

RELATÓRIO TÉCNICO
130991-205
USP/SEF
Relatório Final
29 de julho de 2013

Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da
EACH/USP

Cliente
Universidade de São Paulo USP/SEF

UNIDADES RESPONSÁVEIS
Centro de Tecnologias Geoambientais - CTGeo
Centro Tecnológico do Ambiente Construído - CETAC

Resumo

Este Relatório Final apresenta a última etapa dos trabalhos previstos na Proposta IPT 432000/12, de projeto básico de modificação dos sistemas de proteção contra emissão de gás do subsolo, para edifícios do campus da EACH-USP. Estão descritos os detalhes para os sistemas de ventilação do subsolo dos edifícios I-4, Ginásio de Esportes, Laranjinha, CAT 1 e CAT 2, além de modificações no sistema proposto para o edifício Módulo Inicial. Estão também descritos os sistemas de monitoramento para esses edifícios e para o edifício I-3-Auditórios e Posto da Guarda Universitária, para os quais não foi instalado previamente nenhum sistema de ventilação. Sistemas de proteção dos edifícios I-1, I-3 Biblioteca, Posto de Enfermagem e Portaria P3 já foram apresentados em relatórios anteriores: no presente relatório estão apresentados os sistemas de monitoramento para esses edifícios. Os sistemas de proteção dos edifícios compõem-se basicamente de: a) Fase “enterrada” - tapete de brita, previamente instalado, sob as lajes de piso, captando as eventuais emissões de gás do subsolo, para o qual foram desenhados, no presente relatório, pontos de extração e pontos de captação de ar atmosférico, com o objetivo de provocar uma rede de fluxo de ar através do tapete, e b) Fase “aérea” – exaustores e rede de dutos.

Palavras chaves: intrusão de vapor, gás no subsolo, metano no subsolo, ventilação do subsolo de edifícios, USP, EACH, metano

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	3
3	SISTEMAS DE VENTILAÇÃO ANTERIORMENTE INSTALADOS	4
3.1	Edifício I-4	4
3.2	Ginásio de Esportes	5
3.3	Edifício Laranjinha (antigo Refeitório)	5
3.4	Posto da Guarda Universitária (antigo Guarita).....	6
3.5	Edifício CAT 1	6
3.6	Edifício CAT 2	7
3.7	Edifício I-3-Auditórios	9
4	EDIFÍCIO MÓDULO INICIAL.....	13
5	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	14
5.1	Parâmetros utilizados.....	14
5.1.1	Coefficiente de permeabilidade da brita	14
5.1.2	Demais parâmetros	15
5.2	Perda de carga nos tubos geomecânicos perfurados	16
5.3	Critérios de avaliação dos resultados.....	17
5.3.1	Critério de velocidades.....	17
5.3.2	Critério de vazões	17
5.4	Dimensionamento dos exaustores	18
6	PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUÍDOS	18
6.1	Edifício I-4	18
6.1.1	Modificações propostas.....	18
6.1.2	Simulações computacionais efetuadas	19
6.1.3	Avaliação do sistema pelo critério de velocidades	21
6.1.4	Avaliação do sistema pelo critério de vazões.....	21
6.1.5	Dimensionamento do exaustor.....	21
6.2	Ginásio de Esportes	23
6.2.1	Modificações propostas.....	24
6.2.2	Simulações computacionais efetuadas	24
6.2.3	Avaliação do sistema pelo critério de velocidades	25
6.2.4	Avaliação do sistema pelo critério de vazões.....	25
6.2.5	Dimensionamento do exaustor.....	26
6.3	Edifício Laranjinha.....	28
6.3.1	Modificações propostas.....	28
6.3.2	Simulações computacionais efetuadas	30
6.3.3	Avaliação do sistema pelo critério de velocidades	30
6.3.4	Avaliação do sistema pelo critério de vazões.....	30
6.3.5	Dimensionamento do exaustor.....	31
6.4	Posto da Guarda Universitária (antigo Guarita) - Monitoramento.....	33
6.5	Edifício CAT 1	33
6.5.1	Modificações propostas.....	33

6.5.2	Simulações computacionais efetuadas	34
6.5.3	Avaliação do sistema pelo critério de velocidades	34
6.5.4	Avaliação do sistema pelo critério de vazões.....	34
6.5.5	Dimensionamento do exaustor.....	35
6.6	Edifício CAT 2	38
6.6.1	Modificações propostas.....	38
6.6.2	Simulações computacionais efetuadas	39
6.6.3	Avaliação do sistema pelo critério de velocidades	41
6.6.4	Avaliação do sistema pelo critério de vazões.....	41
6.6.5	Dimensionamento do exaustor.....	42
6.7	Edifício I-3-Auditórios - Monitoramento	48
6.8	Edifício Módulo Inicial.....	49
6.8.1	Modificações propostas.....	49
6.8.2	Dimensionamento dos exaustores	49
6.8.2.1	Blocos Padrões – exaustores 1, 2 e 3	50
6.8.2.2	Prédio do Auditório – exaustores 4 e 5.....	50
6.8.2.3	Corredor de serviço – exaustor 6	52
7	EDIFÍCIO I-1 - MONITORAMENTO	53
8	EDIFÍCIO I-3-BIBLIOTECA - MONITORAMENTO	53
9	EDIFÍCIO POSTO DE ENFERMAGEM - MONITORAMENTO	53
10	EDIFÍCIO PORTARIA P3 - MONITORAMENTO.....	54
11	PLANO DE MONITORAMENTO	54
11.1	Equipamento	54
11.1.1	Pontos de monitoramento	55
11.1.1.1	Pontos de monitoramento sub-lajes	55
11.1.1.2	Pontos de monitoramento em superfície	56
11.1.2	Metodologia de medição	57
11.1.3	Frequência de medições	58
11.1.4	Ações a serem tomadas.....	58
12	RESUMO E CONCLUSÕES	59
	Equipe Técnica.....	61
	Referências Bibliográficas	62
	ANEXO A - DESENHOS	64
	ANEXO B - DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA EM TUBO RANHURADO SUBMETIDO A FLUXO DE AR INTERNO - ENSAIOS DE LABORATÓRIO	65

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da Proposta de Trabalho IPT 432000/12, foram apresentados, anteriormente, os seguintes relatórios:

- Plano de Trabalho, de 12 de dezembro de 2012. "Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH / USP".
- Relatório Técnico 130989-205 – Relatório Parcial II, de 21 de março de 2013. "Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH / USP" (IPT, 2013a).
- Relatório Técnico 130990-205 – Relatório Parcial III, de 24 de junho de 2013. "Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH/USP - Posto de Enfermagem, Portaria P3 e modificação nos I-1 e I-3-Biblioteca" (IPT, 2013b).

Os trabalhos restantes, executados para atender à Proposta de Trabalho IPT 432000/12, estão descritos neste Relatório Final, que apresenta projetos básicos para modificação de sistemas de ventilação existentes no subsolo de edifícios do campus da EACH USP, bem como os cálculos que resultaram nos sistemas propostos.

A finalidade das modificações apresentadas é de tornar eficazes os sistemas existentes, com relação ao objetivo de proteção dos edifícios contra emissão de gás inflamável (metano) proveniente do subsolo.

Os sistemas de ventilação aqui apresentados compõem-se basicamente de:

a) Fase "enterrada" - tapete de brita, previamente instalado (por ocasião da construção), sob as lajes de piso, captando as eventuais emissões de gás do subsolo, para o qual foram desenhados, no presente relatório, pontos de extração e pontos de captação de ar atmosférico, com o objetivo de provocar uma rede de fluxo de ar através do tapete;

b) Fase "aérea" – exaustor e rede de dutos, para extração ativa.

O objetivo desses sistemas é estabelecer uma rede de fluxo no tapete de brita, possibilitando sua ventilação, captando o gás eventualmente emanado do subsolo e conduzindo-o para pontos acima do teto dos edifícios.

Dois dos edifícios do campus estão sendo considerados casos especiais, para os quais não foi proposto sistema de ventilação, mas apenas um sistema de monitoramento com recomendação de ações decorrentes: o edifício I-3-Auditórios e o edifício do Posto da Guarda Universitária. As justificativas para isso estão expostas nos **itens 3.4, 3.7, 6.4 e 6.7**, neste texto.

Para todos os outros edifícios também está sendo proposto sistema de monitoramento, com o objetivo de verificar a eficácia dos sistemas de ventilação propostos.

Os resultados das medidas efetuadas nos sistemas de monitoramento devem gerar ações específicas para cada edifício, conforme descrito no **item 11**, a seguir neste texto.

O Relatório Técnico Nº 92353-205 do IPT, de abril de 2007 (IPT, 2007), apresentou sugestão de solução para os sistemas de ventilação do subsolo para vários edifícios do campus. Como explicitado nesse relatório, essas soluções eram qualitativas, por não terem sido verificados os cálculos, os quais estão sendo apresentados no presente relatório.

Por serem ainda válidas as considerações efetuadas no Relatório Nº 92353-205 (IPT, 2007), algumas delas estão integralmente transcritas nos itens a seguir. Aquele relatório aborda outros aspectos que não estão transcritos no presente relatório, como características gerais dos solos, do nível d'água natural e relatos sobre medidas anteriores de ocorrência de gases no subsolo dos edifícios considerados, por exemplo.

2 OBJETIVO

Os trabalhos complementares executados para atender à Proposta de Trabalho IPT 432000/12 estão descritos neste Relatório Final, que tem como objetivo apresentar o projeto básico para modificação dos sistemas de proteção contra emissão de gás do subsolo para edifícios do campus da EACH-USP.

Estão descritos os detalhamentos para os sistemas de ventilação do subsolo dos edifícios I-4, Ginásio de Esportes, Laranjinha, CAT 1 e CAT 2 além de modificações no sistema proposto para o edifício Módulo Inicial. Estão também descritos os sistemas de monitoramento para os edifícios I-3-Auditórios e Posto da Guarda Universitária.

Adicionalmente, está sendo apresentada no presente relatório, uma modificação da parte aérea do sistema de ventilação do subsolo do edifício Módulo Inicial, apresentado anteriormente no relatório Nº 125011-205, de 28 de outubro de 2011 (IPT, 2011), a pedido do cliente, que solicitou que fosse utilizado sistema de extração por exaustor, em substituição ao conjunto proposto de chaminés solares.

Essa modificação foi solicitada pelo cliente por razões arquitetônicas, devido ao impacto estético que ocorreria na fachada do edifício, caso fossem colocadas as chaminés propostas.

Assim sendo, foram recalculadas as perdas de carga com a nova configuração de tubulações e o número e capacidade dos exaustores a serem empregados.

Sistemas de proteção dos edifícios I-1 e I-3-Biblioteca já foram apresentados no relatório 130989-205, de 21 de março de 2013 (IPT, 2013a), e aprimorados no relatório 130990-205, de 24 de junho de 2013, (IPT, 2013b). No presente relatório estão apresentados os sistemas de monitoramento para esses edifícios.

Sistemas de proteção dos edifícios Posto de Enfermagem e Portaria P3 já foram apresentados no relatório Nº 130990-205, de 24 de junho de 2013 (IPT, 2013b). No presente relatório estão apresentados os sistemas de monitoramento para esses edifícios.

3 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO ANTERIORMENTE INSTALADOS

O texto do item 3.1, a seguir, é transcrição, praticamente integral, de texto do Relatório Técnico Nº 92353-205, do IPT (IPT, 2007).

3.1 Edifício I-4

A localização em planta do Edifício I-4 está indicada no **Desenho A1** do **Anexo A**.

O sistema de ventilação do subsolo do edifício I-4 compõe-se de 7 tubos geomecânicos drenantes transversais e 3 longitudinais, com 5,1 cm (2 polegadas) de diâmetro interno, localizados no interior do tapete drenante de brita de 0,10 metro de espessura, sob a laje de piso do edifício, ao invés de localizados no interior de trincheiras drenantes como nos sistemas descritos anteriormente.

Os tubos drenantes não estão conectados nos cruzamentos, mas passam um sobre o outro a pequena distancia, o que, na prática faz com que as pressões aplicadas a um se transmita igualmente ao outro, como se estivessem conectados.

O tapete drenante é limitado ao longo do perímetro da base do edifício por vigas baldrame externas.

As vigas baldrame internas possuem furos cilíndricos com cerca de 10 cm de diâmetro (4 polegadas) na altura do tapete, posicionadas a um terço de distancia dos apoios, com a finalidade de interligar as células contíguas do tapete drenante, separadas pelas vigas, permitindo comunicação entre elas, segundo informação do Engenheiro Joaquim Oviedo, da COESF – atual SEF (Oviedo, 2007).

Os tubos drenantes perfurados foram interrompidos no alinhamento do edifício, prosseguindo por tubos lisos não perfurados até caixas de passagem, uma em cada extremidade de tubo, onde uma tubulação lisa não perfurada disposta em anel no entorno do edifício interliga todos os tubos drenantes.

No **item 6.1** apresenta-se a solução presentemente proposta para o sistema de ventilação do subsolo do edifício I-4.

3.2 Ginásio de Esportes

A localização em planta do edifício do Ginásio de Esportes está indicada no **Desenho A1 do Anexo A**.

De construção recente, o edifício já dispõe de um sistema de ventilação do subsolo, constituído por um tapete de brita sob a laje de piso, com 0,1 m de espessura.

Linhas de extração de ar sob a laje, constituídas por tubos geomecânicos perfurados colocados no interior do tapete e pontos de captação de ar atmosférico, constituídos por furos nas vigas baldrame externas, possibilitam a mobilização de rede de fluxo de ar para ventilação do tapete.

Uma viga baldrame interna foi também provida de furos, para conexão de panos contíguos do tapete.

Entretanto, o sistema construído necessita de alguns ajustes, relacionados no **item 6.2**, para garantir sua eficácia. Nesse item apresenta-se a solução presentemente proposta para o sistema de ventilação do subsolo do edifício do Ginásio de Esportes.

3.3 Edifício Laranjinha (antigo Refeitório)

A localização em planta do Edifício Laranjinha está indicada no **Desenho A1, Anexo A**.

Neste edifício, executado sobre fundações em radier, não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

Entretanto, segundo informações do Arquiteto Rogério Bessa Gonçalves, da SEF (Gonçalves, 2013), foi colocado um colchão de brita (provavelmente brita nº 1), com espessura de 0,10 m, como lastro para concretagem da laje de piso.

No **item 6.3** apresenta-se a solução presentemente proposta para o sistema de ventilação do subsolo do edifício Laranjinha.

3.4 Posto da Guarda Universitária (antigo Guarita)

A localização em planta do Posto da Guarda Universitária está indicada no **Desenho A1 do Anexo A**.

Neste edifício não foi implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

Segundo informações do Sr. Luiz Carlos Gouveia, Desenhista Projetista da SEF (Gouveia, 2013), este edifício foi executado sobre fundações profundas, com lajes de piso apoiadas em vigas baldrames situadas nas posições indicadas no **Desenho A7, Anexo A**, não tendo sido colocado, nesse caso, colchão de brita como lastro para a concretagem da laje de piso, nem tapete de brita de drenagem de gases.

Devido às razões apresentadas acima, propõe-se, no caso desse edifício, instalar-se apenas um sistema de monitoramento, e as ações dele decorrentes, de acordo com o **item 11** deste texto.

No **item 6.4** apresenta-se a solução proposta de monitoramento para o edifício do Posto da Guarda Universitária.

3.5 Edifício CAT 1

A localização em planta do edifício CAT 1 está indicada no **Desenho A1 do Anexo A**.

O edifício foi executado sobre fundações profundas, com lajes de piso apoiadas em vigas baldrames colocadas nas posições indicadas nos **Desenhos A8 e A9, Anexo A**, não tendo sido implantado nenhum sistema de drenagem de gases e vapores do subsolo.

Entretanto, segundo informações do Arquiteto Rogério Bessa Gonçalves, da SEF (Gonçalves, 2013), foi colocado um colchão de brita (provavelmente brita nº 1), com espessura de 0,10 m, como lastro para concretagem da laje de piso.

Não foram executados furos para circulação de ar nas vigas baldrames externas nem nas internas.

No **item 6.5** apresenta-se a solução presentemente proposta para o sistema de ventilação do subsolo do edifício CAT 1.

3.6 Edifício CAT 2

A localização em planta do edifício CAT 2 está indicada no **Desenho A1** do **Anexo A**.

A estrutura desse edifício é idêntica à do edifício CAT 1 (**item 3.5**).

De construção mais recente, porém, o edifício já foi construído com um sistema de ventilação do subsolo, constituído de um tapete de brita sob a laje de piso, com pelo menos 0,1 m (0,3 a 0,4 m, segundo o Engenheiro Luciano Piccoli, da EACH - Piccoli, 2013) de espessura, de acordo com o princípio de fornecimento de pontos de extração de ar sob a laje e pontos de captação de ar atmosférico.

Com o intuito de providenciar os pontos de captação de ar atmosférico e de extração de ar sob as lajes, foram instalados tubos geomecânicos perfurados, no interior do tapete de brita, atravessando as vigas baldrames transversais através de perfurações previamente executadas.

As vigas baldrames internas transversais foram também providas de furos adicionais, para circulação de ar no tapete (Piccoli, 2013), mas não as longitudinais.

As **Fotos 1 e 2**, (de Piccoli, 2013), confirmando a informação, indicam, em cada conjunto de furação, dois furos laterais para passagem dos tubos drenantes e um furo central para conexão dos tapetes de brita, nas vigas baldrames transversais aos tubos drenantes.

Nas vigas baldrames longitudinais (colocadas em posição paralela aos tubos drenantes), não há, como se pode ver nas fotos, evidência de furos de conexão dos tapetes, motivo pelo qual estão sendo considerados como inexistentes, nas soluções propostas.

Como se pode ver nas fotos, o furo central ocorre também nas vigas baldrames perimetrais transversais aos tubos, fazendo com que o tapete esteja aberto à atmosfera nesses pontos.

Há, portanto, um sistema de ventilação do subsolo implementado. Entretanto, o sistema construído necessita de ajustes, relacionados no **item 6.6** para garantir sua eficácia.

No **item 6.6**, neste texto, apresenta-se a solução presentemente proposta para o sistema de ventilação do subsolo do edifício CAT 2.



Foto 1 - Furação nas vigas baldrame interna e perimetral do edifício CAT 2 – duas laterais para passagem dos tubos drenantes, e uma central, nas vigas internas, para conexão dos tapetes de brita (o furo central nas vigas perimetrais deve ser obturado (ver **item 6.6.1** neste texto) – vista 1



Foto 2 - Furação nas vigas baldrame interna e perimetral do edifício CAT 2 – duas laterais para passagem dos tubos drenantes, e uma central nas vigas internas, para conexão dos tapetes de brita (o furo central nas vigas perimetrais deve ser obturado (ver **item 6.6.1** neste texto) – vista 2

3.7 Edifício I-3-Auditórios

A localização em planta do edifício I-3-Auditórios está indicada no **Desenho A1** do **Anexo A**.

O edifício I-3 é constituído por duas estruturas independentes, que aqui estão sendo chamadas I-3-Auditórios e I-3-Biblioteca, separadas por uma área externa descoberta, medindo ao todo 189,00 por 54,00 metros em planta.

O sistema de ventilação do subsolo para o edifício I-3-Biblioteca já foi apresentado no relatório 130989-205, de 21 de março de 2013 (IPT, 2013a), e aprimorado no relatório 130990-205, de 24 de junho de 2013 (IPT, 2013b).

O sistema de extração de gás e vapor do subsolo já construído compõe-se de 6 tubos drenantes transversais e 2 longitudinais, dispostos horizontalmente, interligados nos cruzamentos, instalados no interior de trincheiras drenantes de brita 2.

Os tubos drenantes são tubos geomecânicos (polietileno de alta densidade), tipo dreno (serrados), com diâmetro de 100 mm (4 polegadas), colocados a uma profundidade constante de 0,90 metro em relação à laje acabada do piso, sob as vigas baldrame do edifício, no caso do edifício I-3-Biblioteca.

As trincheiras que acomodam os tubos drenantes têm largura de 0,90 metro e profundidade mínima de 1,50 metro com caimento de dentro para fora da projeção em planta do edifício. Essas trincheiras são capeadas superiormente por um tapete drenante de brita 1, com espessura de 0,10 metro, que se estende por toda a área da projeção em planta do edifício, no caso do edifício I-3-Biblioteca.

Os dois tubos drenantes longitudinais, bem como as trincheiras que os acomodam, interligam o subsolo das duas estruturas independentes do edifício I-3 e a área externa descoberta, apresentando comprimento de cerca de 189,00 metros cada um.

Os drenos longitudinais foram protegidos superiormente por seção de lona plástica de cerca de 1 metro de largura no trecho em que passam sob a área externa descoberta.

As demais características do sistema drenante construído sob o edifício I-3-Biblioteca são em tudo semelhantes às do edifício I-1, descritas no Relatório Técnico Nº 92353-205 do IPT (IPT, 2007).

No caso do edifício I-3-Auditórios, o topo das trincheiras, que acomodam os tubos drenantes, está separado da base das lajes de piso do edifício por um aterro de cerca de 1,0 m de espessura de solo compactado (Gouveia, 2013).

Esse aterro, como é normal na área, sofreu subsidência, provavelmente generalizada, causando o aparecimento de um espaço vazio sob as lajes de piso do edifício, também provavelmente generalizado.

Esse espaço vazio é mostrado nas **Fotos 3 e 4**, tiradas no interior de uma caixa de passagem existente no piso do saguão de entrada do edifício, na altura da rampa existente na entrada. Nota-se, nas fotos, a existência de um tapete de brita e de muita umidade (podem-se ver gotas de água condensadas na lona plástica que foi colocada na base da laje por ocasião de sua concretagem).

É provável que essa umidade intensa provoque elevado grau de saturação do solo fino do aterro, o que o transforma em uma barreira de proteção contra movimento advectivo de gás do subsolo, sob o prédio.



(a)



(b)

Foto 3 - (a) Caixa aberta no piso da entrada do edifício I-3-Auditórios, apresentando fenda ao longo de todo seu perímetro; (b) posição da caixa na chegada da rampa de acesso ao piso e a direção em que a **Foto 4** (a seguir, neste texto) foi tomada, indicada pela barra vermelha



(a)



(b)

Foto 4 - (a) e (b) Duas vistas do vazio sob as lajes de piso do I-3-Auditórios provocado pela subsidência do aterro sotoposto. Notam-se gotas de água indicando grande umidade no local

Esse espaço vazio, entre a laje e o tapete de brita, deve ser de ocorrência generalizada sob as lajes de piso do edifício, o que favoreceria a ventilação sub-laje, se não fosse a ausência de furação nas vigas baldrames interligando-os, acrescida da dificuldade de execução de perfurações com instalação de tubulações na parte superior das lajes, devido ao grande prejuízo estético e para a circulação de pessoas que seria provocado, no saguão do prédio.

Devido às razões apresentadas acima, propõe-se, no caso desse edifício, instalar-se um sistema de monitoramento, e as ações dele decorrentes, de acordo com o **item 11** neste texto.

No **item 6.7** apresenta-se a solução proposta de monitoramento para o edifício I-3-Auditórios.

4 EDIFÍCIO MÓDULO INICIAL

No relatório 125011-205, de 28 de outubro de 2011, do IPT, foram apresentadas soluções para ventilação do subsolo de alguns edifícios, entre os quais o Edifício Módulo Inicial, cuja parte aérea está sendo modificada no atual relatório, para atender a aperfeiçoamentos solicitados posteriormente pelo Cliente, por razões arquitetônicas.

Após análises, preferiu-se utilizar sistema de extração por exaustor, em substituição ao conjunto de chaminés solares, proposto inicialmente, devido ao impacto estético que ocorreria na fachada do edifício, caso fossem colocadas as chaminés propostas.

A localização em planta do Edifício Módulo Inicial, no campus da EACH-USP, está indicada no **Desenho A1** do **Anexo A**.

Assim sendo, foram recalculadas as perdas de carga com a nova configuração de tubulações e o número e potência de exaustores a serem empregados.

5 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Foram efetuadas várias simulações computacionais para teste de alternativas de sistemas de ventilação para os edifícios considerados, por meio do software *Visual Modflow®*, desenvolvido originalmente para simulação tridimensional de fluxos de águas subterrâneas e transporte de contaminantes.

A utilização deste software para simulação de fluxo de ar em meio poroso pode ser feita de acordo com as adaptações descritas na norma D5719-95, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2006).

5.1 Parâmetros utilizados

5.1.1 Coeficiente de permeabilidade da brita

Para a realização das simulações, o coeficiente de permeabilidade para a brita foi determinado de acordo com os cálculos apresentados a seguir.

Os tapetes de brita dos edifícios são constituídos por brita nº 1, com dimensões de grãos entre 0,95 e 1,9 cm e d_{10} (diâmetro efetivo) aproximadamente igual a 1,0 cm.

A equação de Hazen fornece o coeficiente de permeabilidade à água, k_w , para a brita 1, em cm/s, para d_{10} em cm:

$$k_w = 100(d_{10})^2$$

O coeficiente de permeabilidade à água, k_w , da brita 1, calculado pela expressão de Hazen, vale 100 cm/s ou 1,0 m/s.

O coeficiente de permeabilidade ao ar, k_a , da brita 1, pode ser calculado a partir do k_w , pela expressão abaixo:

$$k_a = \frac{\mu_w}{\mu_a} \frac{\rho_a}{\rho_w} k_w$$

em que (para temperatura de 20 °C e pressão 1 atm):

- μ_w – viscosidade dinâmica da água ($1,002 \times 10^{-3}$ Pa.s);
- μ_a – viscosidade dinâmica do ar ($1,813 \times 10^{-5}$ Pa.s);
- ρ_w - densidade da água ($998,2$ kg/m³); e
- ρ_a - densidade do ar ($1,196$ kg/m³).

O coeficiente de permeabilidade ao ar resulta, assim, para a brita 1:

$$k_a = 0,07k_w = 0,07 \times 1 = 7 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

Esse foi o valor do coeficiente de permeabilidade ao ar, k_a , utilizado nas simulações computacionais efetuadas, para a brita nº 1 dos tapetes drenantes.

5.1.2 Demais parâmetros

Nas simulações foi considerada ainda a porosidade efetiva da brita nº 1 como sendo 0,5, igual à sua porosidade total.

Os demais parâmetros da **Tabela 1**, a seguir, foram calculados de acordo com recomendação incluída em ASTM (2006).

Tabela 1 - Parâmetros considerados na simulação numérica

	Ka (m/s)	Armazenamento Específico	Rendimento específico	Porosidade Efetiva	Porosidade Total
Brita nº 1	7,0E-02	5,5E-05	0,5	0,5	0,5
Brita nº 1 (c/ reduc.)^(*)	7,0E-03	5,5E-05	0,5	0,5	0,5

(*) redução de uma ordem de grandeza no coeficiente de permeabilidade ao ar para considerar presença de interferências, como furos nas vigas, onde necessário.

5.2 Perda de carga nos tubos geomecânicos perfurados

Para os edifícios em que a solução proposta de ventilação do subsolo incluiu fluxo de ar pelos tubos drenantes constituídos por tubos geomecânicos perfurados, foi estimada a perda de carga por metro de tubo de acordo com a sequência de operações a seguir, baseada nos resultados obtidos nos ensaios de laboratórios efetuados, descritos no **Anexo B**.

- a) Efetuar simulações numéricas, por meio do software *Visual Modflow*®, de extração de ar no tapete sem considerar perda de carga no tubo perfurado, determinando a menor pressão de sucção, P_{min} , suficiente para que as velocidades do ar em todo o tapete sejam maiores que 10^{-5} m/s;
- b) Verificar a vazão total de extração, Q_{tot} , obtida para a situação do item 1;
- c) Dividir o comprimento total do tubo geomecânico perfurado de extração em “n” segmentos de 0,1 metro, sendo o de número “n” aquele conectado ao exaustor (ou ao tubo liso que conduz ao exaustor) e o de número “1” aquele da extremidade oposta (ponta obturada do tubo). A discretização do duto em seções de 0,1 m é adequada para esta situação visto que o cálculo de perdas de carga é em geral feito em termos de perda de carga por metro e a discretização utilizada corresponde a um décimo de metro;
- d) Aplicar a pressão mínima determinada no item 1, em nova simulação, ao segmento 1 (assume-se que a pressão mínima está aplicada ao longo de todo o segmento de 0,1 m, a partir da extremidade oposta à do exaustor);
- e) Adotar no segmento 1 a vazão de entrada de ar, através das perfurações no tubo, igual a $Q_1 = Q_{tot} / n$;
- f) Calcular, conhecendo-se o diâmetro da tubulação, $\varnothing$, a velocidade de escoamento V_1 do ar ao longo da tubulação, no segmento 1 (assume-se velocidade constante ao longo do segmento), dividindo-se a vazão Q_1 no segmento pela área da seção transversal do tubo;

- g) Determinar o valor da perda de carga, ΔP_1 , correspondente à velocidade V_1 , no segmento 1, de acordo com os resultados experimentais de perda de carga no tubo perfurado apresentados no **Anexo B**;
- h) Calcular o valor da pressão ao longo do segmento seguinte, P_2 , somando-se o valor de ΔP_1 ao valor de P_{min} obtido de acordo com o item a);
- i) Calcular a vazão, Q_2 , no segmento 2, somando Q_1 com a parcela de vazão admitida ao longo do segmento: $Q_2 = Q_1 + Q_{tot}/n$;
- j) Determinar, conhecendo-se a vazão Q_2 , a velocidade e a perda de carga ao longo do segmento 2 e, a seguir, a pressão P_3 atuante ao longo do segmento 3, repetindo os passos f, g e h; e
- k) Repetir a sequência de operações, até o último segmento de tubo geomecânico perfurado drenante.

5.3 Critérios de avaliação dos resultados

A eficácia do projeto básico do sistema proposto é suposta, verificando-se os dois critérios a seguir.

5.3.1 Critério de velocidades

Para avaliação dos resultados, os valores de velocidade de escoamento do ar no tapete de brita, obtidos nas simulações, foram comparados com o valor mínimo igual a 10^{-5} m/s, recomendado no manual elaborado pelo *US Army Corps of Engineers* (USACE, 2002), que contém orientações para construção e operação de sistemas de extração de vapor do solo.

5.3.2 Critério de vazões

Para avaliação dos resultados, foi também verificado se as taxas de renovação do ar no tapete de brita, com as vazões de ar resultantes das simulações, apresentam valores que se podem considerar razoáveis para manter ventilação adequada do tapete.

5.4 Dimensionamento dos exaustores

Para o dimensionamento dos exaustores foram consideradas as perdas de carga (distribuídas e localizadas), 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 perfurados de extração e de captação de ar, instalados no interior do tapete de brita, com base nos resultados experimentais apresentados no **Anexo B**.

Os exaustores a serem utilizados devem ter capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, com uma margem de segurança, 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.

6 PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUÍDOS

Estão sendo propostas, no presente trabalho, as seguintes modificações para os sistemas de ventilação do subsolo instalados por ocasião da construção dos edifícios.

6.1 Edifício I-4

Nos **Desenhos A2 e A3, ANEXO A**, mostra-se o sistema proposto para o Edifício I-4, com as modificações descritas no **item 6.1.1**, a seguir.

