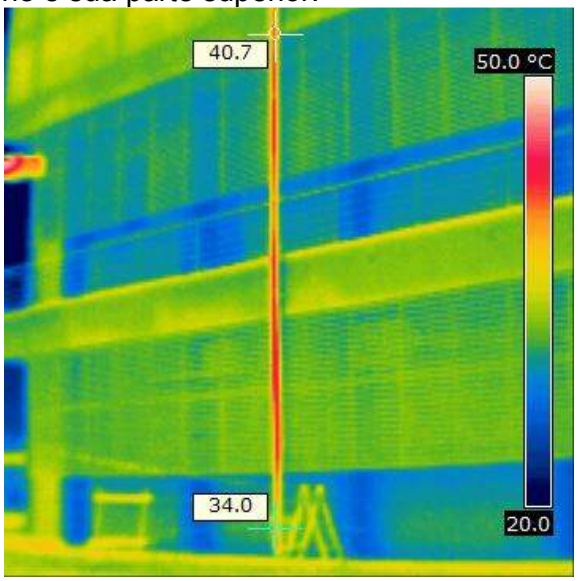
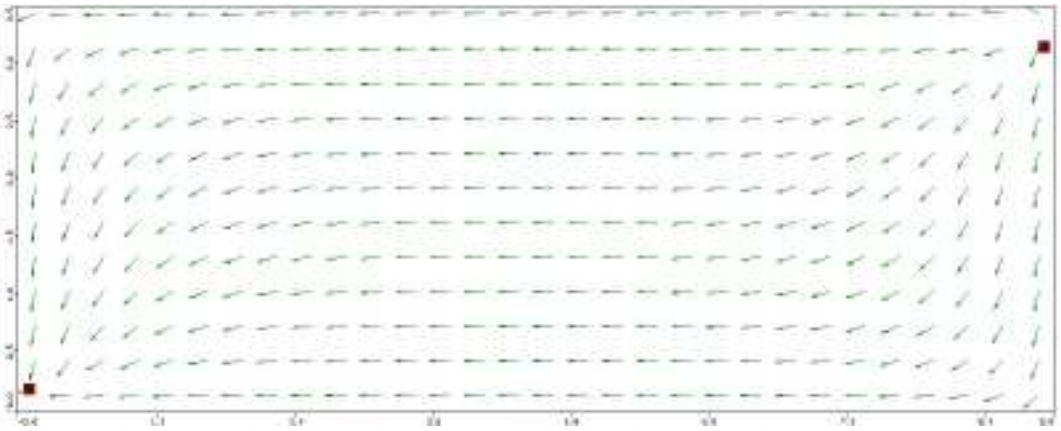


Foto 27: Diferencial de temperatura superficial da chaminé

.

A forma da rede de fluxo de ar gerada no ensaio piloto, obtida por simulação numérica por meio do *Software Visual ModFlow*, adaptado para fluxo de ar segundo as recomendações contidas em ASTM (2006), está indicada na **Figura 2**, na qual se mostram as posições dos furos (de captação à direita na figura e de extração à esquerda, conectado à chaminé solar) e as direções dos vetores de velocidade no interior do tapete de brita sob a laje. A tabela da **Figura 2** mostra o intervalo de tempo de renovação do ar nos poros do tapete de brita sob a laje, para o valor médio de velocidade do ar nas tubulações de entrada e de saída, medido no ensaio piloto (**Tabela 1**).



Velocidade do ar nos tubos de entrada e saída	0,14 m/s
Vazão de ar no tapete (*)	$1{,}12 \times 10^{-3}$ m^3/s
Volume dos poros do tapete (**)	$0{,}77 m^3$
Tempo de renovação do ar no tapete	12 minutos

(*) calculado para tubo de entrada e saída com diâmetro de 101 mm
(**) tapete Tipo T1 com dimensões 9,00x3,40x0,05 m e porosidade de 50%

Figura 2: Posição dos furos em diagonal, forma da rede de fluxo de ar, e tempo de renovação do ar no tapete de brita sob a laje, obtidos no ensaio piloto.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas condições verificadas no ensaio piloto obteve-se diferença de temperatura ao longo do dia, e vazão, praticamente constantes, e alguma flutuação na diferença de pressão, possivelmente devido à variação do vento no topo da chaminé e no corredor onde está a captação do ar.