6.1.1 Modificações propostas

- a) Tamponar as extremidades dos tubos geomecânicos longitudinais laterais, indicados nos **Desenhos A2 e A3**, interrompendo suas conexões com a atmosfera;
- b) Preencher totalmente os tubos geomecânicos transversais com calda de cimento, com a finalidade de impedir o fluxo de ar por eles;

- c) Construir, ao longo de duas laterais do edifício, nas posições indicadas nos **Desenhos A2 e A3, Anexo A**, 18 caixas de brita 1, cada uma conectada diretamente a um ponto de captação de ar atmosférico para o tapete de brita. Cada caixa deverá ter dimensões de 0,3 x 0,3 m, em planta, e 1,0 m de profundidade. A profundidade de 1,0 m, para as caixas, tem o objetivo de garantir a não inundação dos furos de captação de ar atmosférico, devido à eventual inundação das caixas de brita, em caso de chuva forte prolongada (Obs.: considerando uma chuva com período de retorno de 100 anos e duração de 1 h, sua intensidade seria cerca de 5 mm/min, o que resultaria portanto uma lâmina d'água de cerca de 0,6 m no fundo da caixa, considerando porosidade 0,5 para a brita 1, segundo SMDU, 2012. Essa lâmina d'água dissipar-se-ia em seguida, por infiltração no solo);
- d) Posicionar o exaustor na extremidade do tubo geomecânico longitudinal central de modo a utilizar este duto para extração de ar atmosférico;
- e) Tamponar a extremidade oposta ao exaustor do tubo de extração de ar atmosférico; e
- f) Instalar um tubo liso de 5,1 cm (2 polegadas) de diâmetro e 5,5 m de altura, para conduzir o ar extraído do tapete de brita para um ponto 1,0 m acima do teto do edifício. Sugere-se afixar esse tubo com braçadeiras, na parede lateral externa do prédio, mais próxima do exaustor.

6.1.2 Simulações computacionais efetuadas

As simulações computacionais efetuadas mostraram que pressões de sucção de 13 Pa na extremidade do tubo perfurado oposta ao exaustor (tamponada) e de 23,7 Pa no ponto de aplicação do exaustor, considerando-se as perdas de carga ao longo desse tubo, são suficientes para mobilizar rede de fluxo eficaz no tapete do Edifício I-4, com uma vazão total de exaustão de 10,7 m³/h.

A pressão de 23,7 Pa, acrescida das perdas de carga na tubulação não perfurada, é a que deverá ser aplicada pelo exaustor. O dimensionamento do exaustor está descrito no **item 6.1.5**.

As pressões ao longo do tubo perfurado com comprimento total de 57,5 m, considerando as perdas de carga, calculadas a partir dos resultados obtidos nos ensaios apresentados no **Anexo B**, estão representadas graficamente na **Figura 1**.

As magnitudes de pressão apresentadas (a posição vertical e a forma que a curva da figura 1 ocupa no desenho) são dependentes da distribuição de velocidades do ar no tubo, que por sua vez depende da vazão aplicada pelo exaustor, sendo, portanto, válidas apenas para o caso presente.

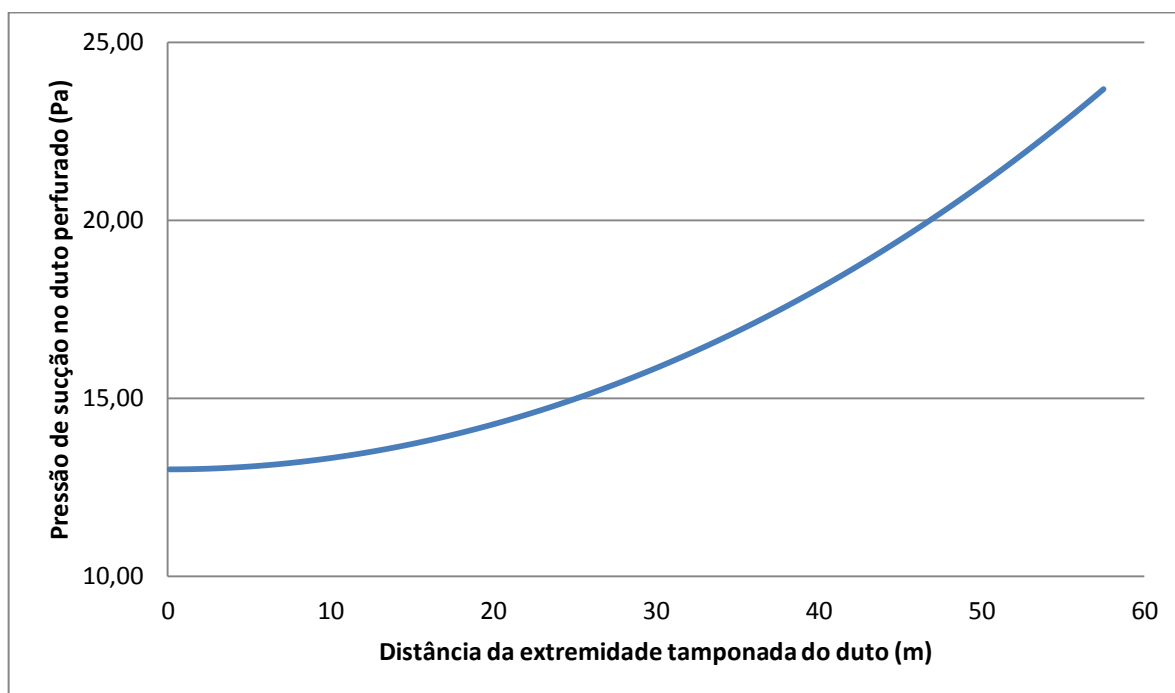


Figura 1 - Pressão de sucção atuante ao longo do tubo geomecânico perfurado de extração, com comprimento total 57,5 m, para a vazão de 10,7 m³/h aplicada pelo exaustor

6.1.3 Avaliação do sistema pelo critério de velocidades

O **Desenho A3, ANEXO A**, mostra que as velocidades do ar no interior do tapete de brita serão superiores a 10^{-4} m/s, uma ordem de grandeza superior ao valor mínimo (10^{-5} m/s) recomendado em USACE (2002).

6.1.4 Avaliação do sistema pelo critério de vazões

A vazão total, Q , de exaustão de ar do tapete (igual à vazão de entrada de ar atmosférico), resultante da simulação computacional, foi de $10,7 \text{ m}^3/\text{h}$.

Os tapetes de brita nº 1 sob a laje de piso do edifício têm área total de 1054 m^2 , espessura de $0,1 \text{ m}$ e porosidade $0,5$, resultando o volume de vazios, V_v , no tapete, de $52,7 \text{ m}^3$.

O número de renovações no tempo, ou Taxa de Renovação (T_R) do ar no tapete de brita, resulta:

$$T_R = \frac{Q}{V_v} = \frac{10,7}{52,7} = 0,2 \frac{\text{renovação}}{\text{hora}}, \text{ ou } 4,8 \frac{\text{renovações}}{\text{dia}}$$

Desse modo, a cada dia (24 horas) de funcionamento do exaustor, o ar no tapete de brita do Edifício I-4 é renovado 4,8 vezes, o que se considera suficiente para o propósito de ventilação do tapete.

6.1.5 Dimensionamento do exaustor

A pressão de sucção de $23,7 \text{ Pa}$, na extremidade do tubo perfurado conectada ao exaustor, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no Edifício I-4, de acordo com as simulações realizadas.

Para essa pressão aplicada, a vazão de ar no tapete, resultante da simulação computacional, foi de $10,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

O duto liso (não perfurado), com cerca de $5,1 \text{ cm}$ de diâmetro (2 polegadas), que conduzirá o ar da saída do duto perfurado sob as lajes do edifício ao exaustor, terá comprimento total de cerca de $6,0 \text{ m}$ e estará submetido à vazão de $10,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$), que corresponde à vazão total de saída do tapete.

O duto liso (não perfurado), com cerca de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), que conduzirá o ar, do exaustor para a atmosfera, a um ponto localizado 1,0 m acima do teto do edifício, terá comprimento de 5,5 m, e estará submetido à mesma vazão total de 10,7 m³/h (3x10⁻³ m³/s).

O comprimento total de tubo liso, de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), submetido à vazão total de 10,7 m³/h (3x10⁻³ m³/s) é, portanto, de 11,5 m.

Os cálculos de perda de carga nesses dutos são apresentados a seguir.

➤ **Trecho de 11,5 m de comprimento de tubo liso**

A velocidade de escoamento, v , pode ser calculada, dividindo-se a vazão, Q , pela área transversal, A , do tubo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,003}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{0,003}{0,002} = 1,5 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re , e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re :**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,5 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 5046$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C (1,516 x 10⁻⁵ m²/s) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re > 4000$, o fluxo no tubo liso é turbulento (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo turbulento, λ :**

$$\lambda = 0,036$$

(Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody, para o Re calculado acima, fluxo turbulento e rugosidade relativa (ε/D) das paredes do tubo (material: plástico) igual a

$1,4 \times 10^{-4}$ (diâmetro do tubo $D = 0,051$ m e rugosidade absoluta para tubo de PVC ou plástico, $\varepsilon = 7 \times 10^{-6}$ m –(www.engineeringtoolbox.com, 2013).

- **Perda de carga distribuída, ΔP_d , no tubo liso:**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: λ – coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga ao longo do comprimento total de duto não perfurado (11,5 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_d = 0,036 \times \frac{11,5}{0,051} \times \frac{1,5^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 10,9 \text{ Pa}$$

O exaustor a ser utilizado deve ter a capacidade de aplicar a vazão de, no mínimo, $10,7 \text{ m}^3/\text{h}$, necessária para mobilizar uma rede de fluxo de ar adequada no tapete de brita.

Para isso, deve ter capacidade de aplicar uma pressão de, no mínimo, $34,6 \text{ Pa}$, igual à necessária para mobilizar a rede de fluxo de ar, $23,7 \text{ Pa}$, mais a perda de carga total nas tubulações, $10,9 \text{ Pa}$.

6.2 Ginásio de Esportes

Nos **Desenhos A4 e A5, ANEXO A**, mostra-se o sistema proposto para o Ginásio de Esportes, com as modificações descritas no **item 6.2.1**, a seguir.

6.2.1 Modificações propostas

- a) Tamponar as extremidades dos tubos geomecânicos indicados nos **Desenhos A4 e A5**, interrompendo suas conexões com a atmosfera;
- b) Tamponar todos os furos nas vigas baldrame externas perpendiculares aos tubos geomecânicos (conforme indicado nos **Desenhos A4 e A5**);
- c) Instalar um exaustor no final do tubo de interligação com o tubo geomecânico central (conforme indicado nos **Desenhos A4 e A5**), de modo a utilizar este duto para extração de ar atmosférico;
- d) Tamponar a extremidade oposta ao exaustor do tubo geomecânico central de extração de ar atmosférico; e
- e) Instalar um tubo de 5,1 cm (2 polegadas) de diâmetro e 11 m de altura, para conduzir o ar extraído do tapete de brita para um ponto 1,0 m acima do teto do edifício. Sugere-se afixar esse tubo com braçadeiras, na parede lateral externa do prédio, próximo do exaustor.

6.2.2 Simulações computacionais efetuadas

As simulações computacionais efetuadas mostraram que pressões de sucção de 13 Pa, na extremidade do tubo perfurado oposta ao exaustor (tamponada), e de 43,1 Pa, no ponto de aplicação do exaustor, considerando-se as perdas de carga ao longo desse tubo, são suficientes para mobilizar rede de fluxo eficaz no tapete do Ginásio de Esportes, com uma vazão total de exaustão de 12,6 m³/h.

A pressão de 43,1 Pa, acrescida das perdas de carga na tubulação não perfurada, é a que deverá ser aplicada pelo exaustor. O dimensionamento do exaustor está descrito no **item 6.2.5**.

As pressões ao longo do tubo perfurado com comprimento total de 64 m, considerando as perdas de carga, calculadas a partir dos resultados obtidos nos ensaios apresentados no **Anexo B**, estão representadas graficamente na **Figura 2** a seguir.

As magnitudes de pressão apresentadas (a posição vertical e a forma que a curva da **Figura 2** ocupa no desenho) são dependentes da distribuição de velocidades do ar no tubo, que por sua vez, depende da vazão aplicada pelo exaustor, sendo, portanto, válidas apenas para o caso presente.

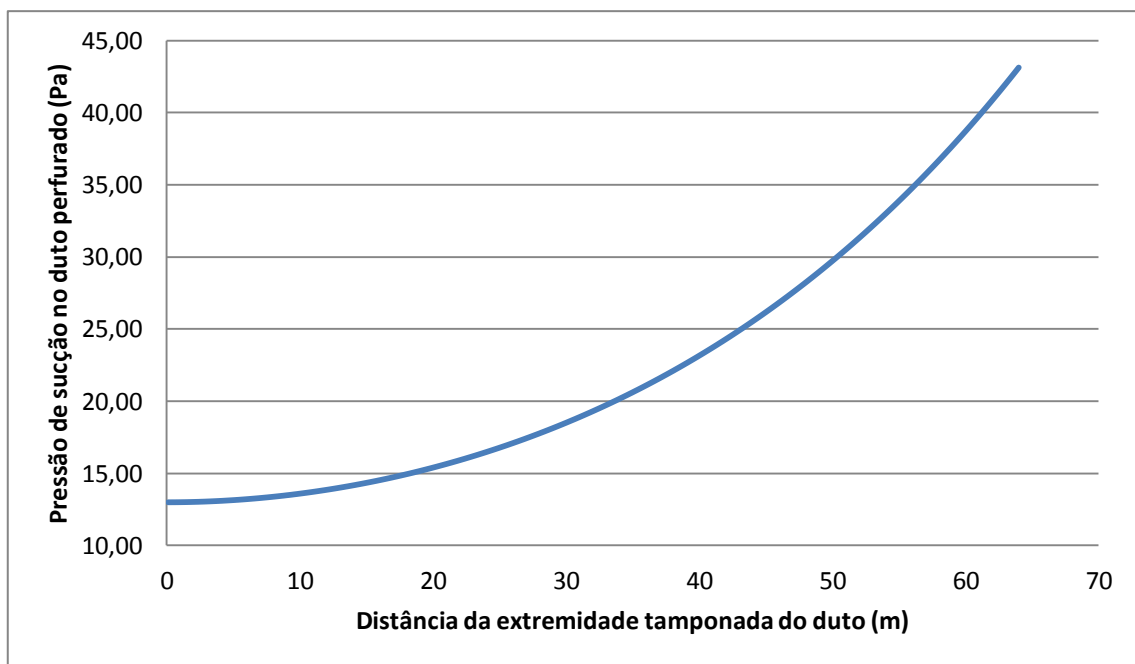


Figura 2 - Pressão de sucção atuante ao longo do tubo geomecânico perfurado de extração, com comprimento total 64 m, para a vazão de 12,6 m³/h aplicada pelo exaustor

6.2.3 Avaliação do sistema pelo critério de velocidades

O **Desenho A5, ANEXO A**, mostra que as velocidades do ar no interior do tapete de brita serão superiores a 10⁻⁴ m/s, uma ordem de grandeza superior ao valor mínimo (10⁻⁵ m/s) recomendado em USACE (2002).

6.2.4 Avaliação do sistema pelo critério de vazões

A vazão total, Q, de exaustão de ar do tapete (igual à vazão de entrada de ar atmosférico), resultante da simulação computacional, foi de 12,6 m³/h.

Os tapetes de brita nº 1 sob a laje de piso do edifício têm área total de 2592 m², espessura de 0,1 m e porosidade 0,5, resultando o volume de vazios, V_v, no tapete, de 129,6 m³.

O número de renovações no tempo, ou Taxa de Renovação (T_R) do ar no tapete de brita, resulta:

$$T_R = \frac{Q}{V_v} = \frac{12,6}{129,6} = 0,1 \frac{\text{renovação}}{\text{hora}}, \text{ ou } 2,4 \frac{\text{renovações}}{\text{dia}}$$

Desse modo, a cada dia (24 horas) de funcionamento do exaustor, o ar no tapete de brita do Edifício do Ginásio de Esportes é renovado 2,4 vezes, o que se considera suficiente para o propósito de ventilação do tapete.

6.2.5 Dimensionamento do exaustor

A pressão de sucção de 43,1 Pa, na extremidade do tubo perfurado conectada ao exaustor, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no Ginásio de Esportes, de acordo com as simulações realizadas.

Para essa pressão aplicada, a vazão de ar no tapete, resultante da simulação computacional, foi de 12,6 m³/h ou 3,5x10⁻³ m³/s.

O exaustor a ser utilizado deve ter capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, com uma margem de segurança, além de contemplar diversas outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, facilidade de operação e manutenção, dentre outras.

O duto liso (não perfurado), com cerca de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), que conduzirá o ar, da saída do duto perfurado sob as lajes do edifício ao exaustor, terá comprimento total de cerca de 2 m, e estará submetido à vazão de 12,6 m³/h (3,5x10⁻³ m³/s), que corresponde à vazão total de saída do tapete.

O duto liso (não perfurado), com cerca de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), que conduzirá o ar, do exaustor para a atmosfera, a um ponto localizado 1,0 m acima do teto do edifício, terá comprimento de 11 m, e estará submetido à mesma vazão total de 12,6 m³/h (3,5x10⁻³ m³/s).

O comprimento total de tubo liso, de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), submetido à vazão total de 12,6 m³/h (3,5x10⁻³ m³/s) é, portanto, de 13 m.

Os cálculos de perda de carga nesses dutos são apresentados a seguir.

➤ **Trecho de 13,0 m de comprimento de tubo liso**

A velocidade de escoamento, v , pode ser calculada, dividindo-se a vazão, Q , pela área transversal, A , do tubo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,0035}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{0,0035}{0,002} = 1,75 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re , e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re :**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,75 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 5887$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C (1,516 x 10⁻⁵ m²/s) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re > 4000$, o fluxo no tubo liso (trecho de 13,0 m) é turbulento (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo turbulento, λ :**

$$\lambda = 0,035$$

(Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody, para o Re calculado acima, fluxo turbulento e rugosidade relativa (ε/D) das paredes do tubo (material: plástico) igual a 1,4x10⁻⁴ (diâmetro do tubo $D = 0,051$ m e rugosidade absoluta para tubo de PVC ou plástico, $\varepsilon = 7 \times 10^{-6}$ m –(www.engineeringtoolbox.com, 2013).

- **Perda de carga distribuída, ΔP_d , no tubo (trecho de 13,0 m)**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: λ – coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga ao longo do comprimento total de duto não perfurado (13,0 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_{d1} = 0,035 \times \frac{13}{0,051} \times \frac{1,75^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 16,3 \text{ Pa}$$

O exaustor a ser utilizado deve ter a capacidade de aplicar a vazão de, no mínimo, $12,6 \text{ m}^3/\text{h}$, necessária para mobilizar uma rede de fluxo de ar adequada no tapete de brita.

Para isso, deve ter capacidade de aplicar uma pressão de, no mínimo, $59,4 \text{ Pa}$, igual à necessária para mobilizar a rede de fluxo de ar, $43,1 \text{ Pa}$, mais a perda de carga total nas tubulações, $16,3 \text{ Pa}$.

6.3 Edifício Laranjinha

No **Desenho A6, ANEXO A**, mostra-se o sistema proposto para o edifício Laranjinha, com as modificações descritas no **item 6.3.1**, a seguir.

6.3.1 Modificações propostas

- a) Ao longo de todo o comprimento da parede frontal e da parede oposta (posterior) do edifício, deverão ser construídas barreiras subterrâneas verticais de no mínimo $0,30 \text{ m}$ de largura por $1,0 \text{ m}$ de profundidade,

constituídas por argila limpa compactada, com 95% de grau de compactação, no mínimo, e desvio de umidade entre -2% e +2%, tamponando o tapete de brita existente sob a laje de piso do edifício. Essas barreiras terão função impermeabilizante, impedindo entrada de ar atmosférico no tapete de brita sob a laje de piso, ao longo delas;

- b) Ao longo de todo o comprimento da parede lateral direita (de quem olha para a fachada frontal do edifício), deve ser construída uma trincheira de brita 1 de no mínimo 0,30 m de largura por 1,0 m de profundidade, conectada ao tapete de brita sob a laje de piso do edifício, que servirá de linha de captação de ar atmosférico para o tapete. A profundidade de 1,0 m, para a trincheira, tem o objetivo de garantir a não inundação do tapete, devido à eventual inundação da trincheira, em caso de chuva forte prolongada (Obs.: considerando uma chuva com período de retorno de 100 anos e duração de 1 h, sua intensidade seria cerca de 5 mm/min, o que resultaria portanto uma lâmina d'água de cerca de 0,6 m no fundo da trincheira, considerando porosidade 0,5 para a brita 1, segundo SMDU, 2012. Essa lâmina d'água dissipar-se-ia em seguida, por infiltração no solo);
- c) Ao longo de todo o comprimento da parede lateral esquerda (de quem olha para a fachada frontal do edifício), deve ser construída uma caixa de concreto estanque de seção transversal de 30 por 30 cm, conectada ao longo de uma de suas laterais ao tapete de brita existente sob a laje de piso do edifício. Essa caixa será mantida sob sucção por meio de um exaustor posicionado no ponto médio de seu comprimento, provocando assim uma rede de fluxo de ar através do tapete de brita, entrando pela trincheira de brita na lateral direita e saindo pela caixa de concreto na lateral esquerda. A caixa fará a função de linha de extração de ar do tapete de brita sob a laje;
- d) Instalar um tubo liso de 5,1 cm (2 polegadas) de diâmetro e 5,0 m de altura, para conduzir o ar extraído do tapete de brita para um ponto 1,0 m acima do

teto do edifício. Sugere-se afixar esse tubo com braçadeiras, na parede lateral externa do prédio, próximo do exaustor.

6.3.2 Simulações computacionais efetuadas

As simulações computacionais efetuadas mostraram que pressão de sucção de 63 Pa, aplicada pelo exaustor, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no tapete do Edifício Laranjinha, com uma vazão total de exaustão de 6,8 m³/h.

6.3.3 Avaliação do sistema pelo critério de velocidades

O **Desenho A6, ANEXO A**, mostra que as velocidades do ar no interior do tapete de brita serão superiores a 10⁻⁴ m/s, uma ordem de grandeza superior ao valor mínimo (10⁻⁵ m/s) recomendado em USACE (2002).

6.3.4 Avaliação do sistema pelo critério de vazões

A vazão total, Q, de exaustão de ar do tapete (igual à vazão de entrada de ar atmosférico), resultante da simulação computacional, foi de 6,83 m³/h.

Os tapetes de brita nº 1 sob a laje de piso do edifício têm área total de 644,2 m², espessura de 0,1 m e porosidade 0,5, resultando o volume de vazios, V_v, no tapete, de 32,2 m³.

O número de renovações no tempo, ou Taxa de Renovação (T_R) do ar no tapete de brita, resulta:

$$T_R = \frac{Q}{V_v} = \frac{6,83}{32,2} = 0,2 \frac{\text{renovação}}{\text{hora}}, \text{ ou } 4,8 \frac{\text{renovações}}{\text{dia}}$$

Desse modo, a cada dia (24 horas) de funcionamento do exaustor, o ar no tapete de brita do Edifício Laranjinha é renovado 4,8 vezes, o que se considera suficiente para o propósito de ventilação do tapete.

6.3.5 Dimensionamento do exaustor

A pressão de sucção de 63,0 Pa, na linha de extração de ar do tapete de brita sob a laje (caixa de concreto) conectada ao exaustor, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no Edifício Laranjinha, de acordo com as simulações realizadas.

Para essa pressão aplicada, a vazão de ar no tapete, resultante da simulação computacional, foi de 6,83 m³/h ou 1,9x10⁻³ m³/s.

O exaustor a ser utilizado deve ter capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, com uma margem de segurança, além de contemplar diversas outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, facilidade de operação e manutenção, dentre outras.

O duto liso, com cerca de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), que conduzirá o ar, do exaustor para a atmosfera, a um ponto localizado 1,0 m acima do teto do edifício, terá comprimento de 4 m, e estará submetido à vazão de 6,83 m³/h (1,9x10⁻³ m³/s).

Os cálculos de perda de carga nesses dutos são apresentados a seguir.

➤ Trecho de 4,0 m de comprimento de tubo liso

A velocidade de escoamento, v , pode ser calculada, dividindo-se a vazão, Q , pela área transversal, A , do tubo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,0019}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{0,0019}{0,002} = 0,95 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re , e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re :**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,95 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 3196$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C ($1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re < 4000$, o fluxo no tubo liso (trecho de 4,0 m) é laminar (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo laminar, f :**

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{3196} = 0,02 \text{ (Macintyre, 1990)}$$

- **Perda de carga distribuída, ΔP_d , no tubo (trecho de 4,0 m):**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_d = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: f – coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga, ao longo do comprimento total de duto não perfurado (13,0 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_d = 0,02 \times \frac{4}{0,051} \times \frac{0,95^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 0,85 \text{ Pa}$$

O exaustor a ser utilizado deve ter a capacidade de aplicar a vazão de, no mínimo, $6,83 \text{ m}^3/\text{h}$, necessária para mobilizar uma rede de fluxo de ar adequada no tapete de brita.

Para isso, deve ter capacidade de aplicar uma pressão de, no mínimo, 63,9 Pa, igual à necessária para mobilizar a rede de fluxo de ar, 63,0 Pa, mais a perda de carga total nas tubulações, 0,85 Pa.

6.4 Posto da Guarda Universitária (antigo Guarita) - Monitoramento

A segurança do edifício do Posto da Guarda Universitária, contra intrusão de gás no edifício e acumulação de gás em eventuais espaços sob as lajes de piso, deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11** deste texto.

O **Desenho A7, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

6.5 Edifício CAT 1

Nos **Desenhos A8 e A9, ANEXO A**, mostra-se o sistema proposto para o edifício CAT 1, com as modificações descritas no **item 6.5.1**, a seguir.

6.5.1 Modificações propostas

- a) Executar as perfurações nas lajes do edifício, com diâmetro de 5,1 cm (2 polegadas), indicadas nos **Desenhos A8 e A9, Anexo A**, algumas das quais serão utilizadas para captação de ar atmosférico e algumas para extração de ar do colchão de brita existente sob as lajes de piso;
- b) Interligar as perfurações da maneira indicada nos **Desenhos A8 e A9, Anexo A**, por meio de tubulações com diâmetro de 5,1 cm (2 polegadas), algumas das quais serão utilizadas para captação de ar atmosférico e algumas acopladas ao exaustor, para extração de ar do colchão de brita existente sob as lajes de piso;
- c) Localizar um exaustor no final dos tubos de interligação dos pontos de extração de ar atmosférico de acordo com a indicação dos **Desenhos A8 e A9, ANEXO A**;
- d) Instalar um tubo de 5,1 cm (2 polegadas) de diâmetro e 8,6 m de altura, para conduzir o ar extraído do tapete de brita para um ponto 1,0 m acima do teto

do edifício. Sugere-se afixar esse tubo com braçadeiras, na parede lateral externa do prédio, mais próximo do exaustor.

6.5.2 Simulações computacionais efetuadas

As simulações computacionais efetuadas mostraram que pressões de sucção de 27 Pa, nos pontos de extração de ar atmosférico, são suficientes para mobilizar rede de fluxo eficaz nos tapetes do CAT-1, com uma vazão total de exaustão de 12,6 m³/h.

A pressão de 27 Pa, acrescida das perdas de carga nas tubulações não perfuradas, é a que deverá ser aplicada pelos exaustores. O dimensionamento dos exaustores está descrito no **item 6.5.5**, a seguir, neste texto.

6.5.3 Avaliação do sistema pelo critério de velocidades

O **Desenho A9, ANEXO A**, mostra que as velocidades do ar no interior do tapete de brita serão superiores a 10⁻⁵ m/s, valor mínimo (10⁻⁵ m/s) recomendado em USACE (2002).

6.5.4 Avaliação do sistema pelo critério de vazões

A vazão total, Q, de exaustão de ar do tapete (igual à vazão de entrada de ar atmosférico), resultante da simulação computacional, foi de 12,6 m³/h.

Os tapetes de brita nº 1 sob a laje de piso do edifício têm área total de 325,7 m², espessura de 0,1 m e porosidade 0,5, resultando o volume de vazios, V_v, no tapete, de 16,3 m³.

O número de renovações no tempo, ou Taxa de Renovação (T_R) do ar no tapete de brita, resulta:

$$T_R = \frac{Q}{V_v} = \frac{12,6}{16,3} = 0,7 \frac{\text{renovação}}{\text{hora}} \text{ ou } 16,8 \frac{\text{renovações}}{\text{dia}}$$

Desse modo, a cada dia (24 horas) de funcionamento do exaustor, o ar no tapete de brita do Edifício CAT 1 é renovado 16,8 vezes, o que se considera suficiente para o propósito de ventilação do tapete.

6.5.5 Dimensionamento do exaustor

A pressão de sucção de 27 Pa, nas extremidades dos pontos de extração, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no edifício CAT-1, de acordo com as simulações realizadas.

Para essa pressão aplicada, a vazão de ar no tapete, resultante da simulação computacional, foi de 12,6 m³/h ou 3,5x10⁻³ m³/s.

O exaustor a ser utilizado deve ter capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, com uma margem de segurança, além de contemplar diversas outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, facilidade de operação e manutenção, dentre outras.

Os dutos lisos de Polietileno (não perfurados), com cerca de 5,1 cm de diâmetro (2 polegadas), terão comprimento total de cerca de 45 m (36,4 m, para conduzir o ar extraído do tapete de brita ao exaustor, e 8,6 m, para conduzir o ar do exaustor para a atmosfera, a um ponto localizado 1,0 m acima do teto do edifício).

O sistema compreenderá ainda 24 curvas de 90° e 8 conexões perpendiculares (em forma de “T”).

Os cálculos de perda de carga no sistema são apresentados a seguir, considerando-se, a favor da segurança, a vazão total de saída, 12,6 m³/h (3,5x10⁻³ m³/s), atuando em todos os tubos e conexões.

A velocidade máxima de escoamento, v , no duto que conduz o ar de sob as lajes do exaustor para a atmosfera, pode ser calculada, dividindo-se a vazão total de saída do tapete, Q , pela área transversal, A , do tubo:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{8,9 \times 10^{-4}}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = 1,8 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re , e o coeficiente de atrito, f , parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re:**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,8 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 5924$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C ($1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re > 2000$, o fluxo é turbulento (Macintyre, 1990).

Coeficiente de atrito para fluxo turbulento, λ :

$$\lambda: 0,035$$

(Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody, para o Re calculado acima, fluxo turbulento e rugosidade relativa (ε/D) das paredes do tubo (material: plástico) igual a $1,4 \times 10^{-4}$ (diâmetro do tubo $D = 0,051 \text{ m}$ e rugosidade absoluta para tubo de PVC ou plástico, $\varepsilon = 7 \times 10^{-6} \text{ m}$ – (www.engineeringtoolbox.com, 2013)).

- **Perda de carga distribuída, ΔP_d , nos tubos:**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: λ – coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do duto (m); D - diâmetro do duto (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga, ΔP_d , ao longo do duto liso de polietileno, será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach, considerando, a favor da segurança, a vazão total, Q , e portanto a velocidade $v = 1,8 \text{ m/s}$, atuando em todo o comprimento de 45 m de tubo liso:

$$\Delta P_d = 0,035 \times \frac{45}{0,051} \times \frac{1,8^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = \mathbf{60 \text{ Pa}}$$

- **Perdas de carga localizadas, ΔP_L , nos tubos:**

A perda de carga ΔP_L , nas tubulações, será a soma das perdas de carga localizadas em cada singularidade presente, 24 curvas de 90° e 8 conexões tipo “T”. Cada uma pode ser calculada de acordo com a equação de Bernoulli:

$$\Delta P_L = F \frac{v^2}{2g} \gamma$$

em que: F – coeficiente de singularidade da peça; v - velocidade do ar no duto (m/s); g – aceleração da gravidade (9,81 m/s²); γ - peso específico do ar a 20°C (11,73 N/m³).

Os coeficientes de singularidade (F) das peças são (Macintyre, 1990):

$$F (\text{curva } 90^\circ) = 0,25$$

$$F (\text{“T”}) = 1,00$$

Portanto, as perdas de carga localizadas resultam em:

$$\Delta P_L = (24 \times 0,25 + 8 \times 1) \times \frac{1,8^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = \mathbf{27 \text{ Pa}}$$

- **Perda de carga total, ΔP_{total} , nos tubos**

A perda de carga total nos tubos será a soma das perdas de carga distribuída e das localizadas:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_d + \Delta P_L = 60 + 27 = \mathbf{87 \text{ Pa}}$$

O exaustor a ser utilizado deve ter capacidade de aplicar a vazão de, no mínimo, 12,6 m³/h, necessária para mobilizar uma rede de fluxo de ar adequada no tapete de brita.

Para isso, deve ter capacidade de aplicar uma pressão de, no mínimo, 114 Pa, igual à necessária para mobilizar a rede de fluxo de ar, 27 Pa, mais a perda de carga total nas tubulações e singularidades presentes, 87 Pa.

6.6 Edifício CAT 2

Nos **Desenhos A10 e A11, ANEXO A**, mostra-se o sistema proposto para o edifício CAT 2, com as modificações descritas no **item 6.6.1**, a seguir.

6.6.1 Modificações propostas

- a) Executar as perfurações nas lajes do edifício, com diâmetro de 5,1 cm (2 polegadas), indicadas nos **Desenhos A10 e A11, Anexo A**, algumas das quais serão utilizadas para captação de ar atmosférico e algumas para extração de ar do colchão de brita existente sob as lajes de piso;
- b) Interligar as perfurações citadas no **item a)**, acima, da maneira indicada nos **Desenhos A10 e A11, Anexo A**, por meio de tubulações com diâmetro de 5,1 cm (2 polegadas), algumas das quais serão utilizadas para captação de ar atmosférico, sendo uma delas acoplada ao exaustor, para extração de ar do colchão de brita existente sob as lajes de piso;
- c) Acoplar os três conjuntos de tubos geomecânicos perfurados indicados nos **Desenhos A10 e A11, Anexo A**, mais as tubulações de extração citadas no **item b)** acima, ao tubo de interligação que conduzirá o ar extraído do tapete de brita sob as lajes de piso ao exaustor;
- d) Obturar as duas extremidades do quarto conjunto de tubos geomecânicos perfurados, indicado nos **Desenhos A10 e A11, Anexo A**, impedindo a passagem de ar por eles;
- e) Escavar o solo no entorno do edifício, ao redor de todos os tubos geomecânicos instalados, e obturar o terceiro furo feito nas vigas baldrame

perimetrais entre os tubos (ver indicação com setas em vermelho na **Foto 1**, **item 3.6** deste texto), impedindo a passagem de ar por eles;

6.6.2 Simulações computacionais efetuadas

As simulações computacionais efetuadas mostraram que pressões de sucção de 11 Pa, nos pontos de extração de ar atmosférico e na extremidade tamponada do tubos perfurados, são suficientes para mobilizar rede de fluxo eficaz no tapete do CAT-2, com uma vazão total de exaustão de 20,7 m³/h.

Cada um dos dutos de extração e cada um dos pontos de extração são responsáveis por captar o ar de diferentes áreas do tapete, ocasionando vazões diferentes para cada um dos tubos de extração, que por sua vez, implicam em diferentes perdas de carga em cada um dos dutos.

As pressões ao longo de cada um dos tubos nomeados 1, 2 e 3, que podem ser identificados nos **Desenho A10, Anexo A**, com comprimento de 23,8 m, considerando as perdas de carga, calculadas a partir dos resultados obtidos nos ensaios apresentados no **Anexo B**, estão representadas graficamente nas **Figuras 3, 4 e 5** a seguir.

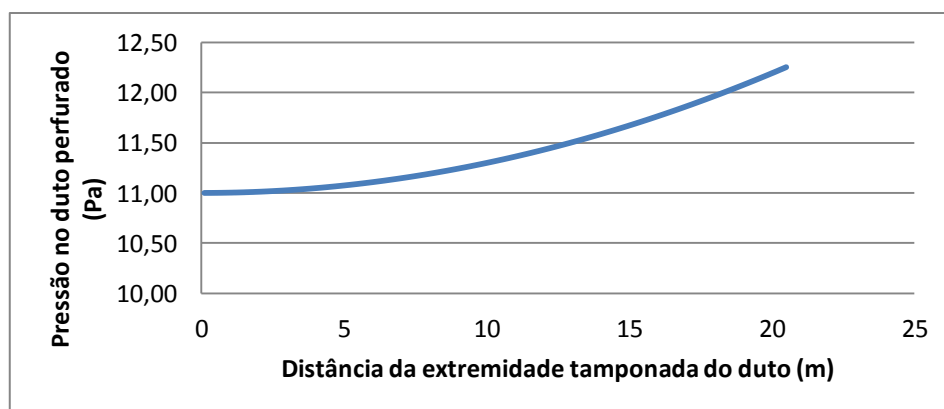


Figura 3 - Tubo 1 (ver **Desenho A10, Anexo A**): Pressão atuante ao longo do tubo geomecânico perfurado de extração, com comprimento total 23,8 m, para a vazão de 4 m³/h aplicada pelo exaustor

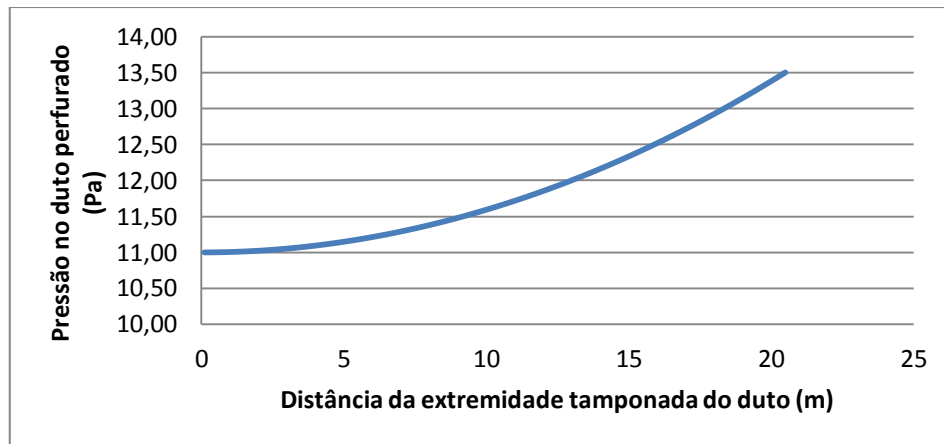


Figura 4 - Tubo 2 (ver **Desenho A10, Anexo A**): Pressão atuante ao longo do tubo geomecânico perfurado de extração, com comprimento total 23,8 m, para a vazão de 8 m³/h aplicada pelo exaustor

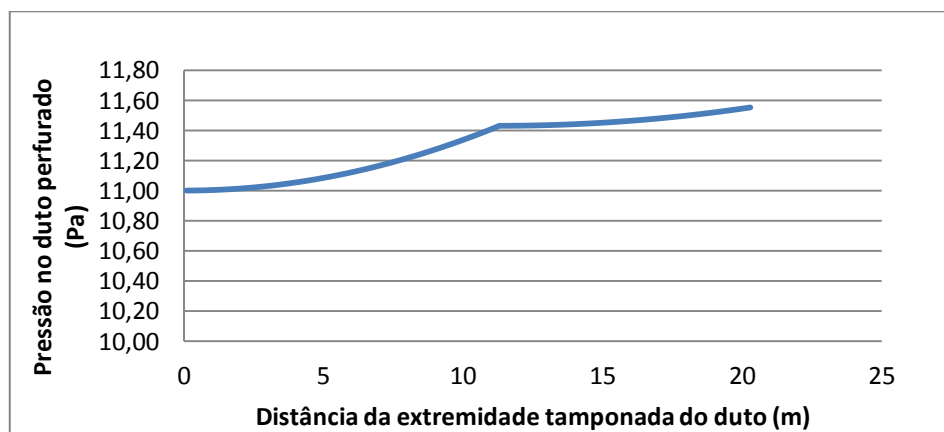


Figura 5. Tubo 3 (ver **Desenho A10, Anexo A**): Pressão atuante ao longo do tubo geomecânico perfurado de extração, com comprimento total 23,8 m, para a vazão de 4,5 m³/h aplicada pelo exaustor

As magnitudes de pressão apresentadas (a posição vertical e a forma que cada uma das curvas ocupa no desenho), são dependentes da distribuição de velocidades do ar no tubo, que, por sua vez, depende da vazão aplicada pelo exaustor, sendo, portanto, válidas apenas para o caso presente.

Um resumo da vazão total e das pressões mínimas (pressão na extremidade tamponada do tubo) e máximas (pressão na extremidade oposta à tamponada) são mostrados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Pressões de sucção mínimas e máximas em cada um dos tubos de extração

Tubo	Vazão (m³/h)	Pressão Mínima (Pa)	Pressão Máxima (Pa)
1	4	11	12,25
2	8	11	13,5
3	4.5	11	11,5

Considerando que o exaustor deve ser dimensionado para atender os três dutos, o mesmo será dimensionado com base na maior pressão, 13,5 Pa.

6.6.3 Avaliação do sistema pelo critério de velocidades

O **Desenho A11, ANEXO A**, mostra que as velocidades do ar no interior do tapete de brita serão superiores a 10^{-5} m/s, valor mínimo recomendado em USACE (2002).

6.6.4 Avaliação do sistema pelo critério de vazões

A vazão total, Q, de exaustão de ar do tapete (igual à vazão de entrada de ar atmosférico), resultante da simulação computacional, foi de 20,7 m³/h.

Os tapetes de brita nº 1 sob a laje de piso do edifício têm área total de 321,65 m², espessura de 0,1 m e porosidade 0,5, resultando o volume de vazios, Vv, no tapete, de 16,08 m³.

O número de renovações no tempo, ou Taxa de Renovação (T_R) do ar no tapete de brita resulta:

$$T_R = \frac{Q}{V_v} = \frac{20,7}{16,08} = 1,3 \frac{\text{renovações}}{\text{hora}}, \text{ ou } 31,2 \frac{\text{renovações}}{\text{dia}}$$

Desse modo, a cada dia (24 horas) de funcionamento do exaustor, o ar no tapete de brita, do Edifício CAT 2 é renovado 31,2 vezes, o que se considera suficiente para o propósito de ventilação do tapete.

6.6.5 Dimensionamento do exaustor

A pressão de sucção de 13,5 Pa, na extremidade dos tubos perfurados conectada ao exaustor, é suficiente para mobilizar rede de fluxo eficaz no CAT-2, conforme explicado no item anterior.

Para essa pressão aplicada, a vazão de ar no tapete, resultante da simulação computacional, foi de 20,7 m³/h ou 5,75x10⁻³ m³/s.

O exaustor a ser utilizado deve ter capacidade de aplicação da pressão de sucção e da vazão requeridas, com uma margem de segurança, além de contemplar diversas outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, facilidade de operação e manutenção, dentre outras.

O sistema de dutos lisos (não perfurados), utilizados para interligar os dutos e os pontos de extração e conduzir o ar extraído dos tapetes para o exaustor, será composto por 3 dutos de 1,3 m, para interligação dos tubos de extração com o ramal principal que conduzirá para o exaustor, 1 duto de 6,3 m, que corresponde ao trecho do ramal principal que vai fazer a interligação do tubo 3, tubo 2 e dos pontos de extração com o exaustor, 1 duto de 4,5 m, que corresponde à interligação do tubo de extração 1 com o exaustor, e 1 duto de interligação dos pontos de extração com o ramal principal.

O trecho de interligação, entre as saídas dos Tubos 3 e 2 e os pontos de extração, corresponde ao trecho que apresenta maior perda de carga, dado o maior comprimento da tubulação e a maior vazão. Para este trecho, é apresentado a seguir o cálculo da perda de carga.

➤ Trecho de interligação do tubo de extração 3 (2,90 m de comprimento) – cálculo da perda de carga

A perda de carga ao longo do tubo de extração 3 corresponde às perdas ao longo das tubulações que conduzem o ar para o exaustor, considerando ainda a perda devido as suas respectivas singularidades.

A velocidade nos dutos de interligação pode ser calculada da seguinte forma:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{1,25 \times 10^{-3}}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{1,25 \times 10^{-3}}{0,002} = 0,61 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re, e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re:**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,61 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 2052$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C ($1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re < 4000$, o fluxo é laminar (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo laminar, f:** (Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2052} = 0,03$$

- **Perda de carga distribuída, ΔP_{d1} , no tubo (trecho de 2,90 m)**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_{d1} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: f - coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga, ao longo do comprimento total de duto não perfurado (2,9 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_{d1} = 0,03 \times \frac{2,9}{0,051} \times \frac{0,61^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 0,38 \text{ Pa}$$

- **Perdas de carga localizadas, ΔP_L , nos tubos**

A perda de carga ΔP_L , nas tubulações, será a soma das perdas de carga localizadas em cada singularidade presentes. Cada uma pode ser calculada de acordo com a equação de Bernoulli:

$$\Delta P_L = F \frac{v^2}{2g} \gamma$$

em que: F – coeficiente de singularidade da peça; v - velocidade do ar no duto (m/s); g – aceleração da gravidade (9,81 m/s²); γ - peso específico do ar a 20°C (11,73 N/m³).

Os coeficientes de singularidade (F) das peças são (Macintyre, 1990):

$$F \text{ (curva } 90^\circ) = 0,25$$

Portanto, as perdas de carga localizadas resultam em:

$$\Delta P_L = 0,25 \times \frac{0,61^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 0,05 \text{ Pa}$$

- **Perda de carga total, $\Delta P_{1,6}$, no tubo**

A perda de carga total nos tubos será a soma das perdas de carga ao longo do comprimento de 2,9 m:

$$\Delta P_{1,6} = \Delta P_{d1} + \Delta P_L = 0,43 \text{ Pa}$$

➤ **Trecho do duto principal (4,80 m de comprimento) – cálculo da perda de carga**

A perda de carga ao longo do duto principal corresponde às perdas ao longo da tubulação que conduzem o ar para o exaustor, considerando ainda a perda devido as suas respectivas singularidades.

A velocidade no duto de interligação pode ser calculada da seguinte forma:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,002}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{0,002}{0,002} = 1 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re, e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re:**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 3364$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C ($1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re < 4000$, o fluxo é laminar (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo laminar, f :** (Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{3364} = 0,02$$

- **Perda de carga distribuída, ΔP_{d1} , (trecho de 4,80 m)**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_{d1} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: f - coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga, ao longo do comprimento total de duto não perfurado (4,80 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_{d1} = 0,02 \times \frac{4,8}{0,051} \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 1,12 \text{ Pa}$$

- **Perdas de carga localizadas, ΔP_L , nos tubos**

A perda de carga ΔP_L , nas tubulações, será a soma das perdas de carga localizadas em cada singularidade presente, que pode ser calculada de acordo com a equação de Bernoulli:

$$\Delta P_L = F \frac{v^2}{2g} \gamma$$

em que: F – coeficiente de singularidade da peça; v - velocidade do ar no duto (m/s); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

Os coeficientes de singularidade (F) das peças são (Macintyre, 1990):

$$F (\text{curva } 90^\circ) = 0,25$$

Portanto, as perdas de carga localizadas resultam em:

$$\Delta P_L = 0,25 \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 0,15 \text{ Pa}$$

➤ **Trecho do duto vertical (9,00 m de comprimento) – cálculo da perda de carga**

A velocidade de escoamento, v , no duto pode ser calculada da seguinte forma:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,006}{\frac{\pi \times 0,051^2}{4}} = \frac{0,006}{0,002} = 3 \text{ m/s}$$

O Número de Reynolds, Re, e o coeficiente de atrito, parâmetros necessários para os cálculos da perda de carga nas tubulações, podem ser calculados como segue:

- **Número de Reynolds, Re:**

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{3 \times 0,051}{1,516 \times 10^{-5}} = 10092$$

em que: v - velocidade do ar no duto (m/s); ν - viscosidade cinemática do ar a 20°C ($1,516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e D é o diâmetro do tubo.

Como $Re > 4000$, o fluxo é turbulento (Macintyre, 1990).

- **Coeficiente de atrito para fluxo laminar, λ :**

$$\lambda: 0,03$$

(Macintyre, 1990, Fig. 9.2 – Diagrama de Moody, para o Re calculado acima, fluxo turbulento e rugosidade relativa (ε/D) das paredes do tubo (material: plástico) igual a $1,4 \times 10^{-4}$ (diâmetro do tubo $D = 0,051 \text{ m}$ e rugosidade absoluta para tubo de PVC ou plástico, $\varepsilon = 7 \times 10^{-6} \text{ m}$ – (www.engineeringtoolbox.com, 2013)).

- **Perda de carga distribuída, ΔP_d , (trecho de 9,00 m)**

Pela Equação de Darcy – Weisbach (Macintyre, 1990):

$$\Delta P_{d1} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma$$

sendo: f - coeficiente de atrito; v - velocidade do ar no duto (m/s); L – comprimento do tubo (m); D - diâmetro do tubo (m); g – aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); γ - peso específico do ar a 20°C ($11,73 \text{ N/m}^3$).

A perda de carga, ao longo do comprimento total de duto não perfurado (9,0 m), será, de acordo com a Equação de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P_{d1} = 0,03 \times \frac{9}{0,051} \times \frac{3^2}{2 \times 9,81} \times 11,73 = 28,5 \text{ Pa}$$

O trecho aqui apresentado, para o qual foram calculadas as perdas de carga, é o que apresenta a maior perda de carga, em relação às outras saídas, de modo que se o exaustor for capaz de atender às pressões solicitadas no trecho final destes dutos, então atenderá (com uma pressão maior do que o mínimo solicitado) às pressões necessárias para mobilizar a rede de fluxo ao longo das outras tubulações.

Para isso, o exaustor deve ter capacidade de aplicar uma pressão de, no mínimo, 43,6 Pa, correspondente à soma daquela necessária para mobilizar a rede de fluxo de ar, 13,5 Pa, mais a perda de carga total nas tubulações, 30,1 Pa.

6.7 Edifício I-3-Auditórios - Monitoramento

A segurança do edifício I-3-Auditórios, contra intrusão de gás no edifício e acumulação de gás em eventuais espaços sob as lajes de piso, deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11**, a seguir, neste texto.

O **Desenho A12, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

6.8 Edifício Módulo Inicial

Após cálculos de perdas de carga envolvidas no novo sistema, propõe-se a configuração descrita a seguir, de tubulações e exaustores, em substituição às chaminés propostas no relatório 125011-205, de 28 de outubro de 2011.

6.8.1 Modificações propostas

- a) Toda a parte enterrada do sistema, ou seja, as furações em lajes, para captação de ar atmosférico e para extração de ar e as tubulações associadas, deve ser mantida;
- b) Todos os tubos de extração, que no projeto anterior conduziam o ar do tapete para as chaminés, devem conduzir agora a tubos lisos de PVC com diâmetro de 10,2 cm (4 polegadas) de interligação dos tubos de extração com exaustores colocados nas posições indicadas no **Desenho A13, Anexo A**;
- c) Deverão ser instalados 6 (seis) exaustores, assim distribuídos: 1 para cada bloco padrão (total de 3), servindo cada um a dois tramos de tubo, 2 para o prédio dos auditórios e 1 para o corredor de serviços (ver **Desenho A13, Anexo A**);
- d) Instalar tubos lisos de 10,2 cm (4 polegadas) de diâmetro e cerca de 15 m de altura (superestimado, a favor da segurança), para conduzir o ar extraído do tapete de brita para um ponto 1,0 m acima do teto do edifício, na saída de cada exaustor. Sugere-se afixar esses tubos com braçadeiras, na parede lateral externa do prédio, mais próxima do exaustor.

6.8.2 Dimensionamento dos exaustores

Após cálculos das perdas de carga nos tubos e conexões, recomenda-se que se instalem 6 (seis) exaustores, relacionados a seguir.

6.8.2.1 Blocos Padrões – exaustores 1, 2 e 3

Em cada um dos três blocos padrões deve ser instalado um exaustor com as seguintes características:

- Pressão de sucção em cada exaustor: 16,5 Pa

Essa pressão é equivalente à soma da pressão mínima de 2,0 Pa requerida em cada local de antiga chaminé (já descontadas as perdas de carga locais - ver relatório 125011-205), mais as perdas de carga calculadas para os dois tramos de tubulações de interligação (um com comprimento de cerca de 45 m e outro com comprimento de cerca de 69 m - ver **Desenho A13, Anexo A**), mais cerca de 15 m de tubo após o exaustor para envio do ar extraído para 1,0 m acima do teto do edifício, somando 16,5 Pa. O tapete onde seria colocada a última chaminé (mais distante do exaustor), estará submetido à pressão de sucção de 2 Pa, e o tapete correspondente à primeira (mais próxima do exaustor) estará superdimensionado;

- Vazão em cada exaustor: 49,5 m³/h

6.8.2.2 Prédio do Auditório – exaustores 4 e 5

As simulações computacionais efetuadas para o relatório 125011-205 mostraram que pressões de sucção de 0,35 Pa, em cerca de 36 das chaminés, e 1,7 Pa, em outras 6 (já descontadas as perdas de carga locais - ver relatório 125011-205), são suficientes para mobilizar rede de fluxo eficaz nos tapetes do prédio do auditório, com uma vazão total de exaustão de cerca de 69 m³/h.

Entretanto, pressões de sucção inferiores a cerca de 2 Pa (0,2 mm de coluna d'água) são difíceis de medir, além de poderem ser afetadas por pequenas variações no ambiente, o que tem feito com que se adote esse valor como limite inferior de pressão, em várias aplicações (Buscheck and Peargin, 1991 in USACE 2002).

De acordo com esse procedimento, adotando-se a pressão de sucção de 2,0 Pa, para todos os pontos de extração (locais de chaminé no projeto do relatório 125011-205), a rede de fluxo mobilizada passa a apresentar a vazão total de 146 m³/h, sendo aproximadamente 73 m³/h para cada tramo succionado por um exaustor (ver **Desenho A13, Anexo A**). Chegou-se a esse resultado estimado, através de um cálculo simples: sabendo-se que (diferença de) pressão de 0,35 Pa gera vazão total de 69 m³/h, (diferença de) pressão de 2,0 Pa deve gerar vazão total de 146 m³/h, já que a vazão é diretamente proporcional à (diferença de) pressão aplicada.

A pressão de 2 Pa no último ponto de extração, acrescida das perdas de carga ao longo do tubo liso de interligação, é a que deverá ser aplicada pelos exaustores. O dimensionamento dos exaustores está descrito a seguir.

No prédio do Auditório devem ser instalados dois exaustores com as seguintes características:

a) Exaustor 4 (tramo esquerdo. Ver **Desenho A13, Anexo A**)

- Pressão de sucção no exaustor 4: 49 Pa

Essa pressão é equivalente à soma da pressão mínima de 2,0 Pa requerida em cada local de antiga chaminé (já descontadas as perdas de carga locais - ver relatório 125011-205), mais as perdas de carga calculadas para o tramo esquerdo de tubulação de interligação, com comprimento total de cerca de 30 m (ver **Desenho A13, Anexo A**), mais cerca de 15 m de tubo após o exaustor para envio do ar extraído para 1,0 m acima do teto do edifício, somando 49 Pa. O tapete onde seria colocada a última chaminé (mais distante do exaustor), estará submetido à pressão de sucção de 2 Pa, e o tapete correspondente à primeira (mais próxima do exaustor) estará superdimensionado;

- Vazão no exaustor 4: 73 m³/h

b) Exaustor 5 (tramo direito. Ver **Desenho A13, Anexo A**)

- Pressão de sucção no exaustor 5: 97 Pa

Essa pressão é equivalente à soma da pressão mínima de 2,0 Pa requerida em cada local de antiga chaminé (já descontadas as perdas de carga locais - ver relatório 125011-205), mais as perdas de carga calculadas para o tramo esquerdo de tubulação de interligação, com comprimento total de cerca de 75 m (ver **Desenho A13, Anexo A**), mais cerca de 15 m de tubo após o exaustor para envio do ar extraído para 1,0 m acima do teto do edifício, somando 97 Pa. O tapete onde seria colocada a última chaminé (mais distante do exaustor), estará submetido à pressão de sucção de 2 Pa, e o tapete correspondente à primeira (mais próxima do exaustor) estará superdimensionado;

- Vazão no exaustor 5: 73 m³/h

6.8.2.3 Corredor de serviço – exaustor 6

No corredor de serviço deve ser instalado um exaustor com as seguintes características:

- Pressão de sucção no exaustor 6: 162 Pa

Essa pressão é equivalente à soma da pressão mínima de 2,0 Pa requerida em cada local de antiga chaminé (já descontadas as perdas de carga locais - ver relatório 125011-205), mais as perdas de carga calculadas para o tubo de interligação (com comprimento de cerca de 100 m - ver **Desenho A13, Anexo A**), mais cerca de 15 m de tubo após o exaustor para envio do ar extraído para 1,0 m acima do teto do edifício, somando 162 Pa. O tapete onde seria colocada a última chaminé (mais distante do exaustor), estará submetido à pressão de sucção de 2 Pa e o tapete correspondente à primeira (mais próxima do exaustor) estará superdimensionado;

- Vazão no exaustor 6: 122 m³/h

Os **Desenhos A14 a A26, Anexo A**, mostram os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

7 EDIFÍCIO I-1 - MONITORAMENTO

A eficácia do sistema de ventilação do subsolo do Edifício I-1, apresentado no relatório 130989-205 (IPT, 2013a) e modificado no relatório 130990-205 (IPT, 2013b), deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11**, a seguir, neste texto.

O **Desenho A27, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

8 EDIFÍCIO I-3-BIBLIOTECA - MONITORAMENTO

A eficácia do sistema de ventilação do subsolo do Edifício I-3-Biblioteca, apresentado no relatório 130989-205 (IPT, 2013a) e modificado no relatório 130990-205 (IPT, 2013b), deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11**, a seguir, neste texto.

O **Desenho A28, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

9 EDIFÍCIO POSTO DE ENFERMAGEM - MONITORAMENTO

A eficácia do sistema de ventilação do subsolo do Edifício Posto de Enfermagem, apresentado no relatório 130990-205 (IPT, 2013b), deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11**, a seguir, neste texto.

O **Desenho A29, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

10 EDIFÍCIO PORTARIA P3 - MONITORAMENTO

A eficácia do sistema de ventilação do subsolo do Edifício Portaria P3, apresentado no relatório 130990-205 (IPT, 2013b), deverá ser verificada continuamente por meio de um sistema de monitoramento, instalado e operado de acordo com as recomendações expressas no **item 11**, a seguir, neste texto.

O **Desenho A30, Anexo A**, mostra os locais em que devem ser instalados amostradores permanentes do tipo sub-laje, no interior do edifício.

11 PLANO DE MONITORAMENTO

Sugere-se o plano de monitoramento descrito a seguir, para todos os edifícios do campus tratados no âmbito dos trabalhos desenvolvidos.

11.1 Equipamento

Deve ser utilizado equipamento calibrado com gás metano, CH₄, para medição de explosividade, na faixa de medida de 0 a 100% LIE, com precisão de, pelo menos, $\pm 3,0$ para leituras de 0 a 50% LIE; e ± 5 para leituras de 51 a 100% LIE.

Deve ser também utilizado equipamento para medição da concentração de dióxido de carbono, CO₂, na faixa de 0 a 100% em volume, com precisão de, pelo menos, $\pm 0,4\%$ na faixa de medida de 0 a 10%, $\pm 3,0\%$, na faixa de medida de 10 a 50%, e de $\pm 5,0\%$, na faixa de medida de 50 a 100%.

11.1.1 Pontos de monitoramento

Deverão ser efetuadas medidas em pontos de monitoramento fixos em amostradores sub-lajes e em pontos em superfície, de acordo com os itens a seguir.

11.1.1.1 Pontos de monitoramento sub-lajes

Nos **Desenhos A2 a A30, Anexo A**, estão indicados os pontos nos quais deverão ser instalados poços amostradores permanentes do tipo sub-laje, nos edifícios tratados no âmbito do presente trabalho.

Os amostradores deverão ser construídos de acordo com o esquema mostrado no **Desenho A31, Anexo A**, e testada sua estanqueidade por meio do procedimento exposto no mesmo desenho (Marinho, 2013).

Os poços amostradores serão constituídos por tubos de PVC liso, com diâmetro nominal de cerca de 19 mm (3/4 polegada), com topo pouco abaixo da superfície superior do revestimento da laje e base pouco acima da superfície inferior da laje, como mostrado no **Desenho A31, Anexo A**, em perfurações atravessando totalmente o corpo da laje.

O topo dos poços deverá ser fechado com um septo de borracha auto selante, do tipo dos utilizados em laboratório para amostragem de gás, de modo a permitir a medida de concentração de biogás sem a necessidade de remoção do septo.

Para proteção do topo dos poços, deverão ser colocadas tampas de calçada, fixadas em caixas de argamassa de cimento, no nível da superfície acabada da laje.

Devido à possibilidade de ocorrência de gás metano, inflamável, sob as lajes de piso, recomenda-se que os furos nas lajes para instalação dos amostradores, sejam efetuados por empresa especializada em trabalhos desse tipo, em ambientes explosivos.

Sugere-se o seguinte procedimento, para execução das perfurações:

- Antes da execução dos furos, instalar, 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;

- Executar os furos com furadeira elétrica munida de broca tipo copo, com diâmetro ligeiramente maior que os 19 mm do amostrador, ao longo de quase toda a espessura da laje, faltando cerca de 1 cm;
- O cilindro de concreto gerado pela furação deve ser 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 para romper esse 1 cm final;
- A perfuração com broca deve ser efetuada com injeção simultânea de água, de maneira contínua durante sua execução.

Esses cuidados visam:

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

11.1.1.2 Pontos de monitoramento em superfície

Adicionalmente às medidas nos amostradores sub-laje, deverão ser efetuadas medições em todos os cômodos do edifício, nos pontos de tomadas de eletricidade, nos ralos de chão e das pias e tanques de cozinhas, banheiros e áreas de serviço.

Caso alguma laje de piso do edifício apresente alguma fissura deve-se proceder a medições também nesse ponto.

Devem ser feitas também observações visuais acerca da situação dos sifões sob as pias das cozinhas, banheiros, áreas de serviço e laboratórios, os quais precisam apresentar o peculiar formato em “U” desses equipamentos para acúmulo de água, constituindo uma barreira à intrusão de gás oriundo do subsolo, pelo interior da tubulação de esgoto.

11.1.2 Metodologia de medição

- Durante as medições em superfície devem ser fechadas as janelas e portas.
- Um dia antes de ser realizada a medição em superfície, deve-se solicitar aos usuários que não coloquem produtos de limpeza nos ralos.
- As medições nos pontos em superfície devem ser feitas aproximando-se a ponteira do tubo de amostragem do ponto no qual se deseja fazer a medida.
- As medições nos amostradores sub-laje instalados, deverão ser efetuadas atravessando-se o septo de borracha no topo do amostrador, que deverá permanecer no local durante todo o procedimento, com agulha de amostragem acoplada ao tubo de amostragem do aparelho de medida.
- Antes de cada medida nos amostradores sub-laje, deverá ser examinada a integridade do septo de borracha e qualquer irregularidade anotada.
- O septo de borracha dos amostradores sub-laje, deverá ser trocado por um novo, após cada leitura efetuada.
- Manter registradas em arquivo na SEF todas as medições efetuadas.

11.1.3 Frequência de medições

Deverá ser efetuada medição imediatamente após a instalação dos amostradores sub-laje e, a seguir, mensalmente, até seis meses após o final da instalação. Após os primeiros seis meses, realizar medidas na frequência de medições adotada para o restante do campus.