Comparando-se os dados obtidos no ensaio piloto e no protótipo em laboratório, observa-se que o diferencial de pressão obtido no ensaio piloto é maior do que o obtido no laboratório (IPT, 2011), devido à chaminé mais alta e maior radiação solar incidente na chaminé. O ensaio piloto foi feito com uma chaminé de 11,8 m, enquanto a chaminé protótipo do laboratório e a utilizada nas simulações apresentavam comprimento de 2 m e 9 m, respectivamente. A radiação solar incidente na chaminé do ensaio piloto atingiu a máxima de 800 W/m^2 contra a máxima de 670 W/m^2 do protótipo em laboratório.

Apesar disso, porém, a velocidade do ar no ensaio piloto é menor do que no laboratório, devido a perdas de carga maiores do que as estimadas inicialmente.

Os valores de diferencial de pressão (ΔP – entre topo e base da chaminé), velocidade do ar (V_{ar} – no interior da chaminé) e diferença de temperatura (ΔT - entre topo e base da chaminé) dos ensaios em laboratório e do ensaio piloto podem ser vistos na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Valores médios obtidos nos ensaios em laboratório e no ensaio piloto

Ensaio em laboratório		**Ensaio Piloto**	
ΔP	0,6 Pa	**ΔP**	2,7 Pa
Var	0,43 m/s	**Var**	0,14 m/s
ΔT	6 °C	**ΔT**	8 °C

Observou-se também que as velocidades de entrada e saída do ar, no ensaio piloto, são constantes, garantindo um fluxo contínuo de ar.

Considera-se o tempo de 12 minutos, indicado na **Figura 2**, para total renovação do ar no tapete, perfeitamente satisfatório para os nossos propósitos.

8 CONCLUSÃO

O ensaio piloto confirmou os resultados obtidos no laboratório, apresentados no Relatório Técnico IPT 125 011-205, de 25 de outubro de 2011 (IPT, 2011).

Observou-se vazão de ar constante ao longo do dia todo, mesmo no período noturno, pois o solo está mais frio que a temperatura da chaminé, que é igual à temperatura do ar externo. No período diurno, a radiação solar causou o aquecimento e a movimentação de ar inicialmente calculados.

Obteve-se, como esperado, diferenças de temperatura ao longo da chaminé e decorrentes diferenças de pressão maiores que as obtidas no laboratório e nas simulações.

As vazões obtidas, entretanto, foram menores que as esperadas, o que se julga ser devido, principalmente, ao fato de a brita do tapete conter mais finos que a utilizada no laboratório (ver **Foto 21**), e pela maior perda de carga que foi gerada pelo ralo muito fechado empregado na tomada de ar no ensaio piloto.

Apesar disso, considera-se o tempo de 12 minutos, indicado na **Figura 2**, para total renovação do ar no tapete, perfeitamente satisfatório para os nossos propósitos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O ralo utilizado na entrada de ar apresenta uma área útil muito pequena em relação ao projetado, provocando uma perda de carga localizada, que pode prejudicar o desempenho do sistema.

Recomenda-se, portanto, utilizar, ao invés de ralo, uma tela metálica, com área de abertura maior do que a do ralo utilizado no ensaio piloto, procedimento que deverá aumentar a vazão de ar no tapete, diminuindo o intervalo de tempo de renovação do ar no tapete que, apesar disso, já se mostrou satisfatória (12 minutos).

Conforme pode ser visto na **Foto 21,** o plástico que cobre o tapete de brita não foi totalmente retirado, provocando mais perda de carga no sistema. Recomenda-se um maior cuidado na hora da limpeza da perfuração na laje onde serão instalados os dutos.