11.1.4 Ações a serem tomadas

Recomenda-se as seguintes ações, resultantes do monitoramento:

- Se qualquer medição resultar em valores iguais ou superiores a 10 %LIE, o edifício deve ser evacuado e a frequência de leituras deve passar a diária nesse ponto.
- Se qualquer conjunto de 3 (três) medições consecutivas, resultar em valores iguais ou superiores a 10 %LIE, uma empresa qualificada, deverá ser contatada para estudar soluções de proteção contra intrusão de gás, ou acumulação de gás sob as lajes de piso do edifício.

12 RESUMO E CONCLUSÕES

Os cálculos efetuados indicaram as pressões de sucção e as vazões que devem ser aplicadas pelos exaustores, necessárias para mobilizar rede de fluxo de ar no interior dos tapetes de brita instalados sob as lajes de piso dos edifícios: I-4, Ginásio de Esportes, Laranjinha, CAT 1 e CAT 2 além de modificações no sistema proposto para o edifício Módulo Inicial. Estão também descritos os sistemas de monitoramento para esses edifícios e para os edifícios I-3-Auditórios, Posto da Guarda Universitária, I-3-Biblioteca, I-1, Posto de Enfermagem e Portaria P3.

A **Tabela 3**, a seguir, apresenta resumidamente os resultados obtidos nos cálculos efetuados para cada edifício tratado no presente relatório: características básicas dos exaustores e taxa de renovação do ar nos tapetes de brita instalados sob as lajes de piso dos edifícios.

Além das características apresentadas na **Tabela 3**, a escolha do exaustor deve considerar outras características, tais como baixo nível de ruído, baixo consumo energético, facilidade de operação e manutenção e disponibilidade no mercado nacional.

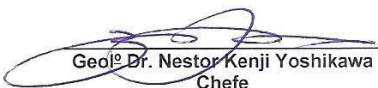
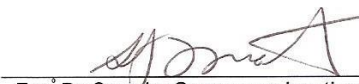
Tabela 3 – Características dos exaustores e Taxa de Renovação do ar nos tapetes de brita sob os edifícios

Edifício		Exaustor			T _R (1/dia)
		Quantidade	Sucção (Pa)	Vazão (m³/h)	
I-4		1	34,6	10,7	4,8
Ginásio de Esportes		1	59,4	12,6	2,4
Laranjinha		1	63,9	6,8	4,8
Posto da Guarda Universitária		Monitoramento simples			
CAT 1		1	114,0	12,6	16,8
CAT 2		1	43,6	20,7	31,2
I-3-Auditórios		Monitoramento simples			
Módulo Inicial	Bloco padrão 1	1	16,5	49,5	(*)
	Bloco padrão 2	1	16,5	49,5	(*)
	Bloco padrão 3	1	16,5	49,5	(*)
	Edifício Auditório (tramo esquerdo)	1	49	73	(*)
	Edifício Auditório (tramo direito)	1	97	73	(*)
	Corredor de Serviços	1	162	122	(*)

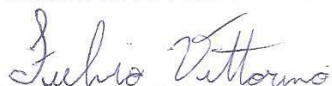
T_R: Taxa de renovação do ar nos tapetes de brita

(*) : Taxa igual ou maior que a determinada por pano de laje no relatório 125011-205, de 28 de outubro de 2011

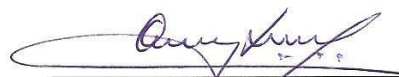
São Paulo, 29 de julho de 2013.

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

 Geol. Dr. Nestor Kenji Yoshikawa
 Chefe
 CREA SP 0600796380 – RE 05066
CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

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

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO


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

CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS


 Geol. Mestre Antônio Gimenez Filho
 Diretor do Centro
 CREA SP 0600693084 – RE 04765

Equipe Técnica

Centro de Tecnologias Geoambientais Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

- Scandar Gasperazzo Ignatius - Engenheiro Civil, Dr.
- Caluan Rodrigues Capozzoli – estagiário
- Camila Baldoni - estagiária

Apoio Administrativo: Elma Moura Coelho Oliveira - Secretária

Centro Tecnológico do Ambiente Construído Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios

Fúlvio Vittorino - Engenheiro Mecânico, Dr.

Fúlvio Berçot Miranda – Engenheiro Civil, MsC.

Marcelo Aquilino – Físico, MsC.

Apoio Administrativo: Vera Lúcia Assaiante de Souza – Secretária

Referências Bibliográficas

ASTM (2006). AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). D5719-95 (2006) **Standard Guide for Simulation of Subsurface Airflow Using Ground- Water Flow Modeling Codes**. Pensylvania, 2006.

GONÇALVES, R.B. (2013). Comunicação pessoal em visita técnica ao campus da EACH, em abril de 2013.

GOUVEIA, L.C. (2013). Comunicação pessoal em reunião na SEF, em junho de 2013.

IPT (2007). Relatório Técnico Nº 92353-205 – Parcial – Relatório de andamento IV. 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. Abril de 2007.

IPT (2011). Relatório Técnico 125011-205 - Relatório Parcial – Gleba I. Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo do edifício “Módulo Inicial”. Outubro de 2011.

IPT (2013a). Relatório Técnico 130989-205 – Relatório Parcial II. Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH / USP. Março de 2013.

IPT (2013b). Relatório Técnico 130990-205 – Relatório Parcial III. “Detalhamento do sistema de ventilação do subsolo de edifícios do campus da EACH/USP - Posto de Enfermagem, Portaria P3 e modificação nos I-1 e I-3-Biblioteca”. Junho de 2013.

PICCOLI, L. (2013). Comunicação pessoal telefônica, em junho de 2013.

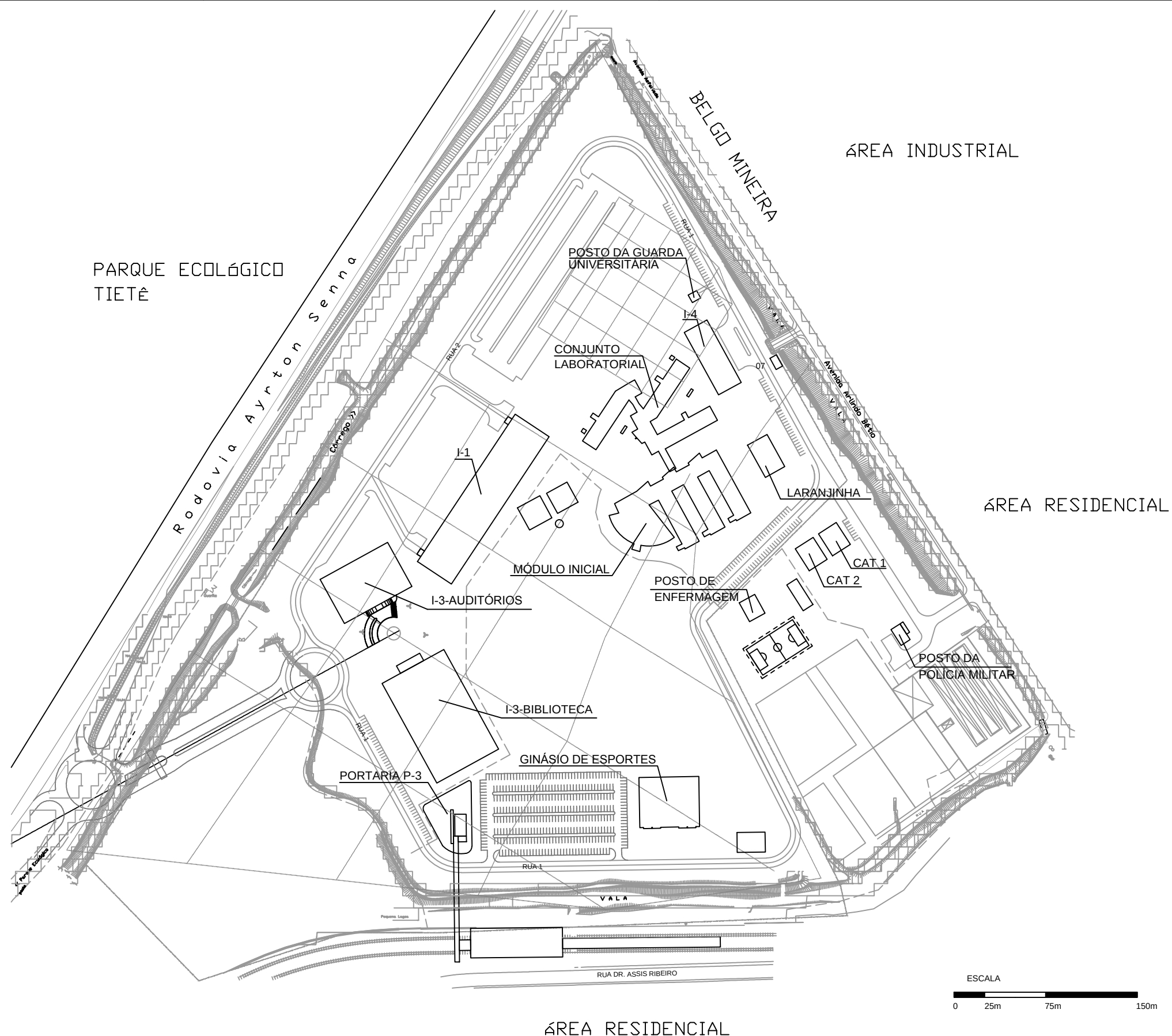
MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC –Livros Técnicos e Científicos, 1990.

Marinho, F.A.M. (2013). Comunicação pessoal, em junho de 2013.

SMDU (2012). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano da cidade de São Paulo.

USACE (2002). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **Engineering and Design: Soil Vapor Extraction and Bioventing**, Washington, 2002.

ANEXO A - DESENHOS



OBSERVAÇÕES

Planta fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA: maio/2013

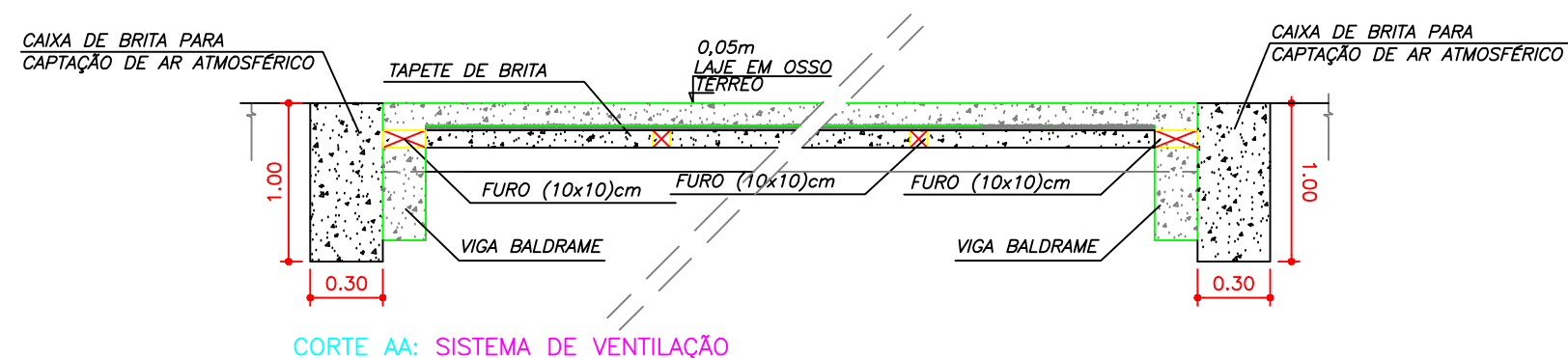
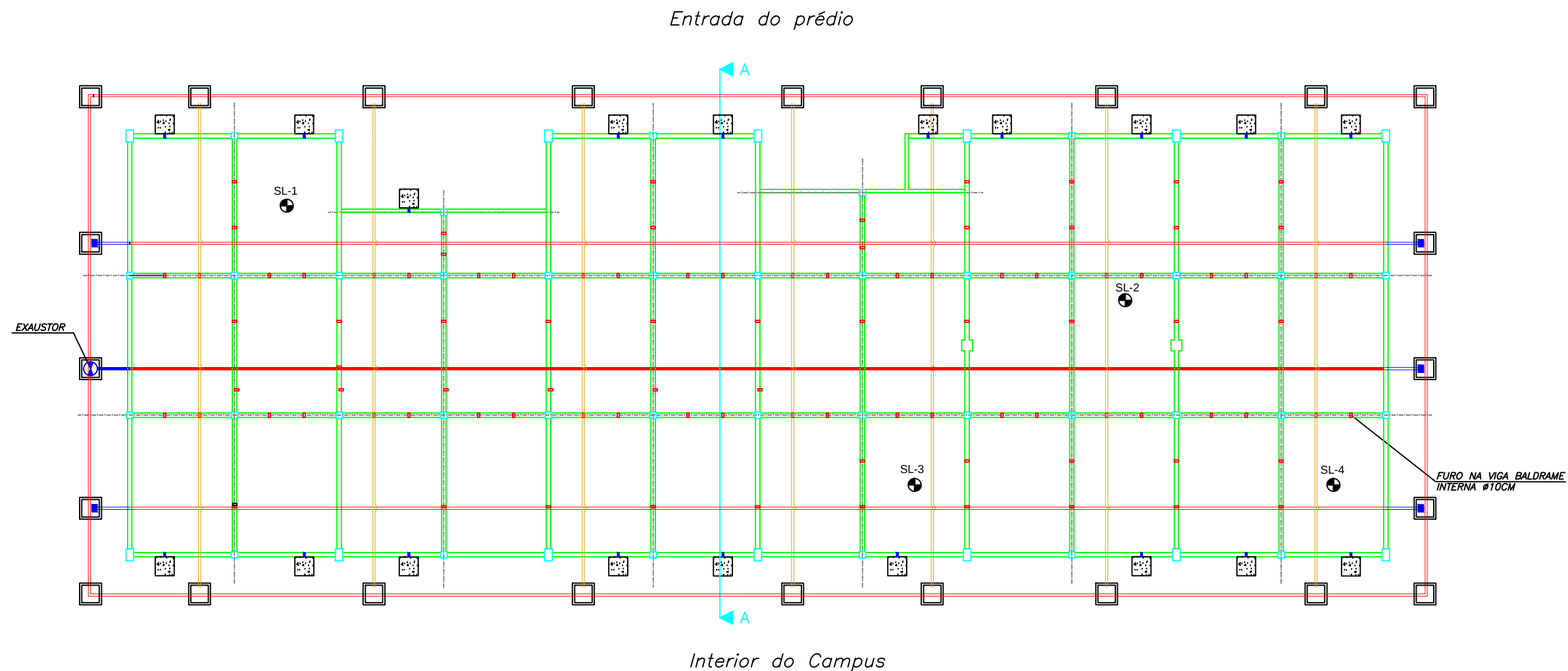
ESCALA: Indicada

ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

Campus EACH - USP com localização dos edifícios

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A1



OBSERVAÇÕES

1. FUROS DE CAPTAÇÃO LOCALIZADOS A 1/3 DE DISTÂNCIA DOS APOIOS
2. FUROS DE CAPTAÇÃO PODEM ALTERNATIVAMENTE SER EXECUTADOS NA LAJE EM PONTOS CONTÍGUOS
3. PLANTA ESTRUTURAL FORNECIDA PELA SEF/USP
4. POSIÇÃO E DIÂMETRO DOS FUROS NAS VIGAS BALDRAMES INTERNAS DE ACORDO COM INFORMAÇÃO DA SEF

LEGENDA

- | | |
|--|---|
| Furo de captação (Ø10cm) | Caixa de brita para captação de ar atmosférico |
| Extremidade tamponada | SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje |
| Exaustor | Tubos geomecânicos longitudinais laterais com extremidades tamponadas |
| Furos nas vigas baldrame internas (Ø10cm) | Tubo geomecânico longitudinais central para extração de ar |
| Tubos geomecânicos transversais preenchidos com calda de cimento | |



DATA: Maio/2013
ESCALA: S/ Escala

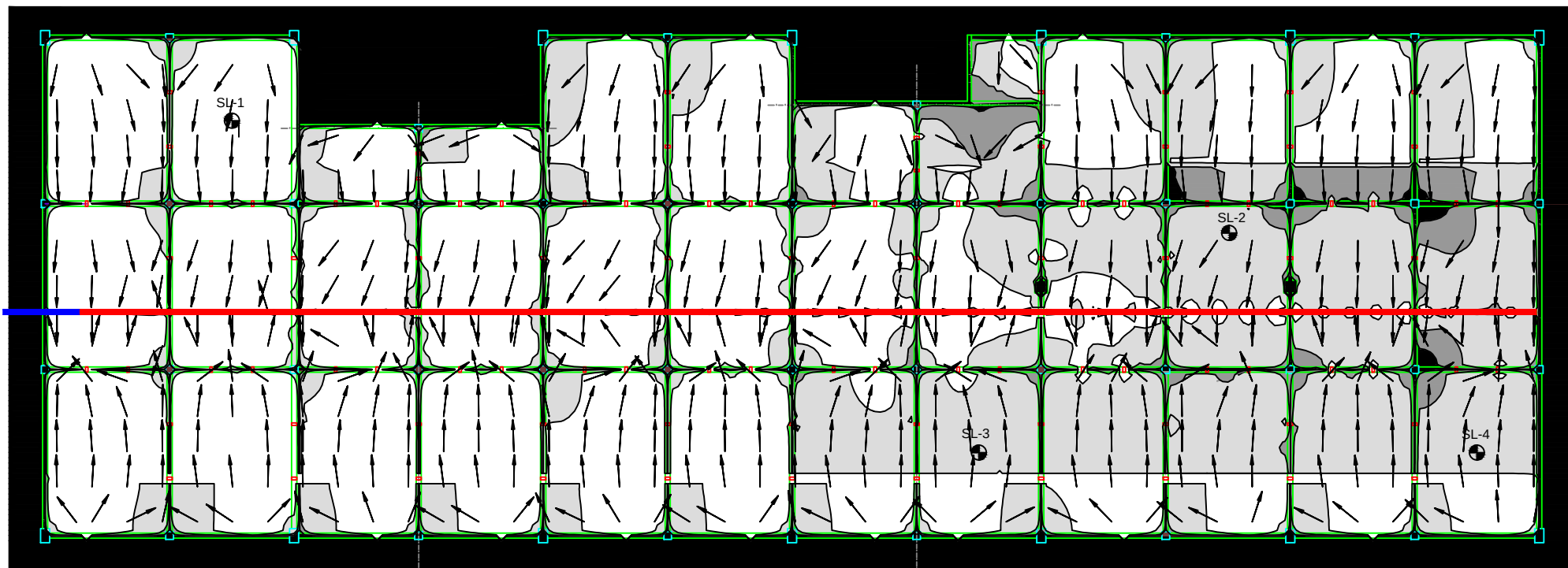
ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

CTGeo
Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas

Sistema de Ventilação do Edifício I-4
Desenho esquemático de posicionamento de dutos e exaustor

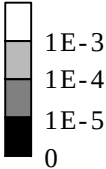
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar Gasperazzo Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A2



LEGENDA

Velocidades de ar
na camada de brita (m/s)



SL: Poços amostradores
permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto estrutural fornecida pela Superintendência do
Espaço Físico da USP - SEF/USP



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

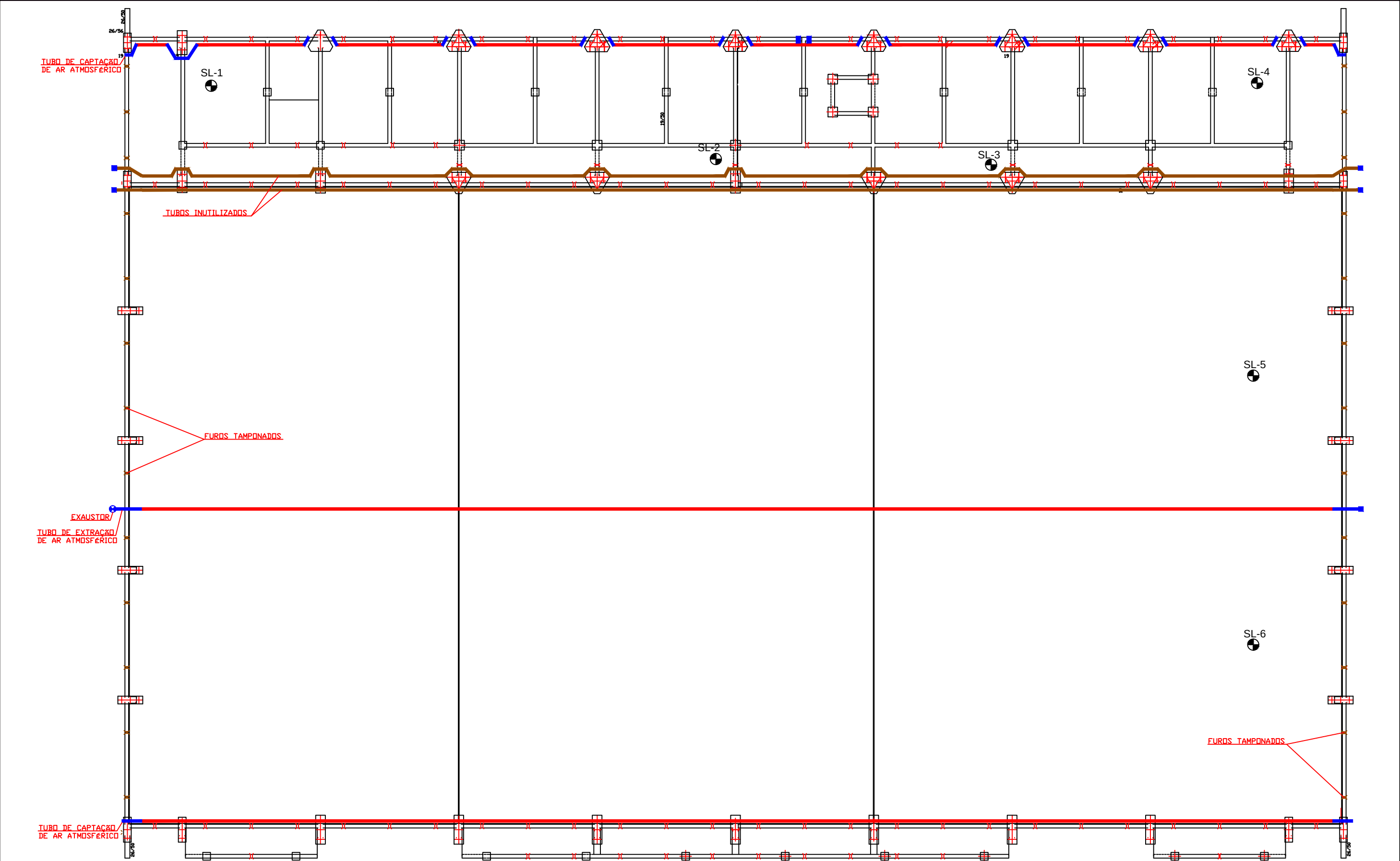
DATA: Maio/2013
ESCALA: Sem Escala

ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

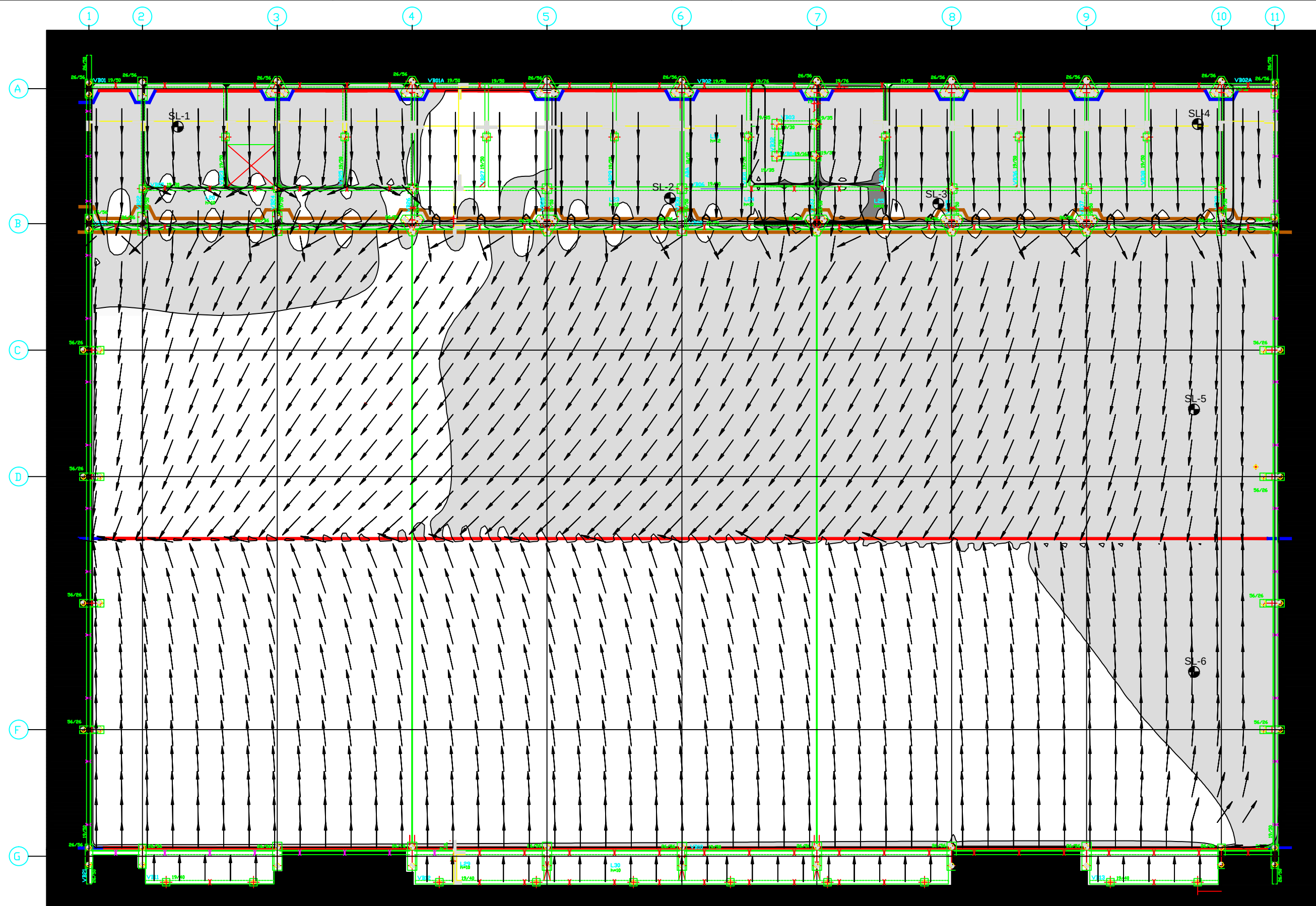
Sistema de ventilação do Edifício I-4
Velocidades de escoamento do ar no tapete

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A3

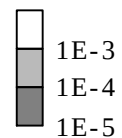


LEGENDA	OBSERVAÇÕES		 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS	CTGeo Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas	Universidade de São Paulo Superintendência do Espaço Físico da USP	
					Sistema de ventilação do Ginásio de Esportes Desenho esquemático de posicionamento de dutos e exaustor	
			DATA: Junho/13	ELABORAÇÃO: Camila Baldoni	RESPONSÁVEL TÉCNICO: Scandar G. Ignatius	RT Nº : 130991-205
			ESCALA: Sem escala			DESENHO Nº : A4



LEGENDA

Velocidades de ar
na camada de brita (m/s)



SL: Poços amostradores permanentes
do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto estrutural fornecida pela Superintendência do
Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA: Junho/2013

ESCALA: Sem escala

ELABORAÇÃO:

Caluan Rodrigues Capozzoli

CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Sistema de ventilação do Ginásio de Esportes
Velocidades de escoamento do ar no tapete

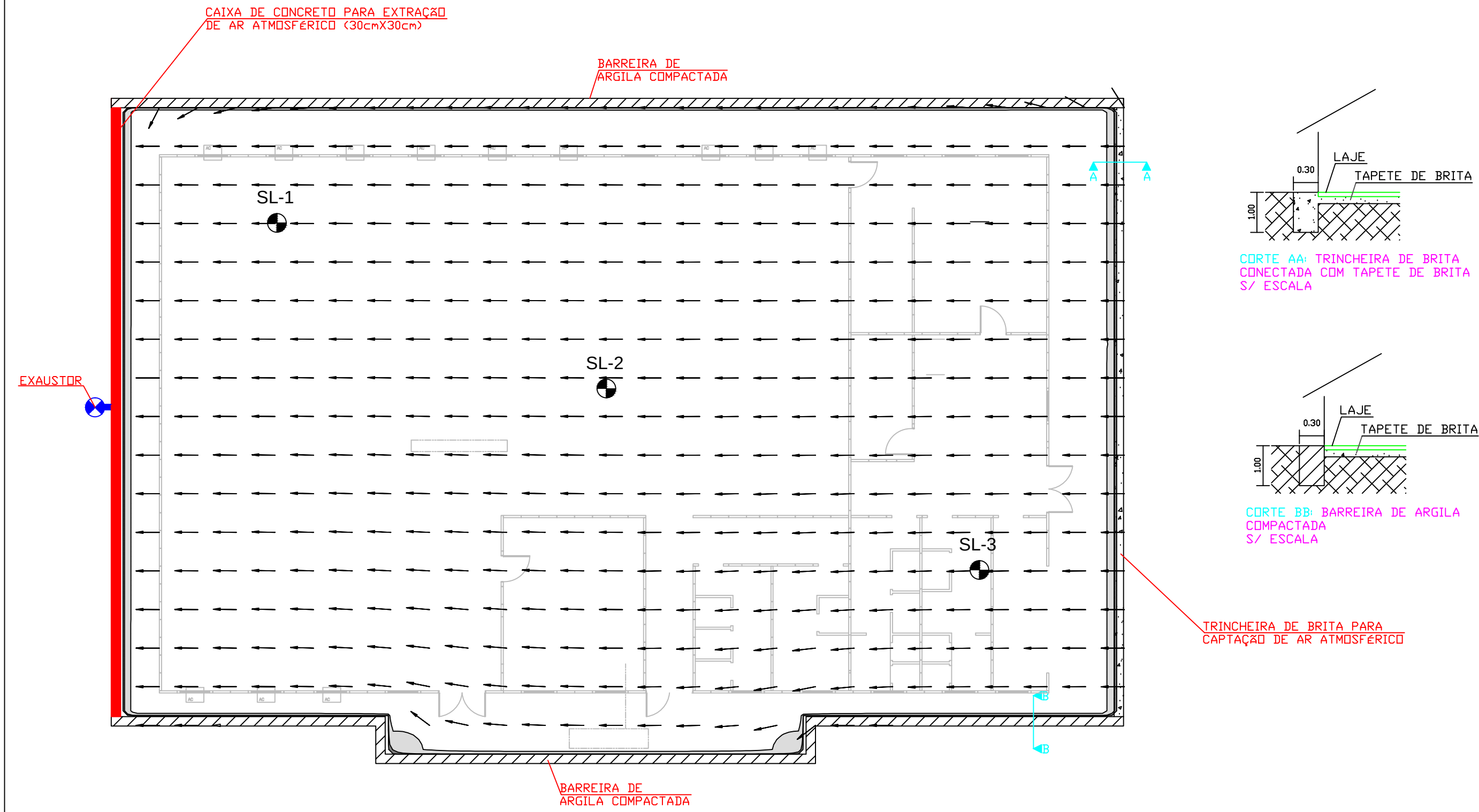
RESPONSÁVEL TÉCNICO:

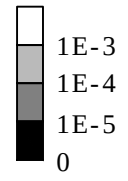
Scandar Gasperazzo Ignatius

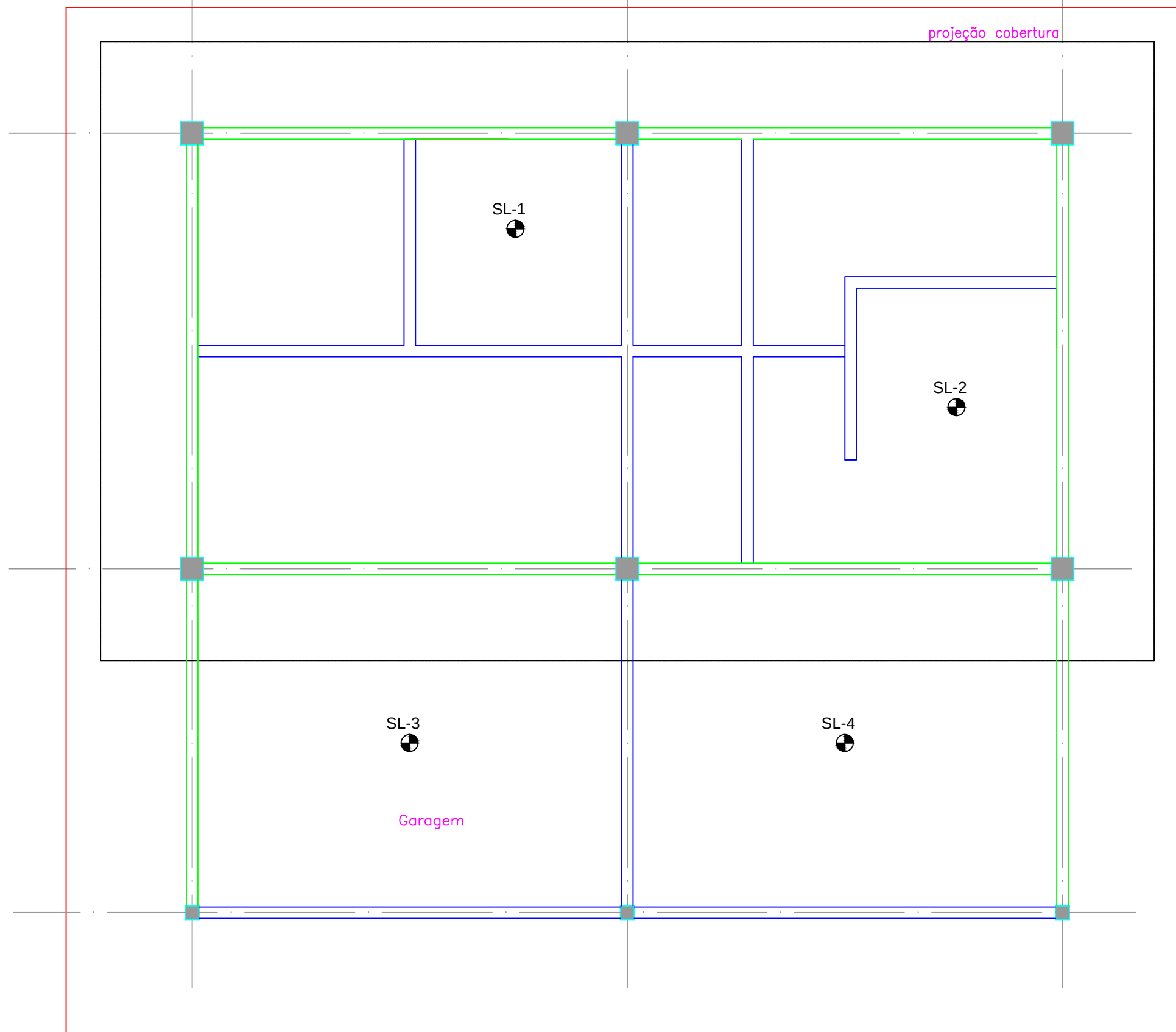
Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

RT Nº : 130991-205

DESENHO Nº : A5



LEGENDA		OBSERVAÇÕES Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP	 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS	CTGeo Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas	Universidade de São Paulo Superintendência do Espaço Físico da USP	
 Caixa de concreto para extração de ar atmosférico	 Exaustor				Sistema de ventilação do Edifício Laranjinha: Posicionamento de trincheira e exaustor e velocidades de escoamento do ar no tapete	
 Barreira de argila compactada	 SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje	Velocidades de ar na camada de brita (m/s)  1E-3 1E-4 1E-5 0	DATA: Junho/2013	ELABORAÇÃO: Camila Baldoni	RESPONSÁVEL TÉCNICO: Scandar G. Ignatius	RT Nº : 130991-205
 Trincheira de brita para captação de ar atmosférico			ESCALA: Sem escala			DESENHO Nº : A6



LEGENDA

 SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP

Localização dos baldrame (indicados em azul) de acordo com informação fornecida pelo Sr. Luiz Carlos Gouveia, Desenhista Projetista da SEF/USP



DATA: Junho/2013

ESCALA: Sem Escala

ELABORAÇÃO:

Caluan Rodrigues Capozzoli

CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

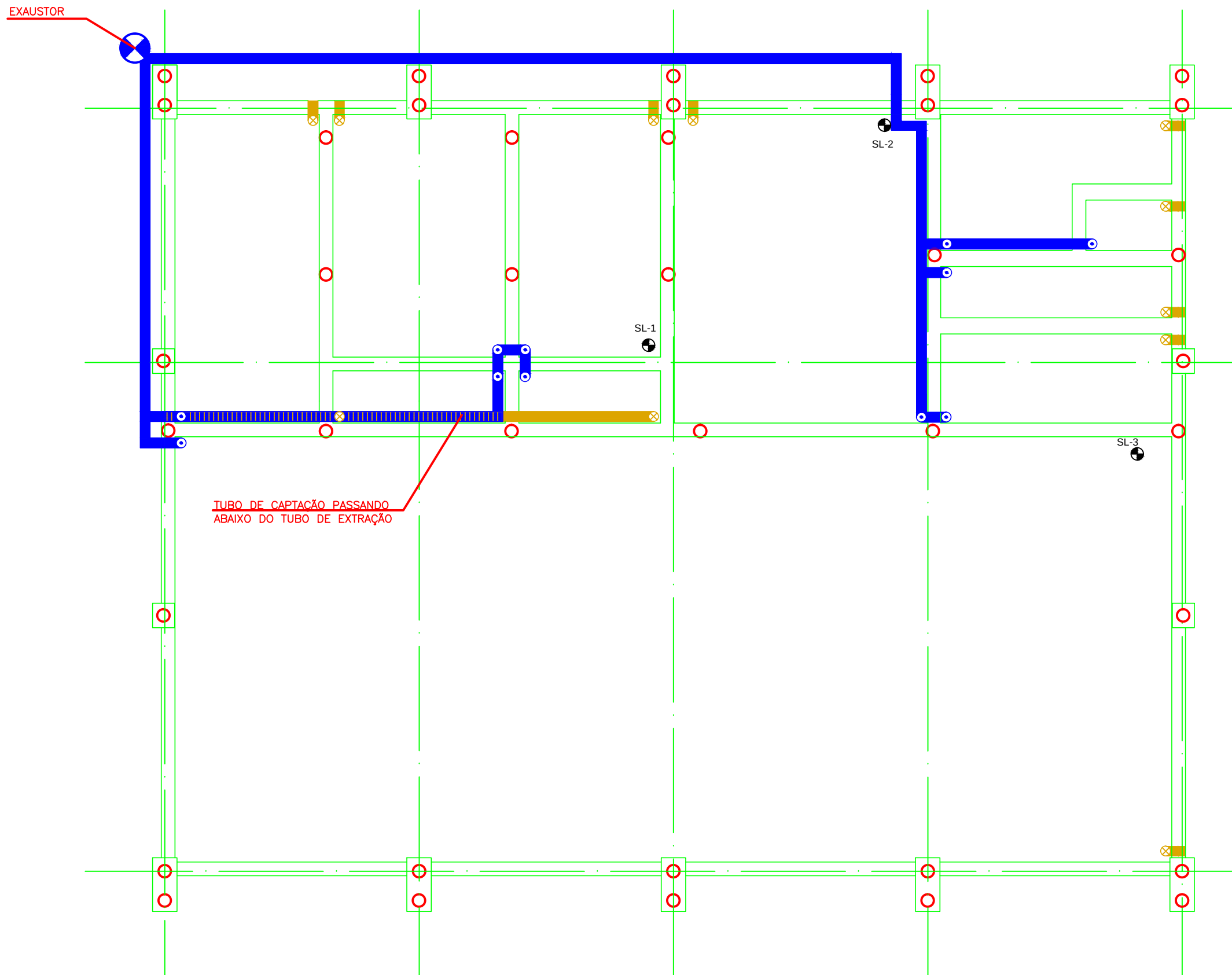
Sistema de monitoramento do Posto da Guarda Universitária

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205

DESENHO Nº : A7



LEGENDA

-  Duto de extração de ar atmosférico
-  Duto de captação de ar atmosférico
-  Furo na laje para captação de ar Ø5,1m (2 polegadas)
-  Exaustor



SL:Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



Furo na laje para extração de ar Ø5,1cm (2 polegadas)

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA: Junho/2013
ESCALA: Sem Escala

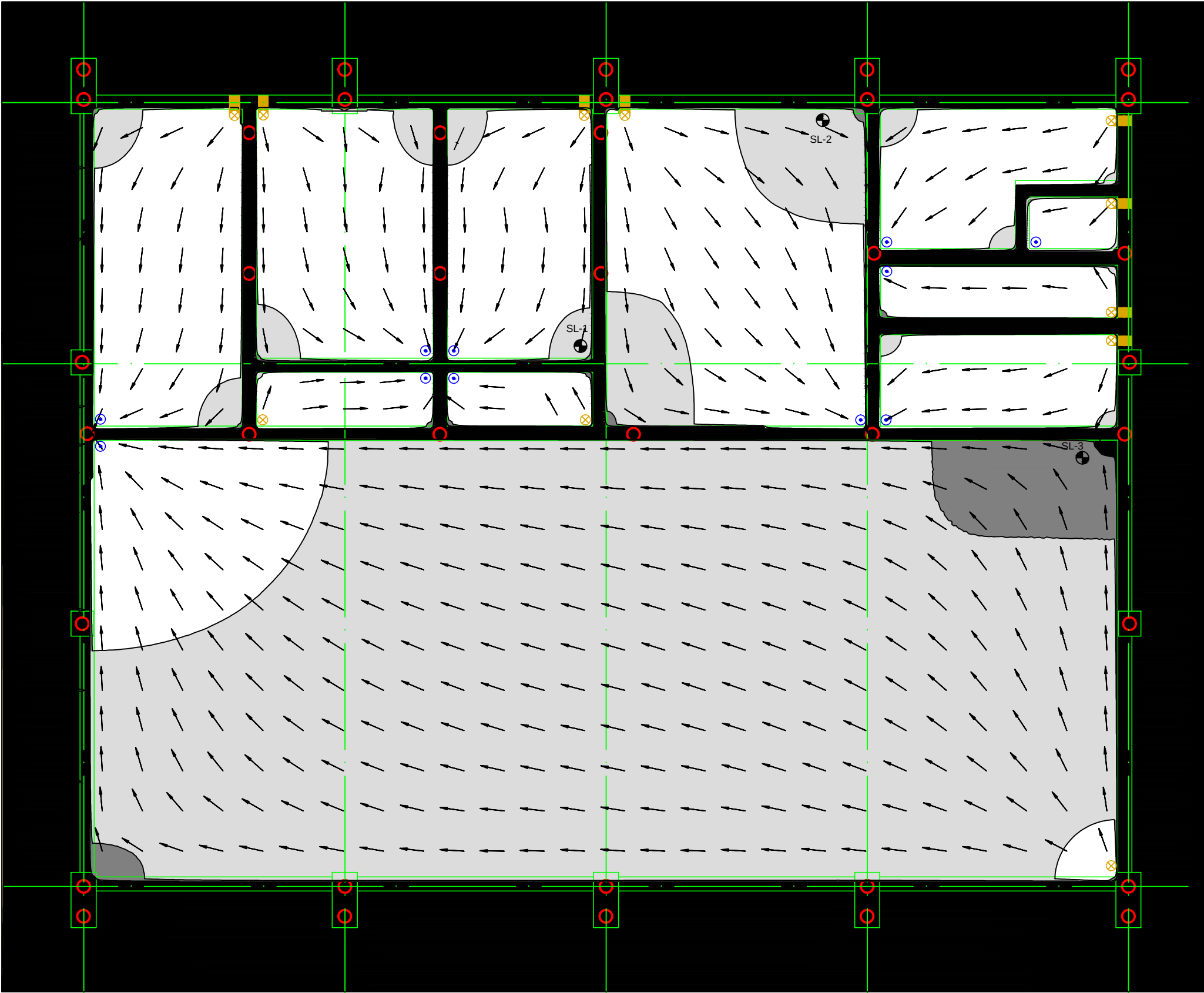
ELABORAÇÃO:
Camila Baldoni

CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Sistema de ventilação do edifício CAT 1
Desenho esquemático de posicionamento dos dutos e exaustor

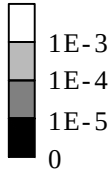
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A8



LEGENDA

Velocidades de ar
na camada de brita (m/s)



SL: Poços amostradores
permanentes do tipo sub-laje



Furo na laje para extração de ar
Ø5,1cm (2 polegadas)



Furo na laje para captação de ar
Ø5,1cm (2 polegadas)

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do
Espaço Físico da USP - SEF/USP



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo

Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA: Junho/2013

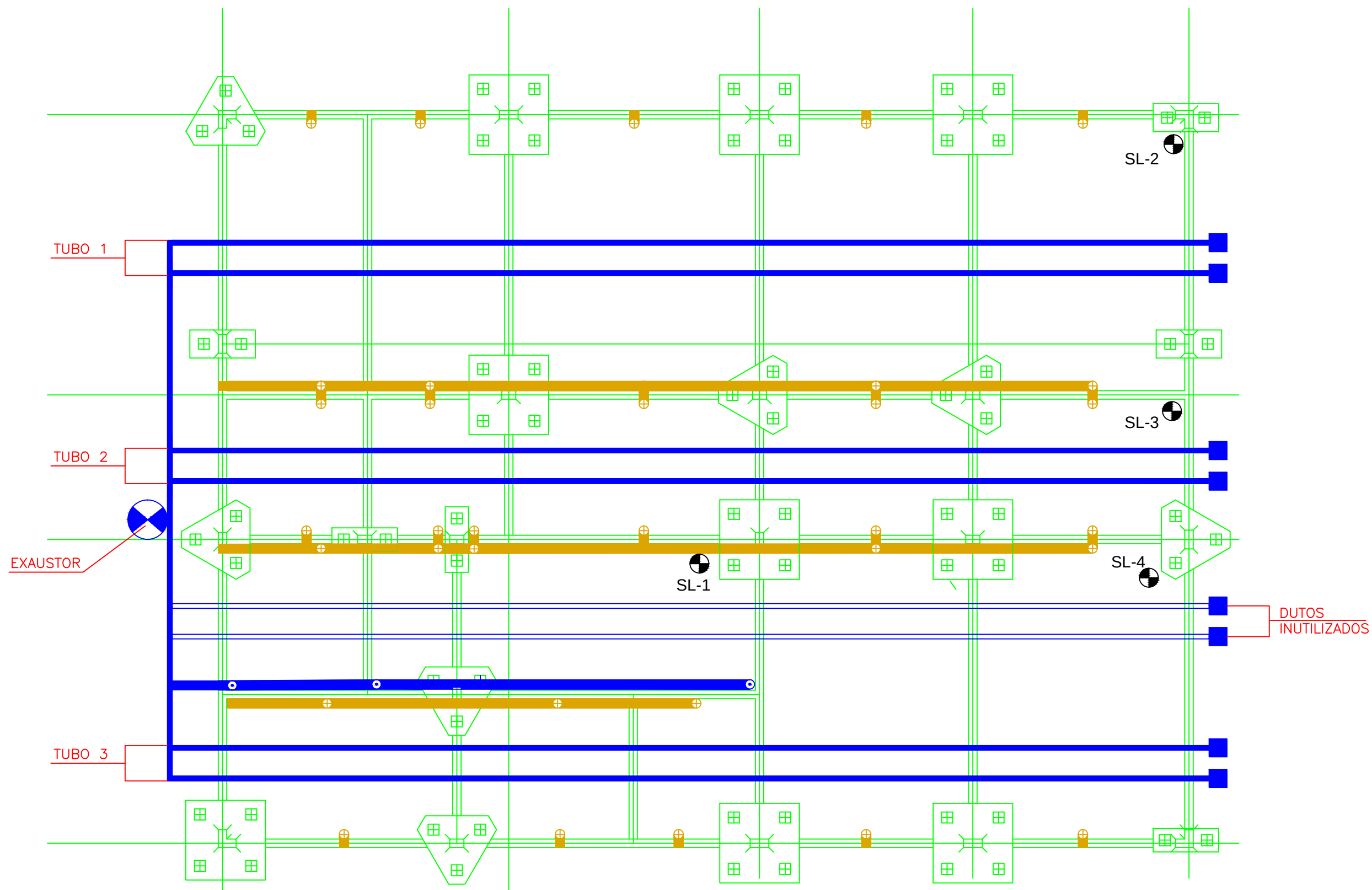
ESCALA: Sem Escala

ELABORAÇÃO:
Caluan R. Capozzoli

Sistema de ventilação do edifício CAT 1
Velocidade de escoamento de ar no tapete de brita

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A9



LEGENDA

- Duto de extração de ar (Ø5,1cm)
- Duto de captação de ar atmosférico (Ø5,1cm)
- Dutos inutilizados
- Extremidade tamponada do duto
- ⊗ Exaustor

- ⊙ Furo na laje p/ extração de ar (Ø 5,1cm)
- ⊕ Furo na laje p/ captação de ar (Ø 5,1cm)
- ⊙ SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP

ipt
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

DATA: Maio/2013
ESCALA: Sem Escala

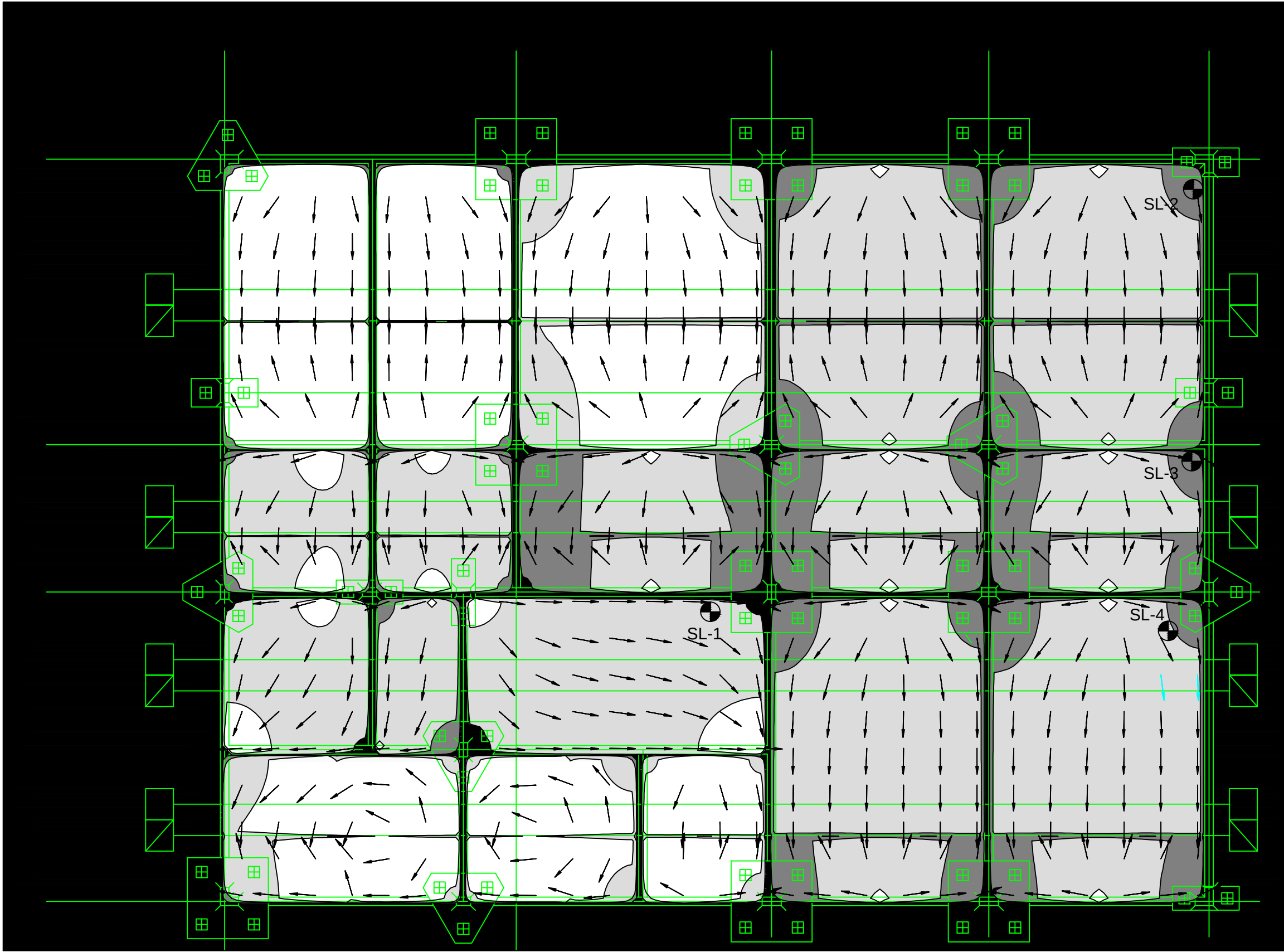
ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

CTGeo
Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas

Sistema de ventilação do edifício CAT-2
Desenho esquemático de posicionamento de dutos e exaustor

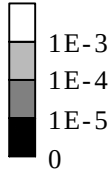
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A10



LEGENDA

Velocidades de ar
na camada de brita (m/s)



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto estrutural fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA: Maio/2013
ESCALA: Sem Escala

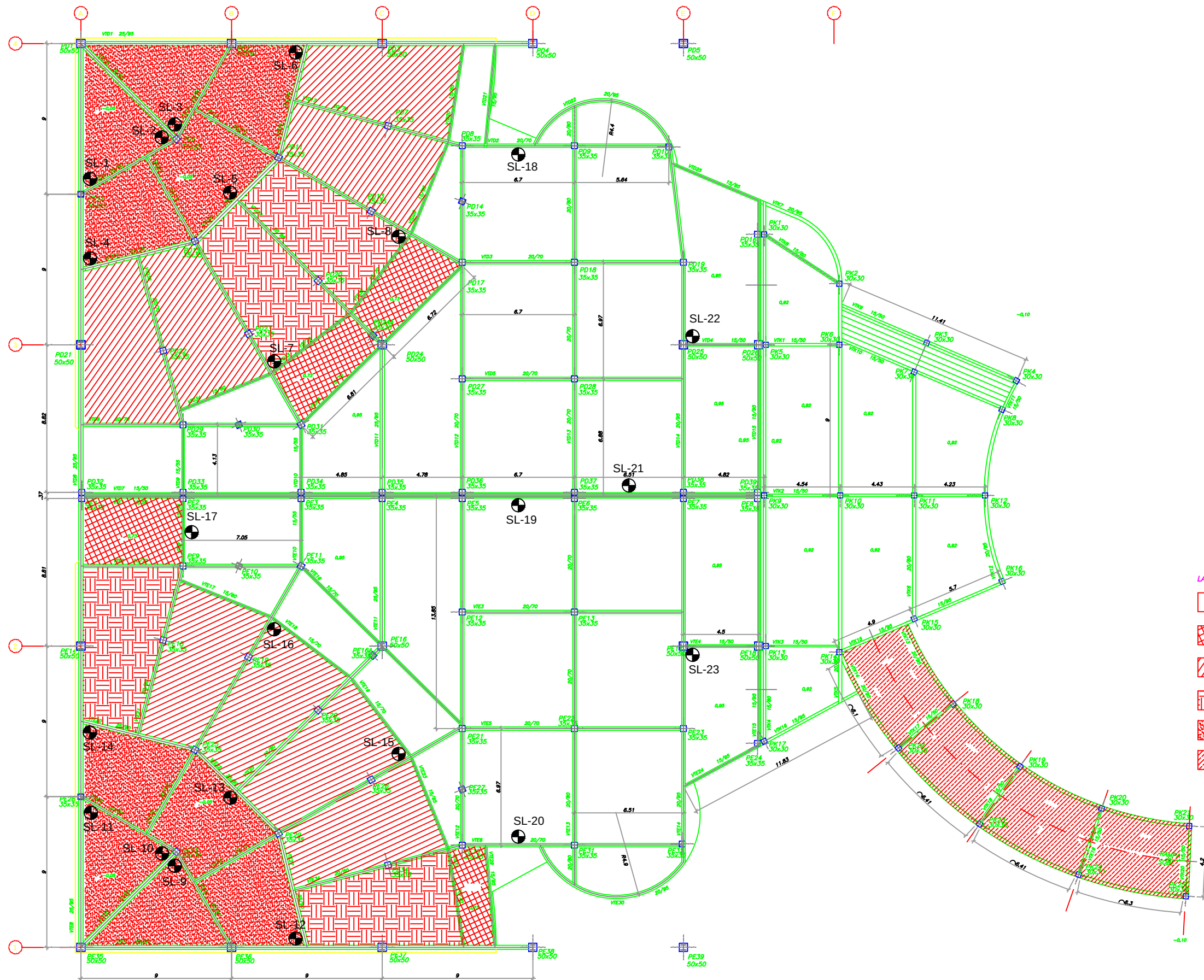
ELABORAÇÃO:
Caluan R. Capozzoli

CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP
Sistema de ventilação do edifício CAT-2
Velocidade de escoamento de ar no tapete de brita

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A11



LEGENDA

● SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



CTGeo
Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA: maio/2013

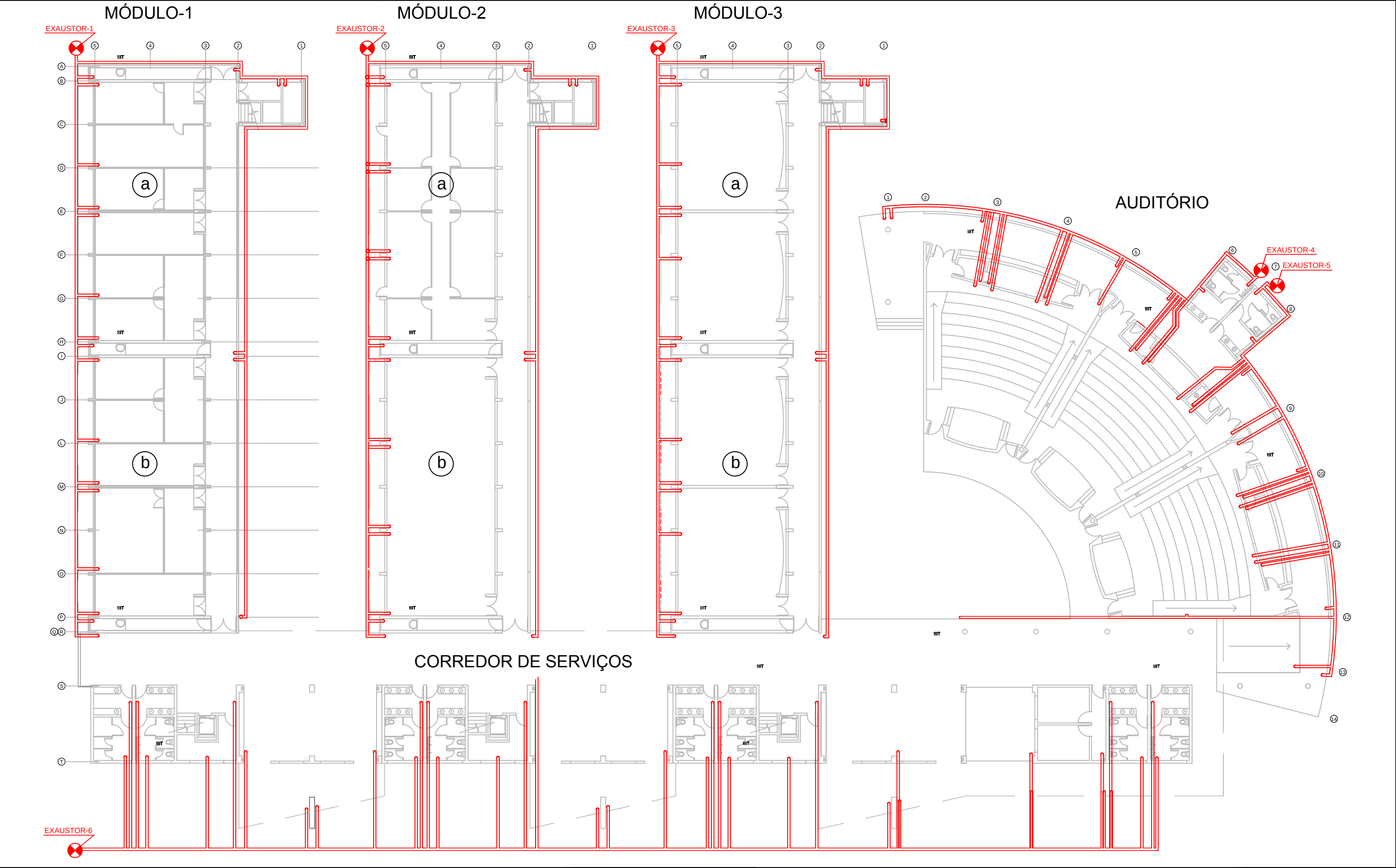
ESCALA: Indicada

ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

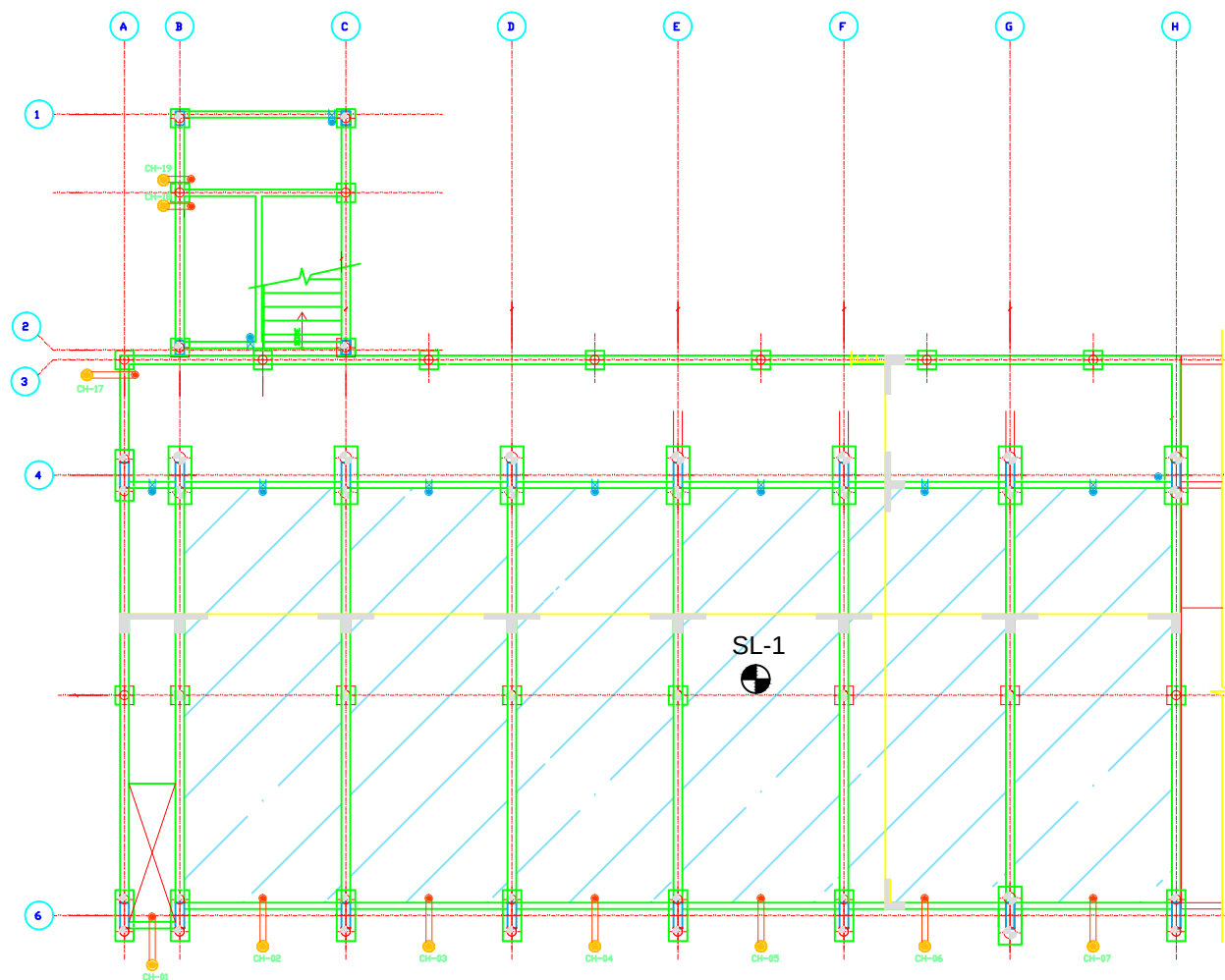
Sistema de monitoramento do edifício I-3-Auditórios