Outros fatores que devem ser aprimorados, pois influenciam também na perda de carga, diminuindo a vazão do sistema, são o lanternim da chaminé em forma de chapéu chinês e a válvula para interromper o fluxo de ar para cima, utilizada no caso de ser necessário acoplar uma bomba de sucção.

No ensaio piloto, a entrada da tubulação no interior da sala foi instalada num dos cantos da laje e a saída no canto diagonalmente oposto. No projeto, a entrada e saída estavam alinhadas no centro da sala. A opção da instalação na diagonal foi adotada para melhorar o aproveitamento dos espaços na sala, mantendo as tubulações mais protegidas. Esta modificação mostrou-se possível, apesar de aumentar o percurso médio do ar no tapete, aumentando consequentemente a perda de carga no sistema.

A disposição dos furos nos cantos da laje, também visou melhorar a estética da fachada do prédio, já que assim é possível aproximar as chaminés duas a duas, causando menor impacto visual externamente ao prédio. Porém as chaminés devem ficar a uma distância, uma da outra, de no mínimo uma vez o seu diâmetro, para evitar que uma faça sombra na outra, prejudicando a eficiência do sistema.

Recomenda-se, por fim, que se adapte no topo das chaminés a serem construídas, um queimador, para o caso de se obter em alguma delas valor de concentração de metano próximo do limite inferior de explosividade, que é de 5% em volume no ar.

São Paulo, 28 de fevereiro de 2012.

CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

Geolº Dr. Nestor Kenji Yoshikawa
Responsável pelo Laboratório
CREA SP 0600796380 – RE 05066

CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

Engº Dr. Scandar Gasperazzo Ignatius
Gerente do Projeto
CREA SP 52820/D – RE 02607

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Engº Mecânico Dr. Fúlvio Vittorino
Diretor do Centro
CREA SP 177.763/D - RE 8261.0

CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS

Geólº Mestre Antonio Gimenez Filho
Diretor do Centro
CREA SP 0600693084 – RE 04765

Equipe Técnica

Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

Gerente do Projeto: Scandar Gasperazzo Ignatius - Engenheiro Civil, Dr.

- Cristiano Ono - Técnico
- Paulo Mendes da Silva - Estagiário

Apoio Administrativo
- Elma Moura Coelho Oliveira – Secretária

Centro Tecnológico do Ambiente Construído
Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios
- Fúlvio Vittorino - Engenheiro Mecânico, Doutor
- Marcelo de Mello Aquilino – Físico, Mestre
- Ângelo de Freitas Duarte Bezerra - Técnico

Apoio Administrativo
- Vera Lúcia Assaiante de Souza – Secretária

Referências Bibliográficas

- ASTM (2006). D5719 – 95 (Reapproved 2006), Standard Guide for Simulation of Subsurface Airflow Using Ground-Water Flow Modeling Codes, ASTM International, Pennsylvania, U.S.

- IPT (2011). Relatório Técnico Nº 125 011-205 - Relatório Parcial – Gleba I - Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo do edifício “Módulo Inicial”, outubro de 2011.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Concentração de gases e vapores no interior dos furos na laje.....8

Tabela 2: Valores médios obtidos no ensaio piloto.....37

Tabela 3: Valores médios obtidos nos ensaios em laboratório e no ensaio piloto.....42

Lista de Figuras

Figura 1: Posição dos furos na laje de piso para execução do ensaio piloto.....10

Figura 2: Posição dos furos em diagonal, forma da rede de fluxo de ar, e tempo de renovação do ar no tapete de brita sob a laje, obtidos no ensaio piloto.....41

Lista de Fotos

Foto 1: Chaminé vertical externa ao edifício, com 11,8 m de comprimento útil mais 0,5 m de apoio no chão.....11

Foto 2: Tubo adicional de 0,5 m para apoio no chão abaixo do tubo de entrada na chaminé vertical externa ao edifício.....12

Foto 3: Tubulação de extração de gás, de entrada na chaminé, horizontal, atravessando a parede externa do edifício. (Pode-se notar, na foto, uma trava metálica horizontal de estabilização da chaminé, ligando esta à parede do prédio).....13

Foto 4: Tubulação de extração de gás, atravessando a parede externa do edifício, ligando o furo (que alcança o tapete de brita sob a laje) no piso, no interior da sala, à chaminé do lado externo do prédio.....14

Foto 5: Tubulação de captação de ar atmosférico, ligando o furo de captação no piso (que alcança o tapete de brita sob a laje), subindo verticalmente junto à parede interna da sala, e, por meio de um cotovelo de 90°, atravessando a parede do corredor interno do prédio a cerca de 2 m de altura.....15

Foto 6: Ralo de proteção a cerca de 2 m de altura finalizando o tubo de captação de ar atmosférico.....16

Foto 7: Porta de limpeza na base da chaminé, abaixo do tubo horizontal de entrada, fixada ao corpo da chaminé por parafusos.....17

Foto 8: Válvula com torneira para ligação com a bomba de sucção, em caso de necessidade.....18

Foto 9: Válvula de engate rápido (à direita) para amostragem de gases durante o ensaio piloto 19

Foto 10: Válvula para interromper o fluxo na parte superior da chaminé, instalada a cerca de 2 m de altura, a ser utilizada caso seja necessário empregar a bomba de sucção.....20

Foto 11: Capeamento em forma de chapéu chinês, no topo da chaminé, para proteção contra chuva e detritos.....21

Foto 12: Uma entrada de rosca no topo para medição de pressão e ponto no topo para medição de temperatura.....22

Foto 13: Tubulação de captação de ar atmosférico provida de entradas de rosca na base para medição de vazão.....23

Foto 14: Início das perfurações nas paredes utilizando-se furadeira elétrica com broca de pequeno diâmetro.....24

Foto 15: Finalização manual das perfurações nas paredes utilizando-se talhadeira.....25

Foto 16: Equipamento de perfuração da laje de piso com broca tipo copo posicionado. 26

Foto 17: Furo na laje sendo executado, com água abundante, vendo-se a marca em vermelho na broca para controle da profundidade de perfuração.....27

Foto 18: Haste de puxar instalada no centro do cilindro cortado.....28

Foto 19: Cilindro de concreto retirado da laje de piso, com a haste puxadora, vendo-se as pontas de alguns ferros da armadura da laje.....29

Foto 20: Interior do furo na laje de piso (Furo 2, junto à parede externa do prédio), antes da retirada da folha plástica que foi colocada por ocasião da concretagem, separando o topo do tapete de brita da base da laje.....30

Foto 21: Interior do furo na laje de piso (Furo 2, junto à parede externa do prédio), apos retirada da folha plástica, vendo-se a brita do tapete.....31

Foto 22: Furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, imediatamente após sua execução e leitura da concentração de gases e vapores com aparelho do tipo Gastech.....32

Foto 23: Furo na laje, tampado com plástico e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se água condensada no plástico no interior do furo.....33

Foto 24: Furo na laje, após retirada da tampa plástica e fita adesiva, cerca de 20 dias após sua execução, vendo-se o fundo seco do furo.....34

Foto 25: Montagem do sistema de aquisição de dados, na chaminé, e sensores para medição de pressão, radiação solar, temperatura, velocidade do ar e concentração de gases e vapores.....35

Foto 26: Montagem do sensor de velocidade do ar na tomada de ar externo.....36

Foto 27: Diferencial de temperatura superficial da chaminé. 40

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Diferença de temperatura entre topo e base do ar interno da chaminé e variação da temperatura do ar externo.....8

Gráfico 2 – Radiação solar incidente nos planos horizontal e vertical no primeiro dia de medição. 39

Gráfico 3 – diferencial de pressão e velocidade do ar dentro da chaminé.....40