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A12



LEGENDA  Exaustor  Duto liso para extração de ar dos tapetes	OBSERVAÇÕES Planta fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP - "Pavimentos térreos - Localização das chaminés e tomadas de ar", Folha 02/03 de 05/2012 Posicionamento de amostradores nos panos de laje: ver desenhos A14 até A26	 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS	CTGeo Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas	Universidade de São Paulo Superintendência do Espaço Físico da USP	
				Sistema de ventilação do Módulo Inicial Localização dos exaustores e tubulações	
		DATA: maio/2013 ESCALA: Sem Escala	ELABORAÇÃO: Caluan Rodrigues Capozzoli	RESPONSÁVEL TÉCNICO: Scandar G. Ignatius	RT Nº : 130991-205
					DESENHO Nº : A13



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo

**Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas**

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão Módulo 1a

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

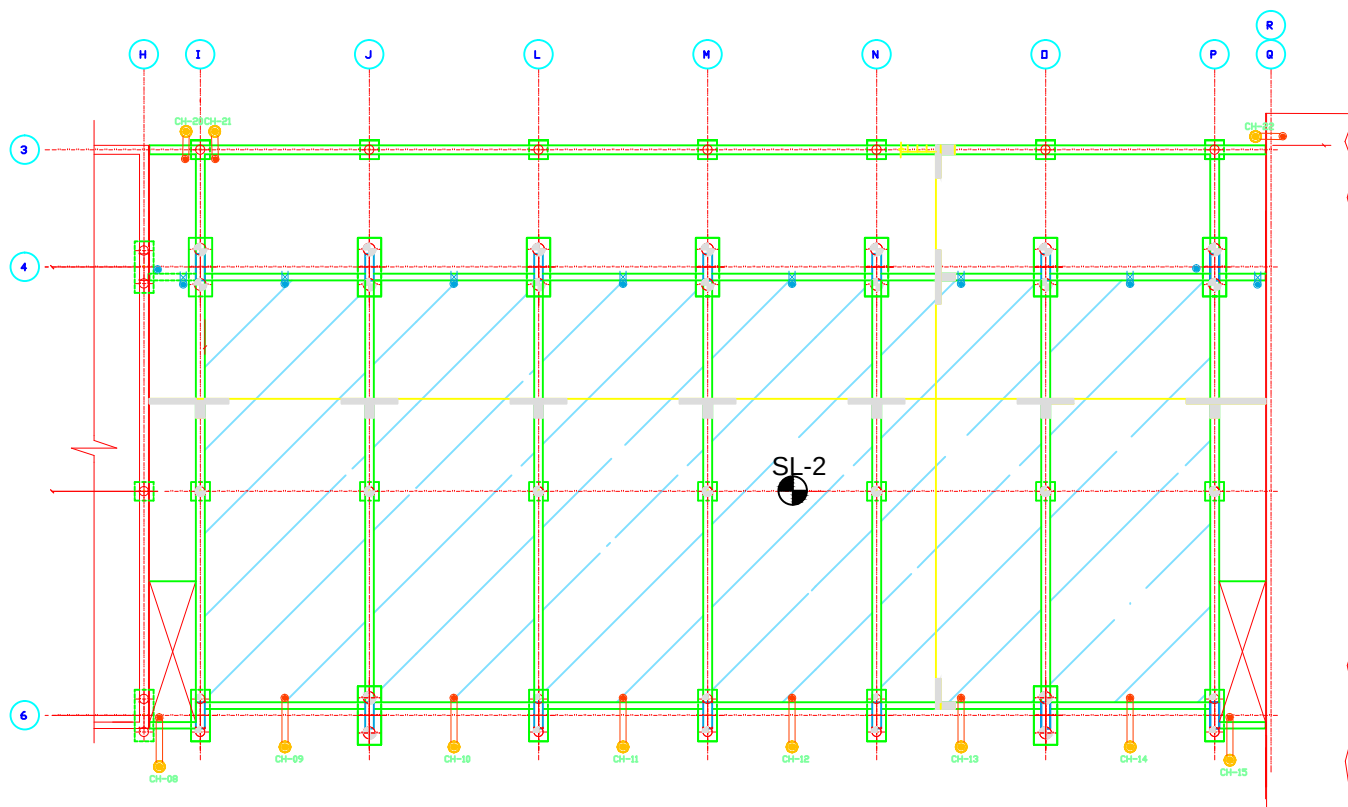
130991-205

DESENHO Nº :

A14

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão módulo 1b

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

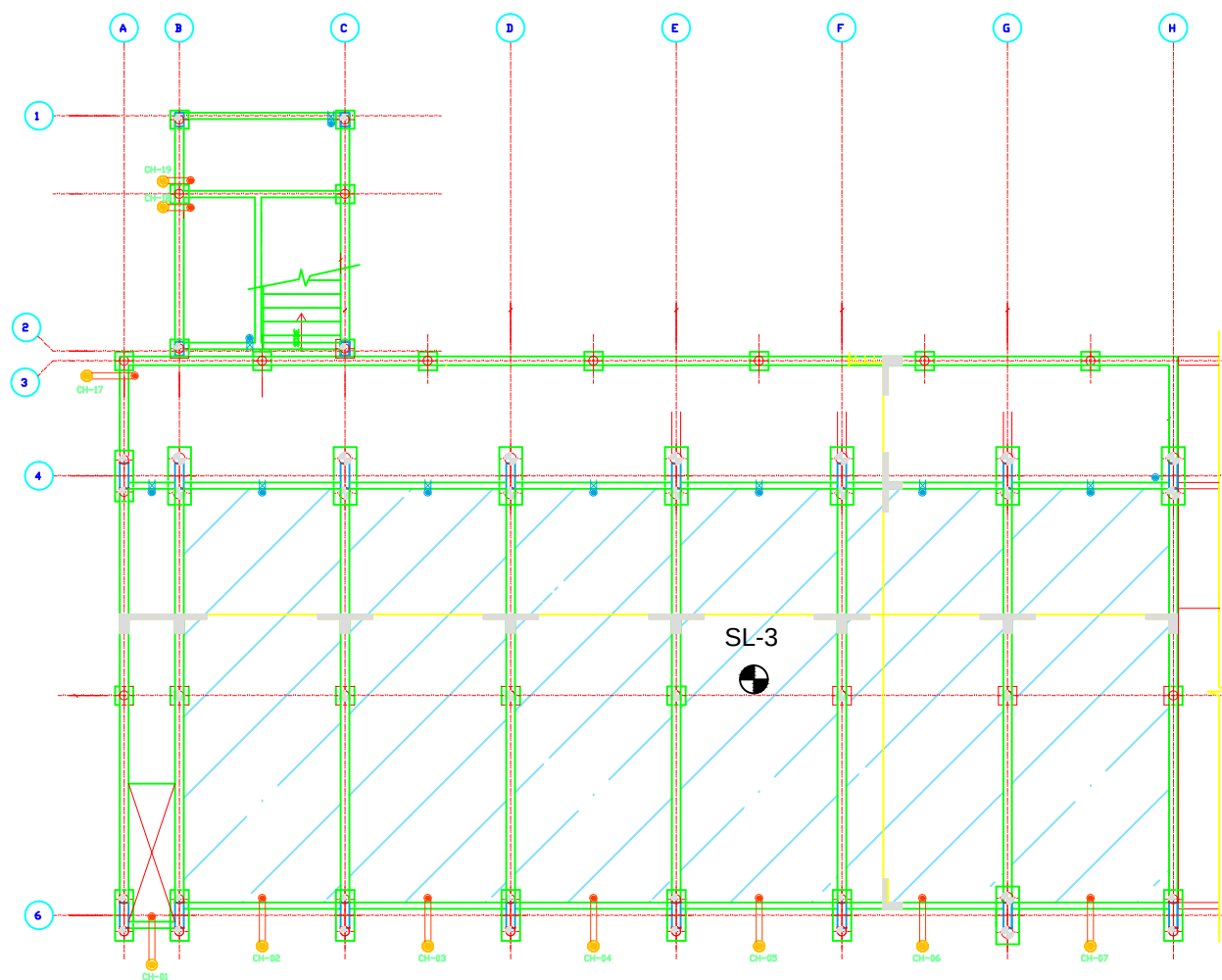
130991-205

DESENHO Nº :

A15

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

ipt

INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo

**Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas**

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão Módulo 2a

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

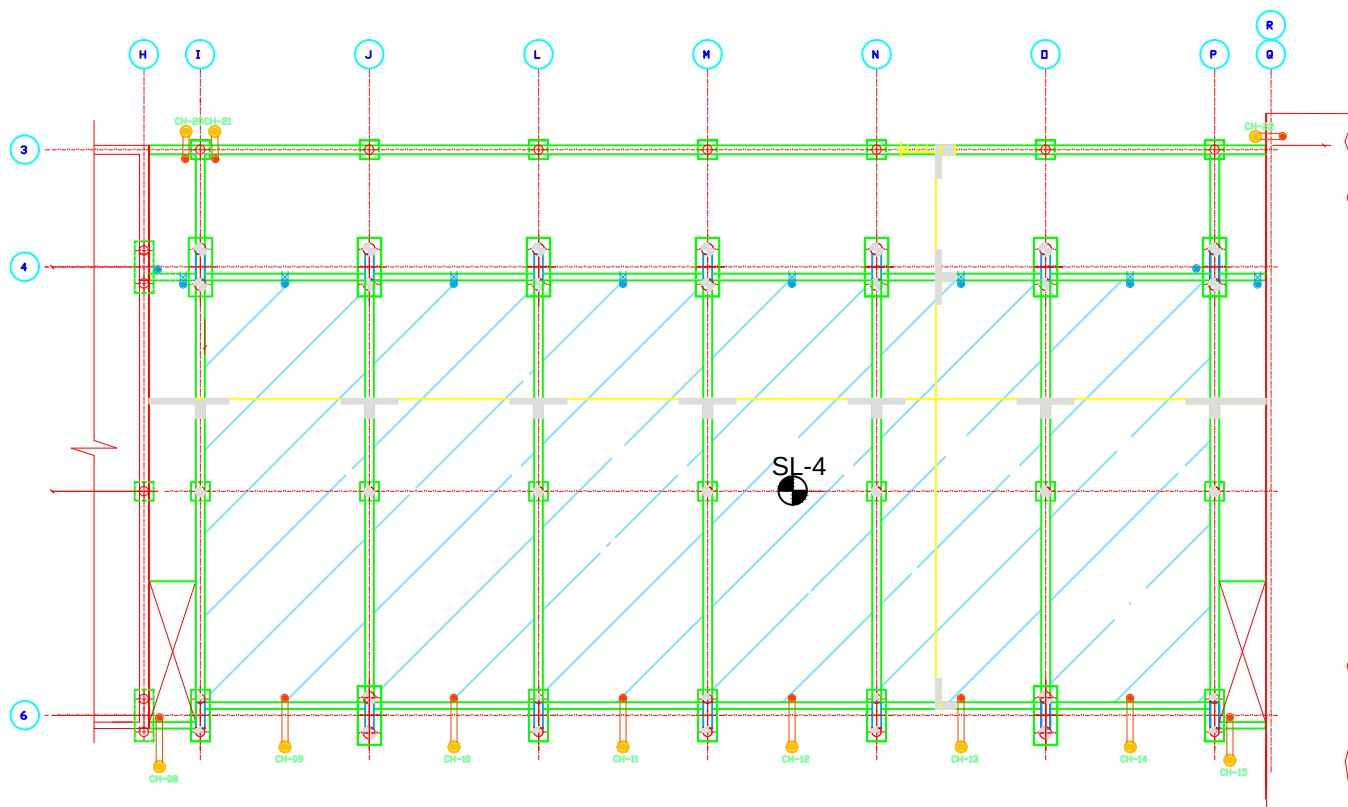
130991-205

DESENHO Nº :

A16

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão módulo 2b

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

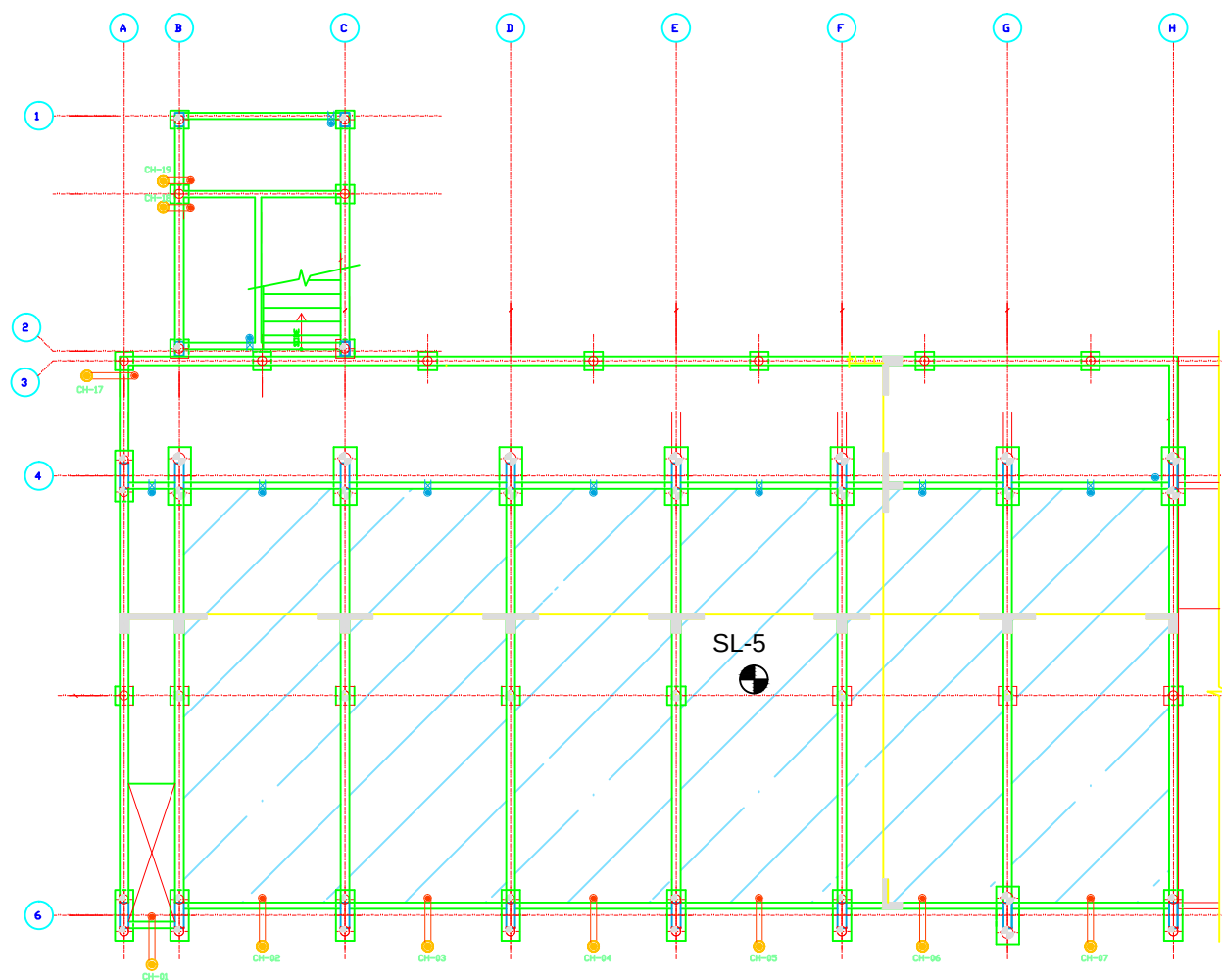
130991-205

DESENHO Nº :

A17

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo

**Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas**

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão Módulo 3a

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

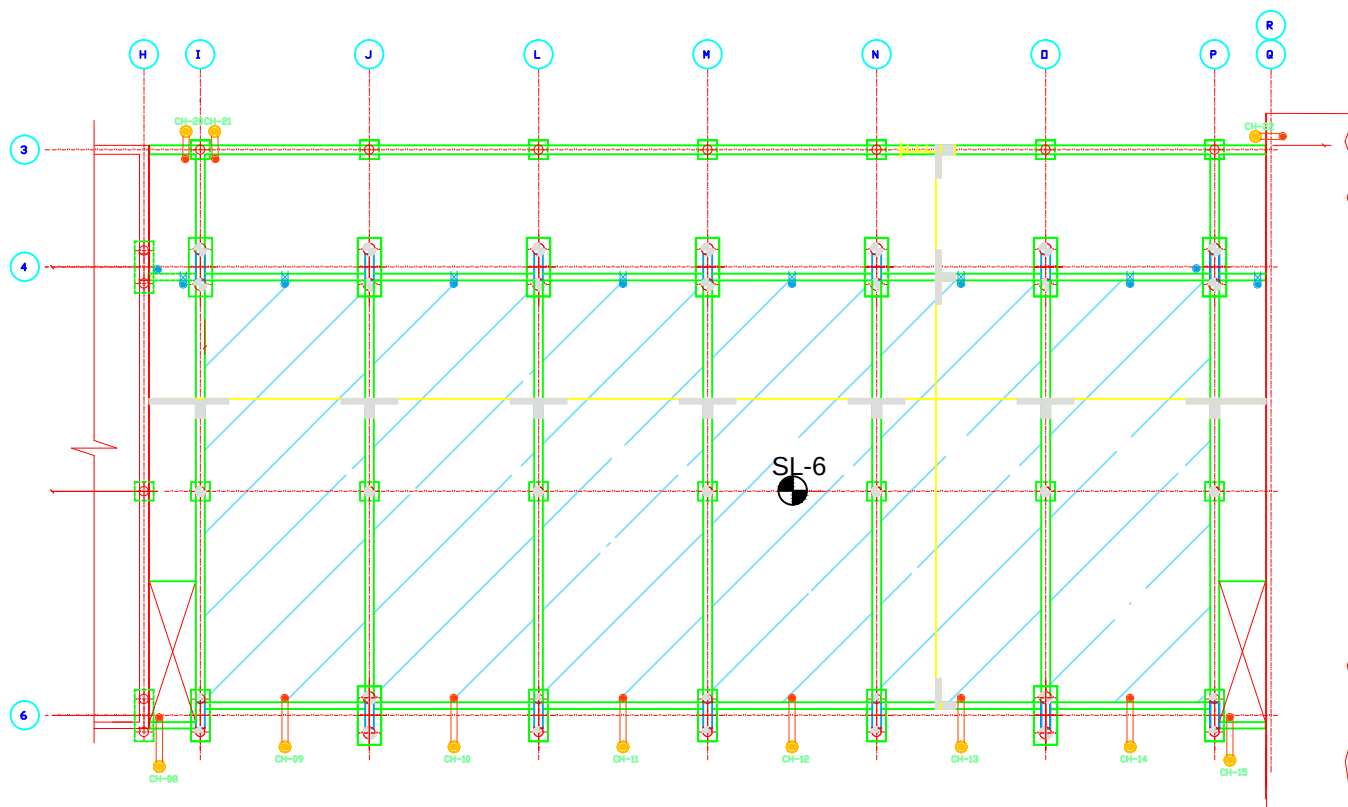
130991-205

DESENHO Nº :

A18

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Bloco Padrão módulo 3b

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

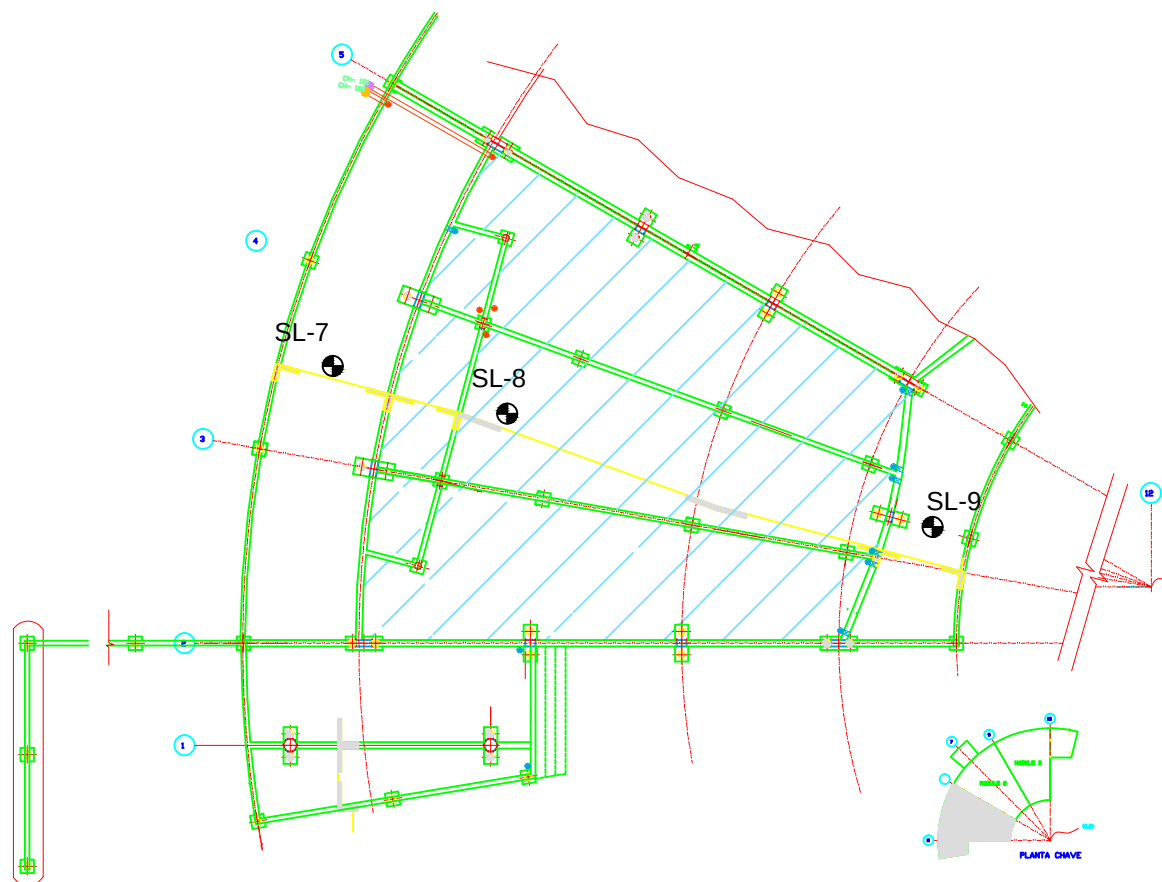
130991-205

DESENHO Nº :

A19

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

CTGeo

Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Prédio do auditório

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

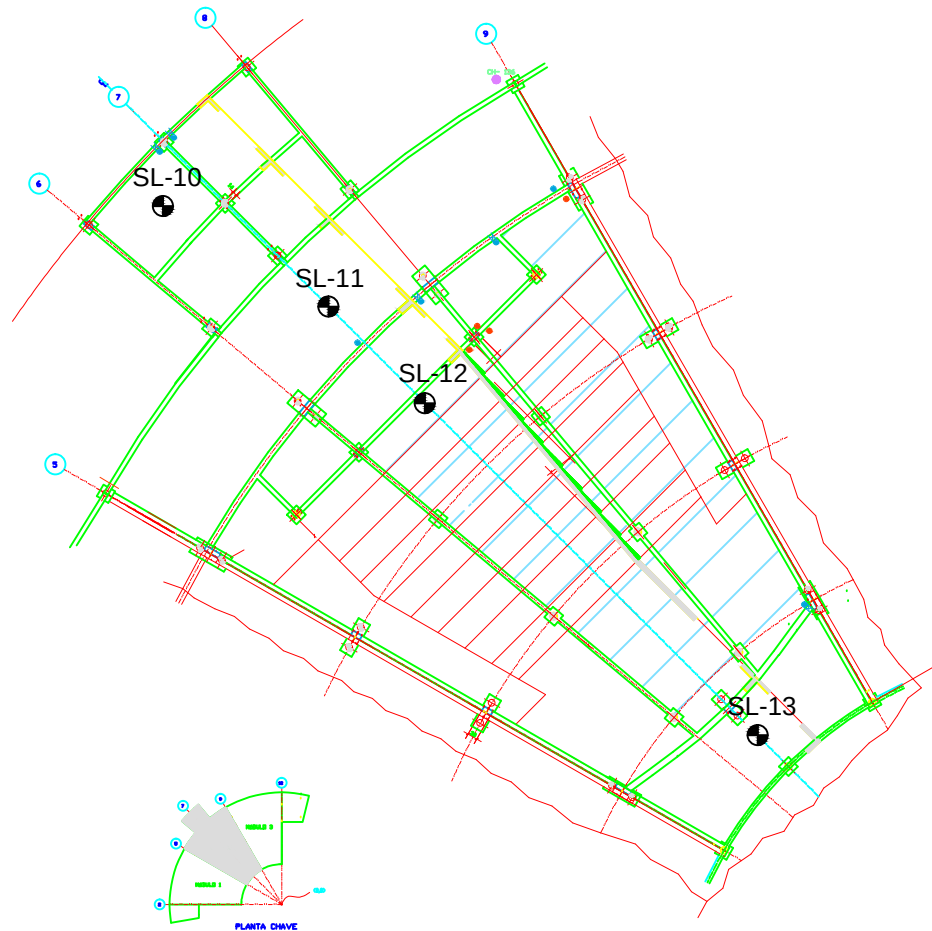
Scandar G. Ignatius

RT Nº :

130991-205

DESENHO Nº :

A20



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CTGeo

**Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas**

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Prédio do auditório

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

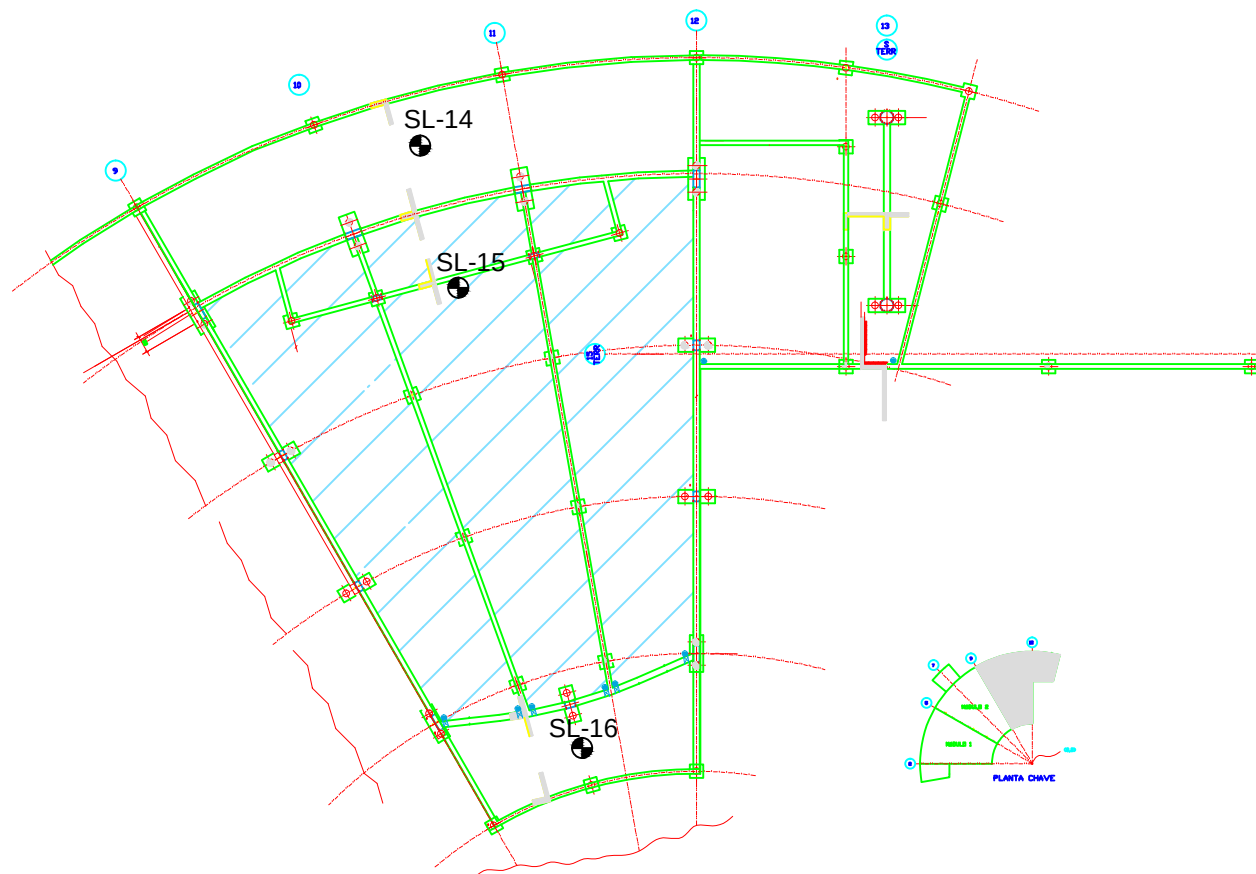
130991-205

DESENHO Nº :

A21

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Prédio do auditório

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

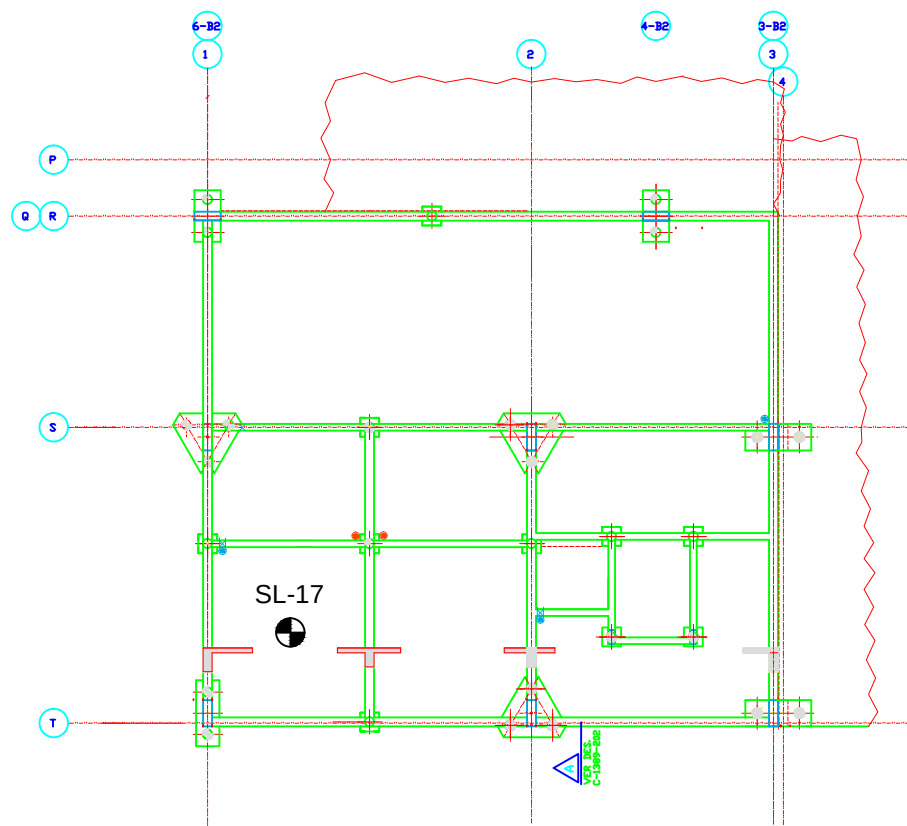
130991-205

DESENHO Nº :

A22

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Corredor de serviços

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

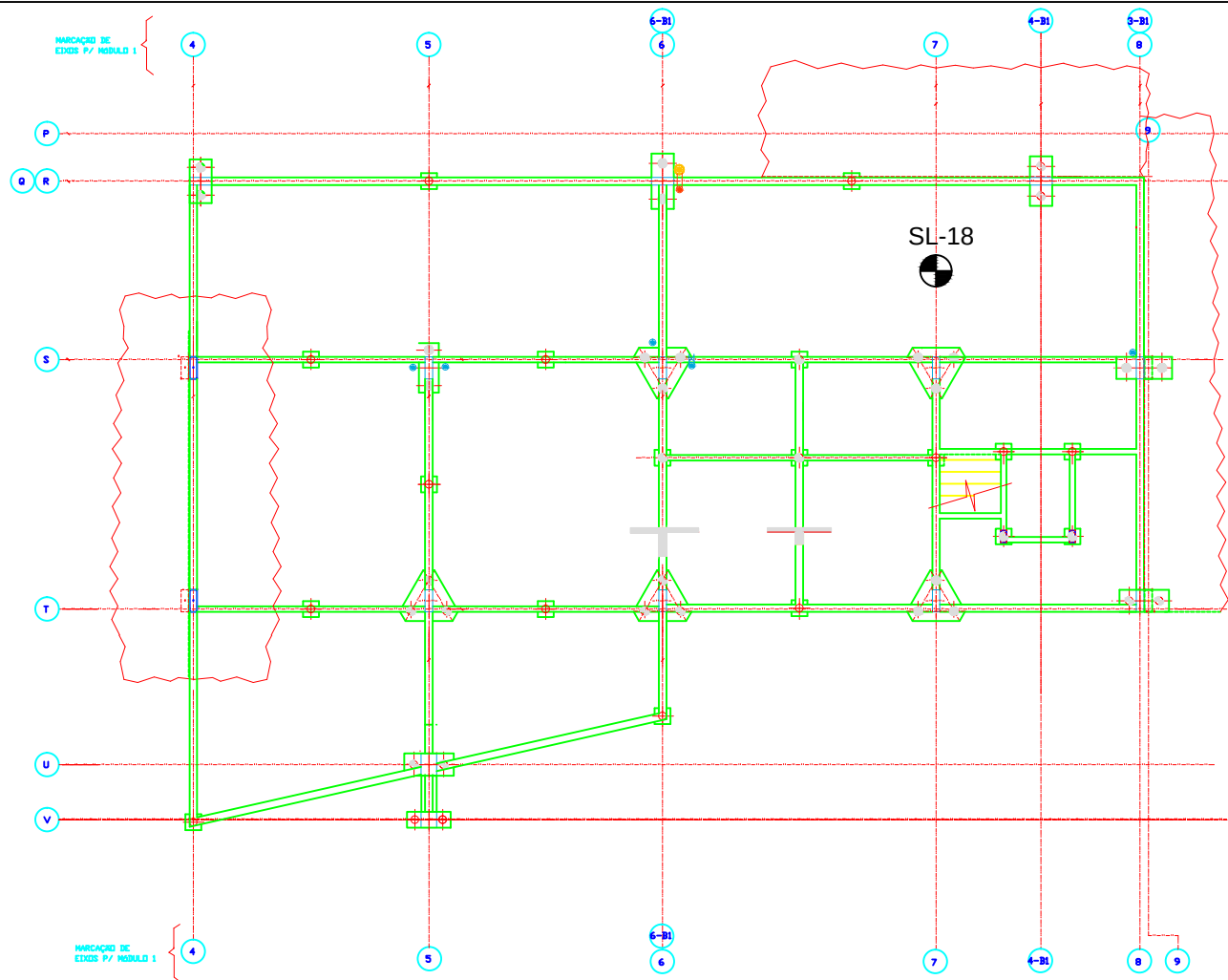
130991-205

DESENHO Nº :

A23

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema demonitoramento do Módulo Inicial
Corredor de serviços

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

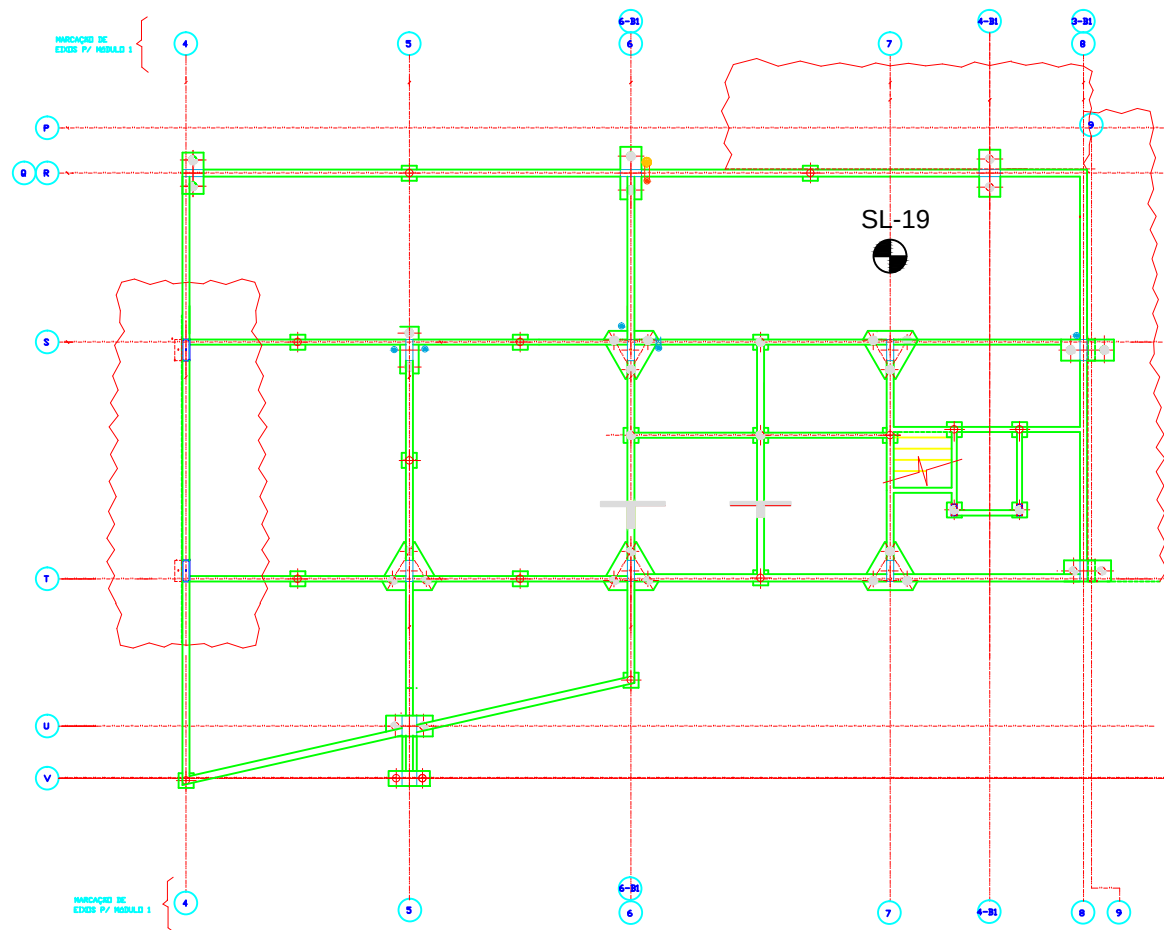
130991-205

DESENHO Nº :

A24

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema demonitoramento do Módulo Inicial
Corredor de serviços

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

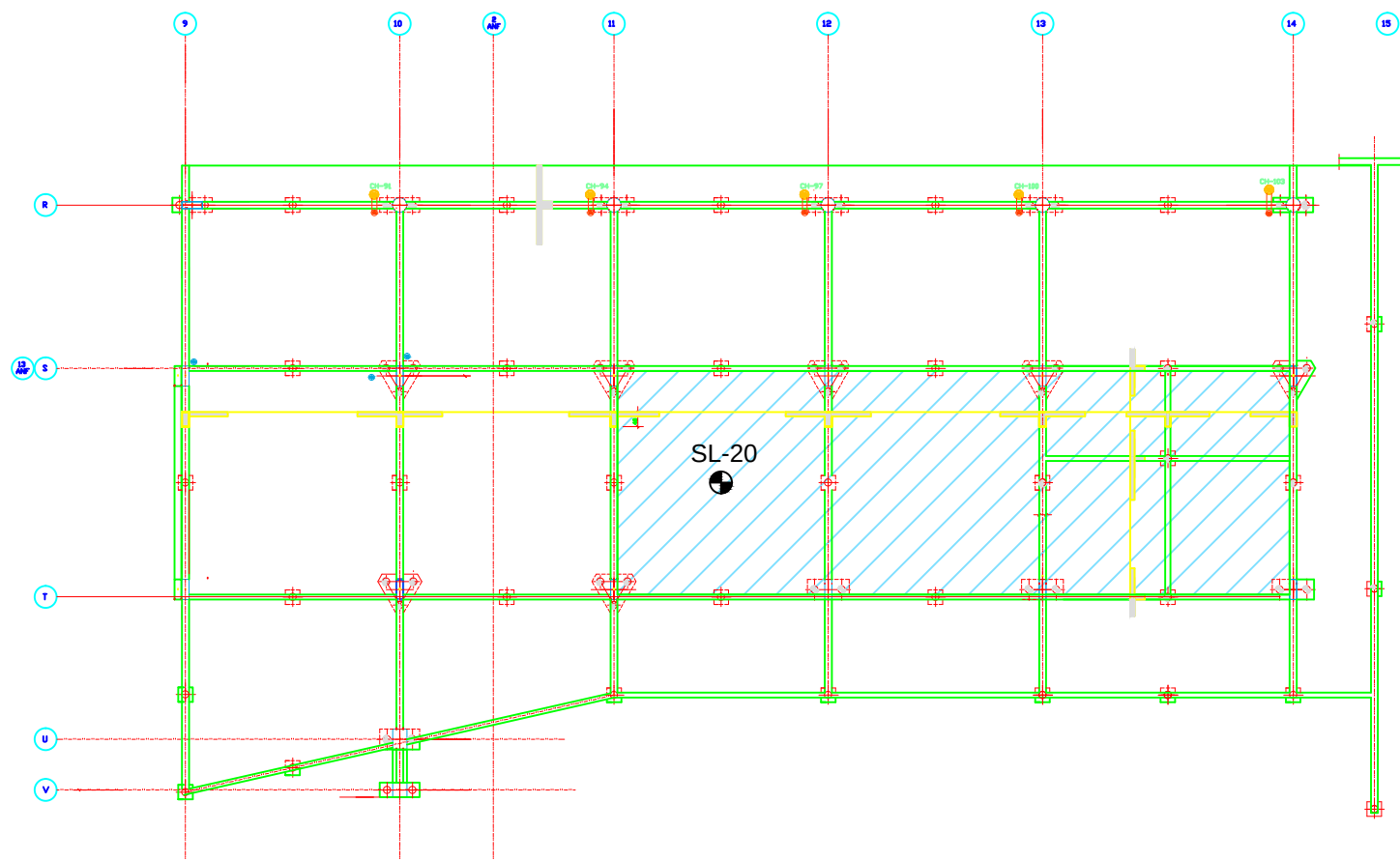
130991-205

DESENHO Nº :

A25

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



LEGENDA



SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje



CTGeo
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA:

Junho/13

ESCALA:

Sem escala

Sistema de monitoramento do edifício Módulo Inicial
Corredor de serviços

ELABORAÇÃO:

Camila Baldoni

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Scandar G. Ignatius

RT Nº :

130991-205

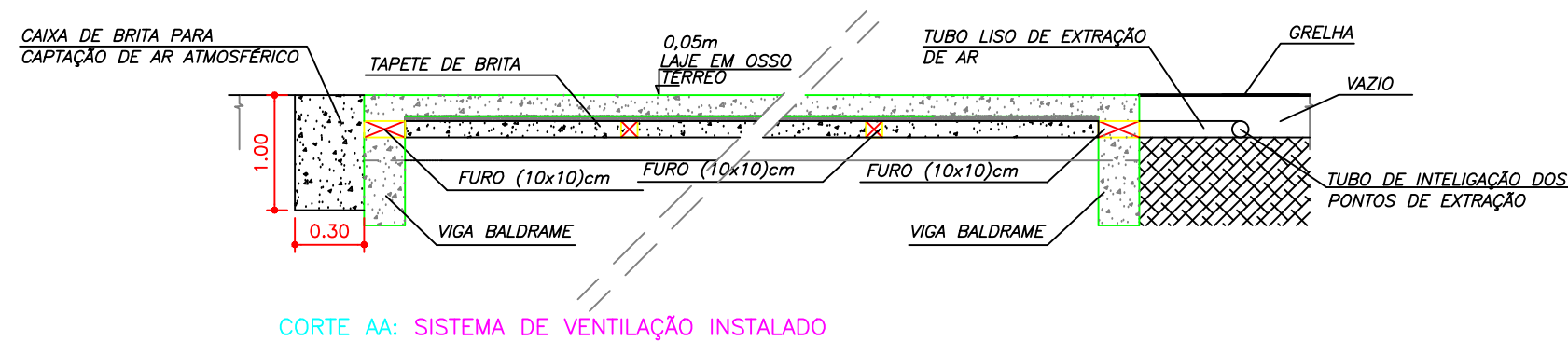
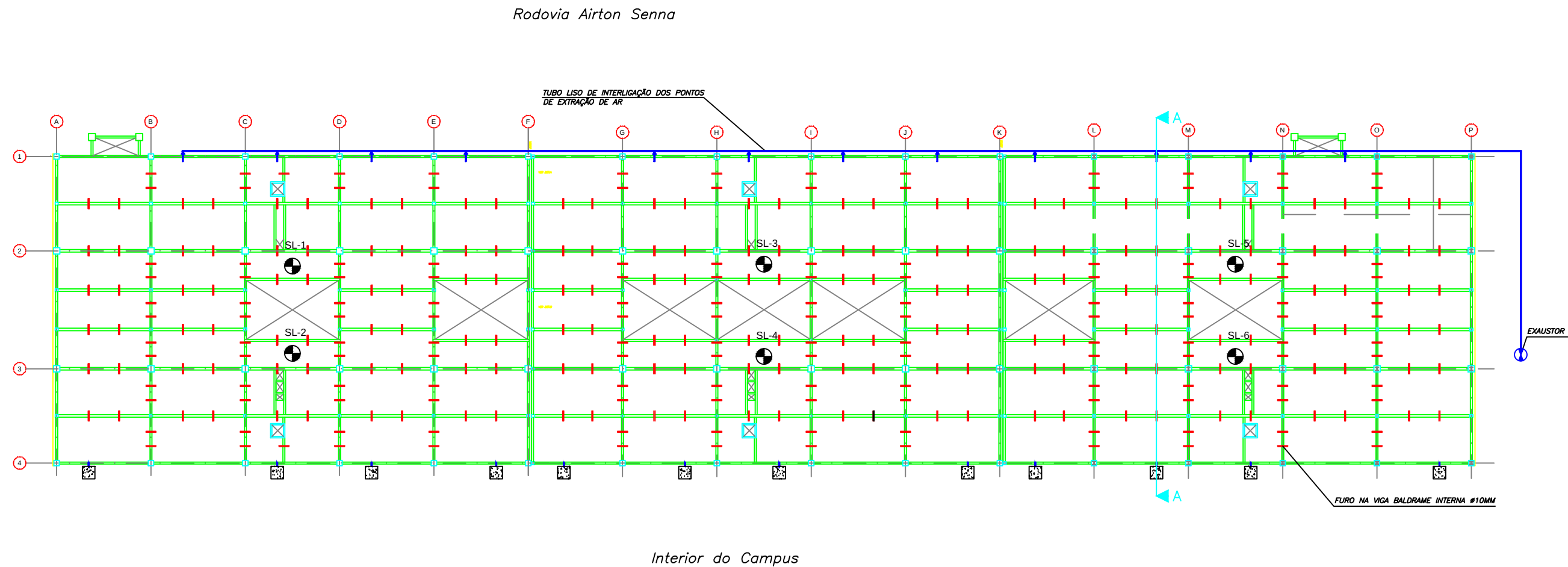
DESENHO Nº :

A26

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP

LOCALIZAÇÃO EM PLANTA DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO



- OBSERVAÇÕES**
1. FUIROS DE CAPTAÇÃO E EXTRAÇÃO LOCALIZADOS A 1/3 DE DISTÂNCIA DOS APOIOS
 2. FUIROS DE CAPTAÇÃO PODEM ALTERNATIVAMENTE SER EXECUTADOS NA LAJE EM PONTOS CONTIGUOS
 3. PLANTA ESTRUTURAL FORNECIDA PELA SEF/USP
 4. POSIÇÃO E DIÂMETRO DOS FUIROS NAS VIGAS BALDRAME INTERNAS DE ACORDO COM INFORMAÇÃO DA SEF

LEGENDA

- ↑ Ponto de extração
- Tubo PVC liso
- ⊙ Exaustor
- Furos nas vigas baldrame internas (Ø10cm)
- ▣ Ponto de captação de ar atmosférico
- SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA: Fevereiro/2013

ESCALA: Sem escala

ELABORAÇÃO: Marcela Maciel de Araújo

CETAE
Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas

Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

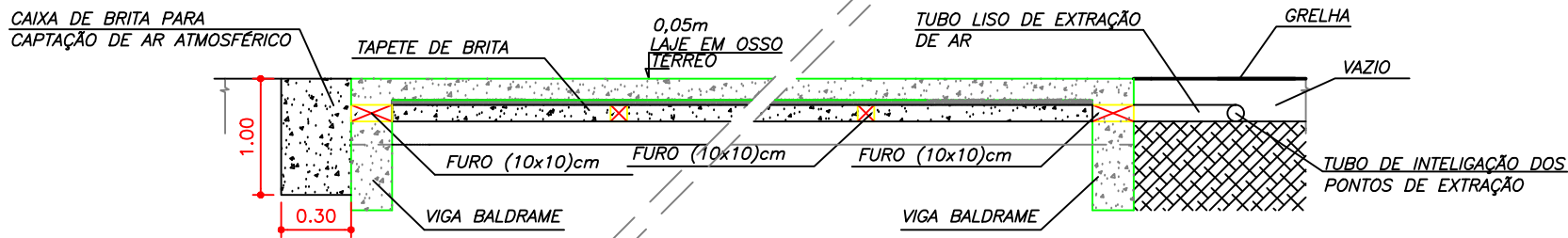
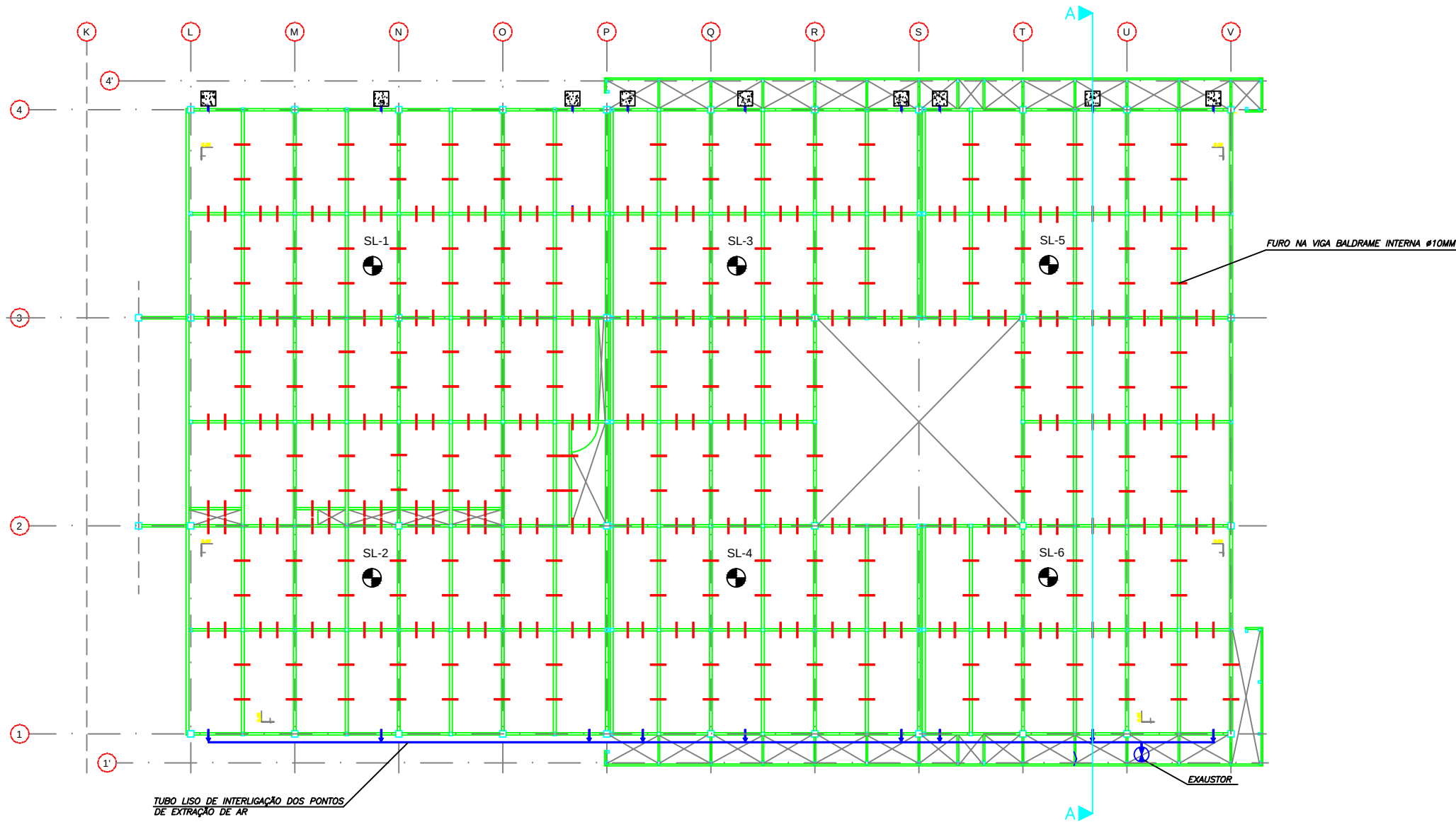
Sistema de monitoramento do edifício I-1

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Scandar Gasperazzo Ignatius

RT Nº : 130991-205

DESENHO Nº : A27

LOCALIZAÇÃO EM PLANTA DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO



CORTE AA: SISTEMA DE VENTILAÇÃO INSTALADO

- OBSERVAÇÕES
- 1. Furos de captação e extração localizados a 1/3 de distância dos apoios
 - 2. Furos de captação e extração podem ser executados na laje em pontos contíguos
 - 3. Planta estrutural fornecida pela SEF/USP
 - 4. Posição e diâmetro dos furos nas vigas baldrame internas de acordo com informação da SEF

LEGENDA

- ↑ Ponto de extração
- ▣ Ponto de captação de ar atmosférico
- Tubo PVC liso
- SL: Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje
- ⊕ Exaustor
- Furos nas vigas baldrames internas (Ø10cm)

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



CETAE
Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas

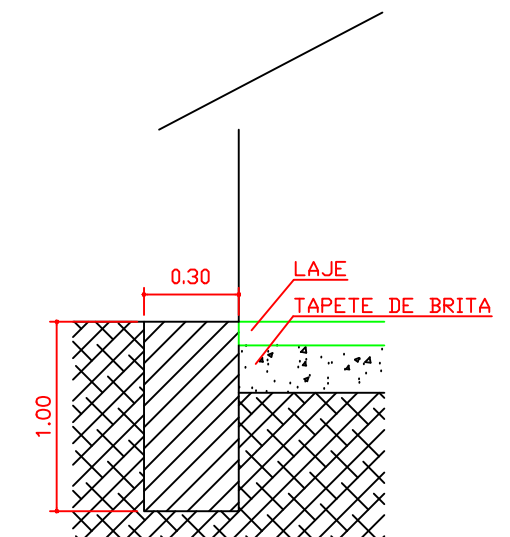
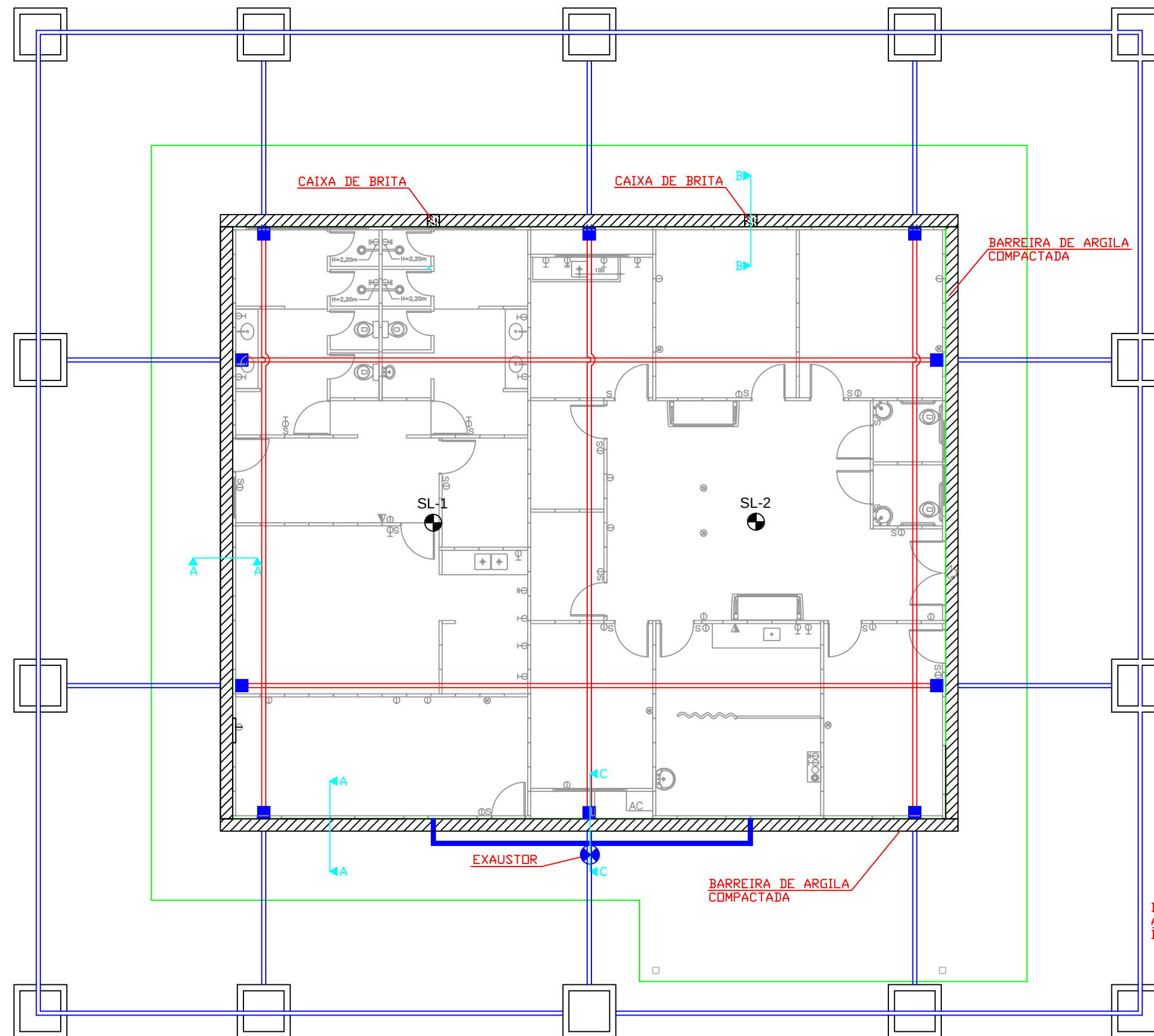
Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

DATA: Fevereiro/2013
ESCALA: Indicada

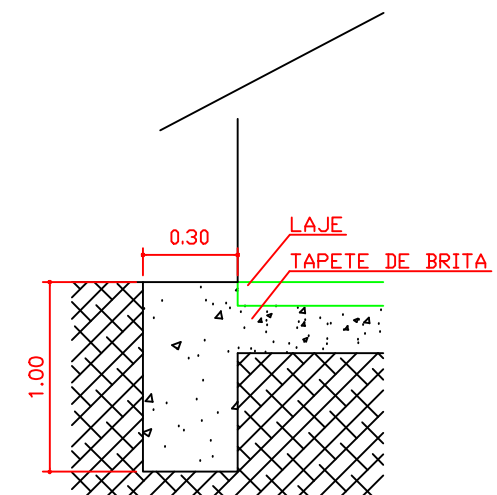
ELABORAÇÃO:
Marcela Maciel de Araújo

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar Gasperazzo Ignatius

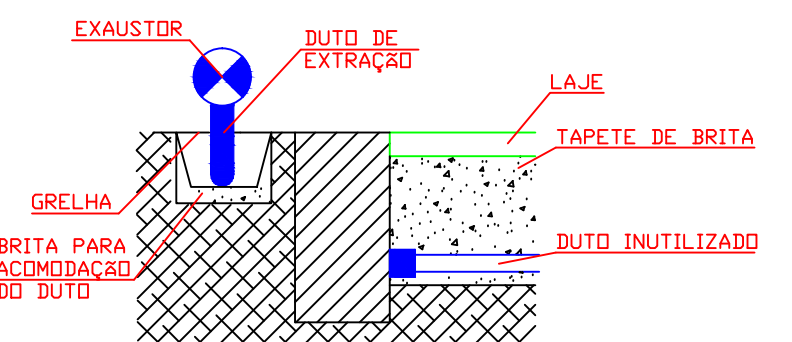
RT Nº : 130991-205
DESENHO Nº : A28



CORTE AA: BARREIRA DE ARGILA COMPACTADA S/ ESCALA



CORTE BB: CAIXA DE BRITA CONECTADA COM TAPETE DE BRITA S/ ESCALA



CORTE CC: DETALHE DA SUBIDA DO TUBO DE EXTRAÇÃO PARA O EXAUSTOR S/ ESCALA

LEGENDA

-  Duto de extração de ar contaminado liso
-  Duto inutilizado
-  Extremidade tamponada do duto
-  Exaustor

OBSERVAÇÕES

Planta do projeto fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP



DATA: Maio/2013

ESCALA: Sem Escala

ELABORAÇÃO:
Caluan Rodrigues Capozzoli

CETAE
Lab. de Resíduos e
Áreas Contaminadas

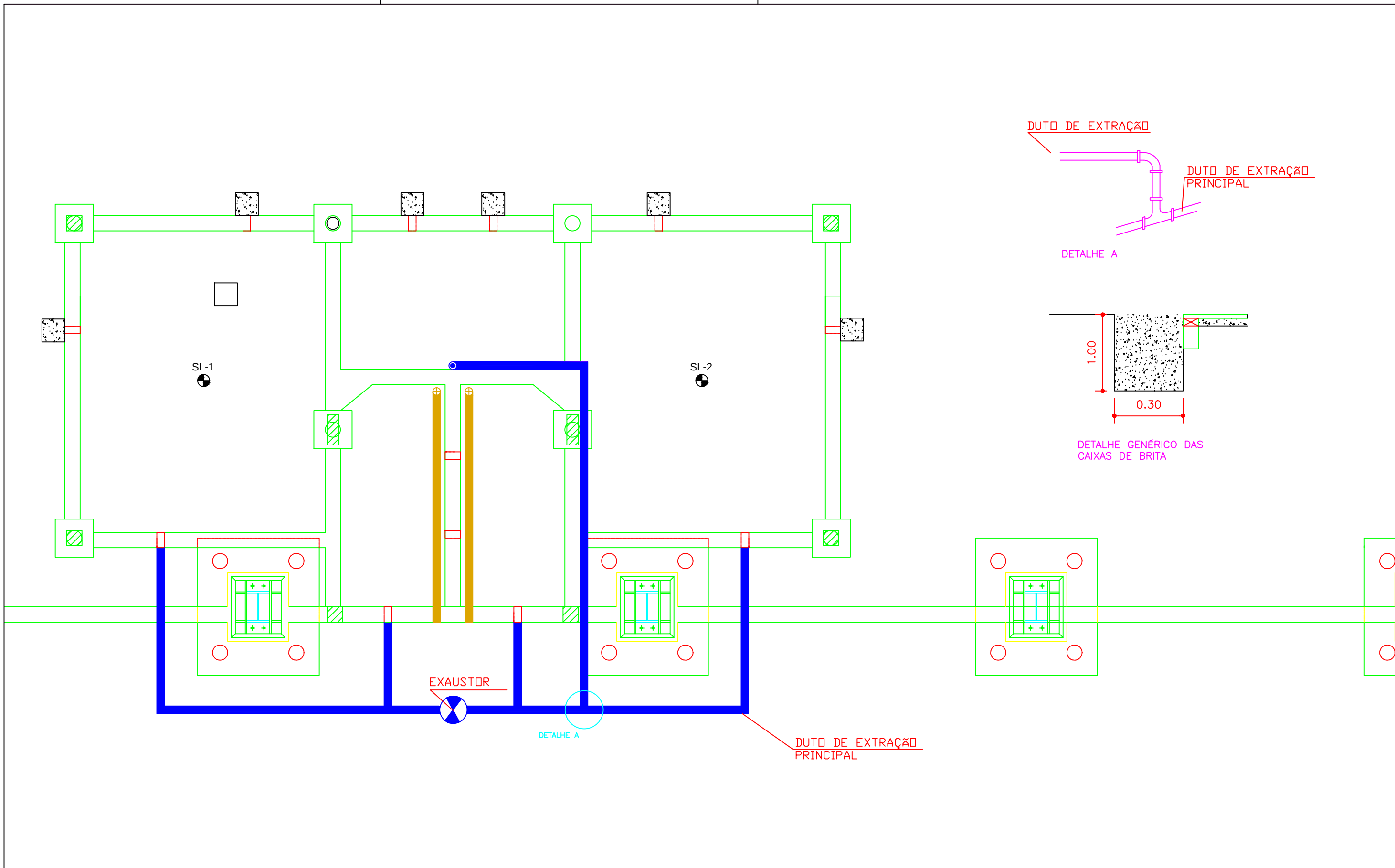
Sistema de monitoramento do Posto de Enfermagem

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Scandar G. Ignatius

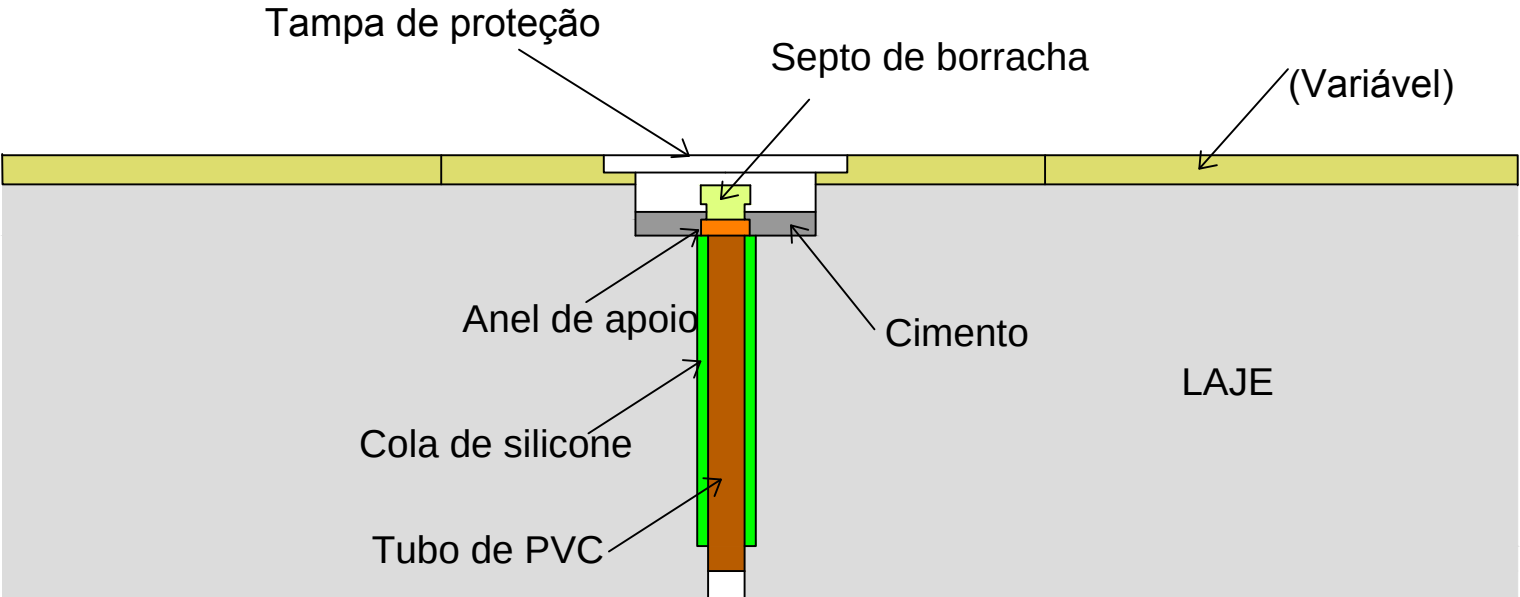
Universidade de São Paulo
Superintendência do Espaço Físico da USP

RT Nº : 130991-205

DESENHO Nº : A29

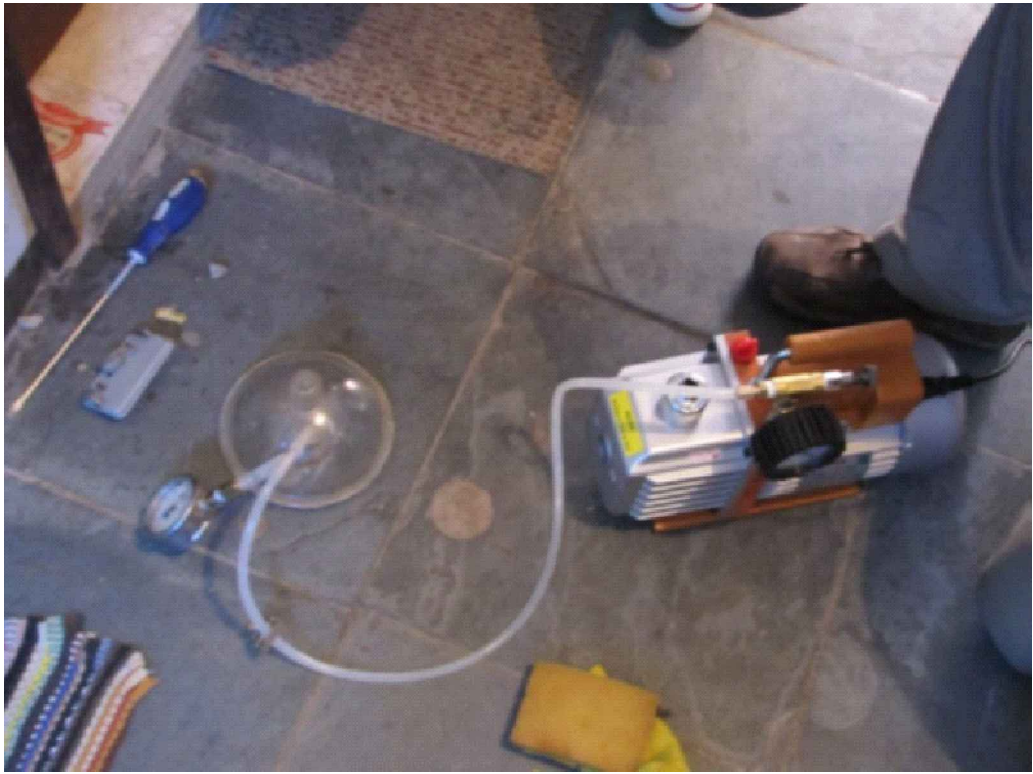
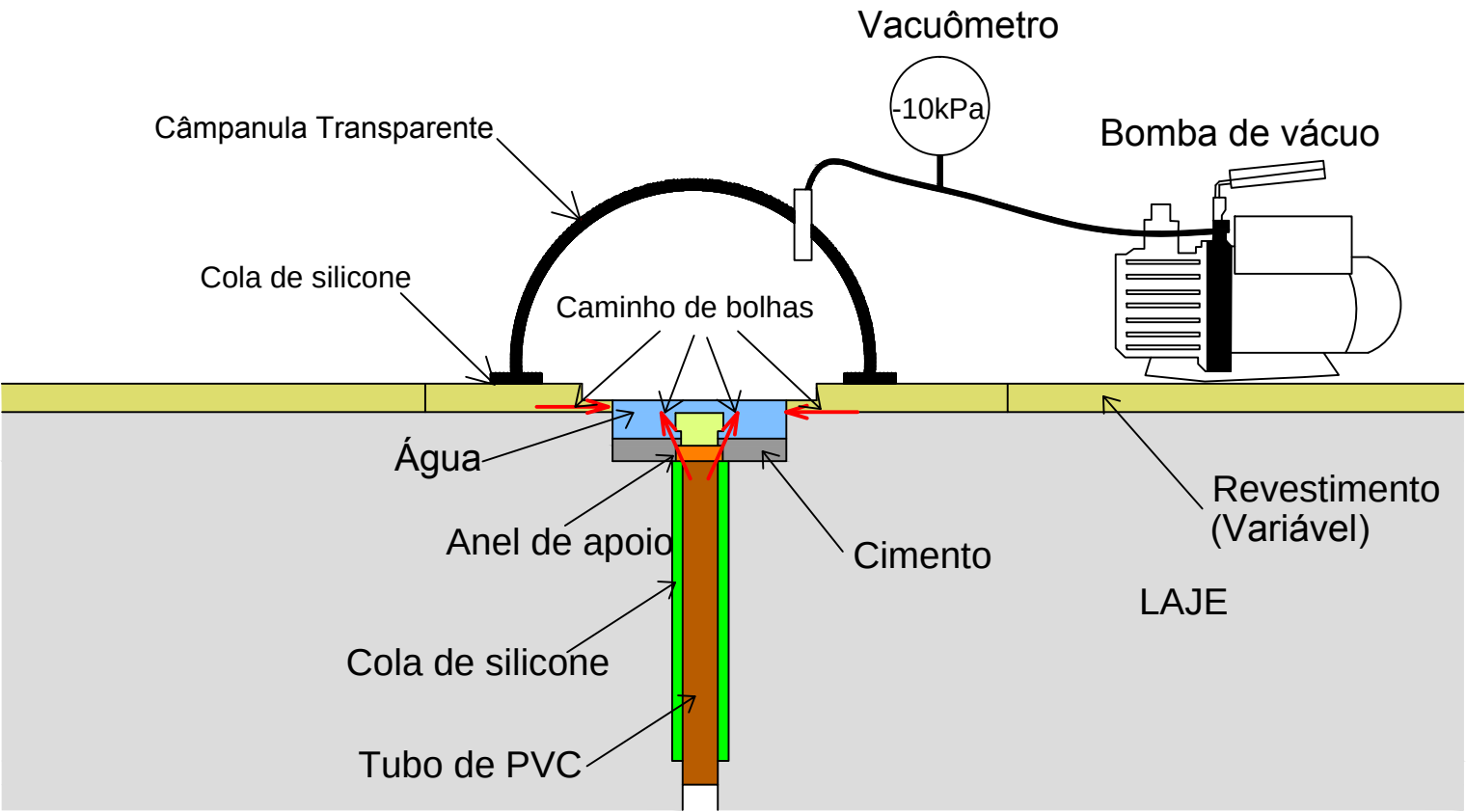


LEGENDA		OBSERVAÇÕES	ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS		CETAE Lab. de Resíduos e Áreas Contaminadas		Universidade de São Paulo Superintendência do Espaço Físico da USP			
Duto de captação de ar atmosférico	Poços amostradores permanentes do tipo sub-laje		Planta do projeto estrutural fornecida pela Superintendência do Espaço Físico da USP - SEF/USP		DATA: Maio/2013		Sistema de monitoramento da Portaria P-3 (Áreas Fechadas)			
Duto de extração de ar contaminado					ESCALA: Sem Escala					
Furo na viga baldrame Ø5,1cm (2 polegadas)					ELABORAÇÃO: Caluan R. Capozzoli		RESPONSÁVEL TÉCNICO: Scandar G. Ignatius		RT Nº : 130991-205	
Furo na laje para tomada de ar Ø5,1cm (2 polegadas)									DESENHO Nº : A30	
Furo na laje para extração de ar Ø5,1cm (2 polegadas)										
Caixa de brita para captação de ar atmosférico										



Procedimento para teste de estanqueidade

- 1- Instalar a campânula transparente de plástico no piso com cola de silicone
- 2- Colocar um pouco de água onde indicado no desenho para possibilitar observação de bolhas de ar
- 3- Aplicar sucção de cerca de 10kPa por 2 minutos



**ANEXO B - DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA EM TUBO RANHURADO
SUBMETIDO A FLUXO DE AR INTERNO - ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

RELATÓRIO TÉCNICO

133 254-205

02 de julho de 2013

IPT - CTGeo

Determinação da perda de carga em tubo ranhurado submetido a fluxo de ar interno.

Cliente:

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT
Centro de Tecnologias Geoambientais - CTGeo
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

UNIDADE RESPONSÁVEL

Centro Tecnológico do Ambiente Construído - CETAC
Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios - LCA

RESUMO

Este relatório técnico apresenta os resultados dos estudos desenvolvidos para a determinação da perda de carga e da taxa de contribuição para a vazão ao longo do comprimento de trecho reto, em tubos ranhurados de PVC, diâmetro interno aproximado de 50 mm, submetidos ao fluxo de ar em seu interior próximo das condições normais de pressão e temperatura.

Em função das características de infiltração de ar pelas ranhuras existentes ao longo do comprimento das paredes do tubo, os procedimentos convencionais de determinação da perda de carga não se aplicam, sendo desenvolvido um procedimento inovador para esta determinação.

Foram executados ensaios em ambiente com controle de temperatura, a partir da variação da velocidade interna e respectiva vazão, monitoramento da pressão interna em duas seções do tubo e consequente determinação da perda de carga em função da vazão. Em paralelo, foi obtida a taxa de contribuição das ranhuras quanto à vazão total mensurada no interior do tubo.

Os dados serão empregados em relatório próprio emitido pelo IPT-CTGeo, na análise da capacidade de captação e condução de ar contendo gases contaminantes, oriundos do subsolo da área ocupada pelo Campus Zona Leste da Universidade de São Paulo – USP.

Palavras Chaves: perda de carga; tubo ranhurado; USP Zona Leste.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E DA BANCADA DE ENSAIO.....	2
3	EQUIPAMENTOS EMPREGADOS	3
4	PROCEDIMENTO DE ENSAIO.....	4
5	RESULTADOS	6
5.1	Perfil das velocidades na seção transversal e coeficiente de ajuste da velocidade média em função da vazão	6
5.2	Determinação da perda de carga linear em função da vazão	7
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
	EQUIPE TÉCNICA	12
	Anexo A – Fotos da amostra e da bancada de ensaio (3 páginas, incluindo a folha de rosto)	

RELATÓRIO TÉCNICO Nº 133 254-205

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA EM TUBO RANHURADO

SUBMETIDO A FLUXO DE AR INTERNO

1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os estudos efetuados com vistas à determinação da perda de carga, em trecho retilíneo de tubo ranhurado de PVC, diâmetro interno de 50 mm, submetido ao fluxo variável de ar em ambiente com temperatura controlada, próximo das condições normais de pressão e temperatura.

Em função das características de infiltração de ar pelas ranhuras existentes ao longo do comprimento das paredes do tubo, os procedimentos convencionais de determinação da perda de carga não se aplicam, sendo desenvolvido um procedimento inovador para esta determinação.

Num trecho retilíneo de tubo, em duas seções transversais distintas próximas aos bocais de entrada e saída do tubo, distantes aproximadamente 3,6 m entre si, foram medidos em laboratório:

- o gradiente de velocidades na seção transversal do tubo (na tomada de saída);
- as velocidades máximas, obtidas no centro geométrico da seção transversal do tubo (em ambas as tomadas);
- as pressões internas (em ambas as tomadas);
- as temperaturas e os teores de umidade relativa do ar no ambiente do laboratório.

Com base nos dados obtidos, pode-se calcular o coeficiente de ajuste entre as velocidades média e máxima na seção transversal, as vazões de contribuição ao longo do tubo ranhurado, as vazões totais e a perda de carga em função das vazões.

Os resultados do ensaio serão considerados em relatório técnico a ser oportunamente emitido pelo IPT-CTGeo, analisando as redes de fluxo de ar contaminado com gases, oriundo de aterros sitos na área ocupada pelo Campus Zona Leste da USP, nesta Capital.

2 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E DA BANCADA DE ENSAIO

O item alvo do ensaio é um segmento de tubo ranhurado, em PVC, geralmente empregado para drenagem/filtração de poço artesiano, tipo “ponta-e-bolsa”, com rosca para acoplamento, comprimento aproximado de 1,07 m, diâmetro interno aproximado de 50 mm, contendo ao longo de seu comprimento três setores de ranhuras radiais, equidistantes, espaçadas entre si em aproximadamente 7 mm, com abertura individual aproximada de 0,5 mm x 40 mm (Fotos 1 e 2).

O corpo-de-prova constitui-se de uma sequencia de tubos montados por rosqueamento de três tubos inteiros e de dois segmentos menores, um em cada extremidade, medindo aproximadamente 0,52 m de comprimento, totalizando aproximadamente 4,13 m de comprimento.

Nos pontos de interesse em relação à seção transversal dos tubos (tomadas de entrada e saída), distantes aproximadamente 3,6 m entre si, foram montados pontos de monitoramento:

- de pressão: quatro tomadas de pressão em cada seção transversal, constituídas por furos e mangueiras plásticas acopladas à parede do tubo, uniformemente distribuídas em relação ao perímetro do mesmo, posicionadas rente às paredes internas e interligadas através de conexões visando a equalização da pressão (Fotos 3 e 4);
- de velocidade: uma tomada de velocidade em cada seção transversal constituída por furo e cânula inserida ortogonalmente à seção transversal do tubo, propiciando o acoplamento e correto alinhamento/posicionamento de anemômetro de fio quente (Fotos 5 e 6).

O ambiente de ensaio possui controle de temperatura e monitoramento do teor de umidade relativa do ar, obtidos através de sondas termo-higroscópicas.

Os tubos foram posicionados/encaixados em cavaletes formados por chapas delgadas de compensado de madeira, perfuradas, de maneira a afastar a parede externa dos tubos de quaisquer superfícies de contato que poderiam vir a interferir com a entrada de ar ao longo da superfície dos tubos, através das ranhuras radiais (Foto 7).

3 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

Na condução do ensaio, foram empregados os seguintes equipamentos:

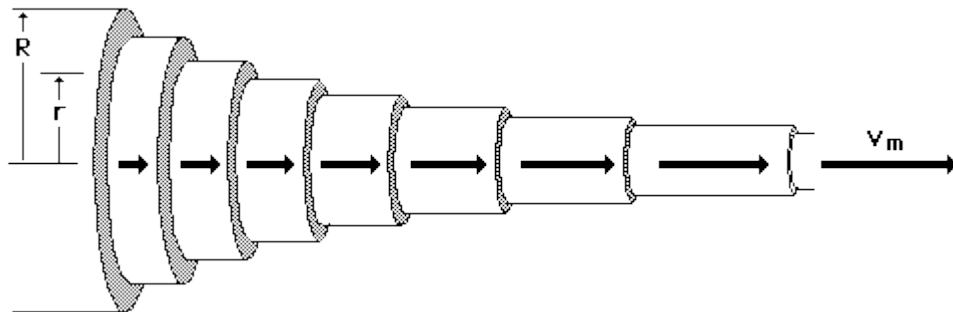
- Fonte de tensão estabilizada;
Modelo TC 20-03; Fabricante TECTROL;
Capacidade de 0 a 20V em corrente contínua;
Patrimônio IPT 005198.
- Paquímetro analógico;
Resolução 0,02 mm; curso de 150 mm;
Marca Mitutoyo;
Certificado de calibração 122963-101 - válido até 08/03/2015;
Identificação IPT-CETAC-LCSC PAQ-15;
- Trena metálica
Resolução 1 mm; comprimento 3.000 mm;
Marca Stanley;
Patrimônio s/nº.
- Sonda termo-higroscópica;
Marca ALMEMO;
Patrimônio s/nº.
- Data-logger;
Marca ALMEMO – Modelo 2890-9 - Serial H05070065;
Patrimônio s/nº.

- Anemômetro de fio-quente e respectiva fonte;
Marca ALNOR - Modelo 8630 - serial 579;
Capacidade 0- 2,5 m/s; resolução 0,1 m/s (saídas em mV);
Patrimônio IPT 15152.
- Anemômetro de fio-quente e respectiva fonte;
Marca ALNOR - Modelo 8630 - serial 578;
Capacidade 0- 2,5 m/s; resolução 0,1 m/s (saídas em mV);
Patrimônio IPT 06055.
- Ventilador 120 mm de diâmetro;
Corrente contínua – aproximadamente 12 V
Marca CoolerMaster;
Patrimônio s/nº.
- Sonda de pressão;
Capacidade 0- 1.250 Pa; resolução 0,1 Pa (saídas em mV);
Marca ALMEMO – Serial 01090453
Patrimônio s/nº.

4 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O ambiente da sala de ensaio foi previamente climatizado, com temperatura e variação estabelecida em $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$, evitando-se ao máximo a incidência de fluxos de ar advindos do sistema de condicionamento de ar sobre a amostra. Os valores de temperatura e do teor de umidade relativa foram medidos ao início e ao final de cada sequência de ensaio através do emprego de sondas apropriadas.

Inicialmente, foi promovido o mapeamento das velocidades na seção transversal do tubo (tomada de saída), através da inserção gradual e orientada do anemômetro de fio quente, em seis medidas de raio, considerando-se figuras geométricas na forma de anéis, a exemplo do diagrama da Figura 1. As respectivas vazões foram determinadas considerando-se a velocidade do fluxo de ar em cada anel multiplicada pela área do mesmo. A soma das vazões nos sucessivos anéis compõe a vazão total que passa pela tomada de saída.



R = raio interno; r = raio médio do anel considerado; V_m = velocidade máxima.

Figura 1 – Exemplo de diagrama do perfil de velocidade em tubos

Fonte: <http://www.bertolo.pro.br/Biofisica/Fluidos/pfric.htm>

Foram obtidas as velocidades nos anéis em duas condições de fluxo: uma delas aproximada de um provável fluxo laminar e outra próxima de um provável fluxo turbulento. Com o mapeamento das velocidades e o respectivo cálculo das vazões nos anéis pode-se determinar os coeficientes de ajuste das velocidades médias em função das vazões, obtida considerando a velocidade máxima no centro geométrico da seção transversal do tubo. Os coeficientes de ajuste da velocidade média no intervalo de medições entre as duas condições de fluxo (laminar e turbulento) foram determinados através de interpolação linear.

O ventilador foi instalado na extremidade de saída do trecho de tubos, montado de maneira a propiciar depressão (efeito de sucção) dentro do tubo. O perímetro do tubo no trecho entre o ventilador e a tomada de saída foi selado com plástico tipo “filme de PVC”. O perímetro do tubo no trecho de entrada, entre a tomada de pressão e a extremidade do tubo, foi selado com o mesmo material plástico. O referido trecho foi prolongado com um segmento de tubo liso, de maneira a minimizar-se o efeito de bocal na entrada de ar.

Foi promovido o *setup* da fonte estabilizadora de corrente contínua, de maneira a variar-se a tensão (ddp) oferecida ao ventilador, controlando sua rotação e respectiva vazão.

Para cada *setup* de tensão (ddp), entre 3 V e 14 V, foram medidas:

- a tensão, em mV, das saídas dos anemômetros de fio-quente, posteriormente convertidas em velocidade (m/s) conforme cada faixa de aquisição/calibração, consideradas no centro da seção transversal do tubo (tomadas de saída e entrada);
- a diferença de pressão entre as tomadas de saída e entrada (Pa).

Os dados foram lançados em planilha eletrônica de maneira a serem feitas as transformações, ajustes e correções obtendo-se, entre outros, o gráfico da perda de carga linear (Pa/m) em função da vazão (m^3/h).

5 RESULTADOS

5.1 Perfil das velocidades na seção transversal e coeficiente de ajuste da velocidade média em função da vazão

Os dados de contorno encontram-se na Tabela 1 e os resultados das duas determinações dos coeficientes de ajuste para a velocidade média em função da vazão, em provável regime laminar (*setup* em ddp de 6 V) e turbulento (*setup* em ddp de 14 V), respectivamente, encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 - Dados de contorno

Data de ensaio:	03/05/2013
Horário:	Início: 16h15min
	Término: 16h55min
Condição das extremidades:	Entrada: Aberta
	Saída: Aberta
Distância das tomadas de pressão [m]:	3,60
Distância das tomadas de velocidade [m]:	3,60
Tomada de velocidade:	Variável ao longo da seção transversal
Temperaturas [°C] ambiente:	Início: 18,3
	Término: 18,7
Umidade relativa [%] ambiente:	Início: 57,0
	Término: 56,7
Tempo médio de estabilização [minutos]:	1
Envelopamento total do tubo:	Não

Tabela 2 – Coeficiente de ajuste para a velocidade média em função da vazão - provável regime laminar (*setup* em ddp de 6 V)

Raio [mm]	Perfil Velocidade V [m/s]	Área influência [mm ²]	Vazão [m ³ /h]	Veloc. Média [m/s]	Coeficiente de ajuste para a velocidade média
0	-	-	-	1,28	0,78
2,5	1,16	706,86	2,95		
7,5	1,22	549,78	2,41		
12,5	1,37	392,70	1,94		
17,5	1,50	235,62	1,27		
22,5	1,56	78,54	0,44		
Totais		1.963,50	9,01		

Tabela 3 – Coeficiente de ajuste para a velocidade média em função da vazão - provável regime turbulento (*setup* em ddp de 14 V)

Raio [mm]	Perfil Velocidade V [m/s]	Área influência [mm ²]	Vazão [m ³ /h]	Veloc. Média [m/s]	Coeficiente de ajuste para a velocidade média
0	-	-	-	2,70	0,93
2,5	2,65	706,86	6,74		
7,5	2,69	549,78	5,33		
12,5	2,72	392,70	3,84		
17,5	2,79	235,62	2,36		
22,5	2,85	78,54	0,81		
Totais		1.963,50	19,09		

5.2 Determinação da perda de carga linear em função da vazão

Os dados de contorno encontram-se na Tabela 4 e os resultados das vazões encontram-se nas Tabelas 5 e 6. A Tabela 7 congrega os resultados das perdas de carga (no trecho de 3,6 m e por metro linear) e a taxa de infiltração, ao longo das ranhuras distribuídas na extensão do tubo, por metro linear.

Tabela 4 - Dados de contorno

Data de ensaio:		06/05/2013
Horário:	Início:	15h15min
	Término:	15h45min
Condição das extremidades:	Entrada:	Aberta
	Saída:	Aberta
Distância das tomadas de pressão [m]:		3,60
Distância das tomadas de velocidade [m]:		3,60
Tomada de velocidade:		Centro da seção transversal
Temperaturas [°C] ambiente:	Início:	18,6
	Término:	18,4
Umidade relativa [%] ambiente:	Início:	39,5
	Término:	39,2
Tempo médio de estabilização [minutos]:		1
Envelopamento total/parcial do tubo:		Não

Tabela 5 – Vazão na tomada de saída

Tensão (ddp) [V]	Dados para velocidade máxima V [m/s]	Coefficiente para a velocidade média	Vazão na tomada de saída [m ³ /h]
0	-	-	-
3	0,62	0,72	3,15
4	0,94	0,74	4,94
5	1,31	0,76	7,06
6	1,64	0,78	9,05
7	1,92	0,80	10,86
8	2,16	0,82	12,50
9	2,38	0,84	14,13
10	2,56	0,86	15,59
11	2,67	0,88	16,62
12	2,72	0,90	17,28
13	2,81	0,92	18,26
14	2,90	0,93	19,08
0	-	-	-

Tabela 6 – Vazão na tomada de entrada

Tensão (ddp) [V]	Dados para velocidade máxima V [m/s]	Coefficiente para a velocidade média	Vazão na tomada de entrada [m³/h]
0	-	-	-
3	0,15	0,60	0,62
4	0,18	0,60	0,75
5	0,20	0,60	0,86
6	0,22	0,60	0,94
7	0,23	0,60	0,97
8	0,25	0,60	1,04
9	0,25	0,60	1,05
10	0,26	0,60	1,10
11	0,26	0,60	1,10
12	0,26	0,60	1,11
13	0,27	0,60	1,13
14	0,27	0,60	1,14
0	-	-	-

Tabela 7 – Perdas de carga no trecho de 3,6 m, por metro linear e taxa de infiltração ao longo da extensão do perímetro do tubo, por metro linear

Tensão (ddp) [V]	Perda de carga		Taxa de infiltração [(m³/h)/m]
	No trecho [Pa]	Linear [Pa/m]	
0	-	-	-
3	0,6	0,17	0,70
4	1,1	0,31	1,16
5	1,7	0,47	1,72
6	2,6	0,72	2,25
7	3,4	0,94	2,75
8	4,4	1,22	3,18
9	5,4	1,50	3,63
10	6,5	1,81	4,02
11	7,5	2,08	4,31
12	8,5	2,36	4,49
13	9,6	2,67	4,76
14	10,5	2,92	4,98
0	-	-	-

Em função dos dados obtidos, pode-se determinar a equação polinomial de ajuste para a função da perda de carga e respectivo coeficiente de correlação (R^2).

$$y = 3,22 \cdot 10^{-4} x^3 - 1,40 \cdot 10^{-3} x^2 + 6,26 \cdot 10^{-2} x$$

$$R^2 = 0,999$$

A Figura 2 apresenta a função da curva de perda de carga linear (por metro de tubo) em relação à vazão na tomada de saída bem como os dados obtidos no ensaio.

Oportunamente, outros gráficos e respectivas expressões podem ser facilmente obtidos a partir dos dados contidos nas tabelas.

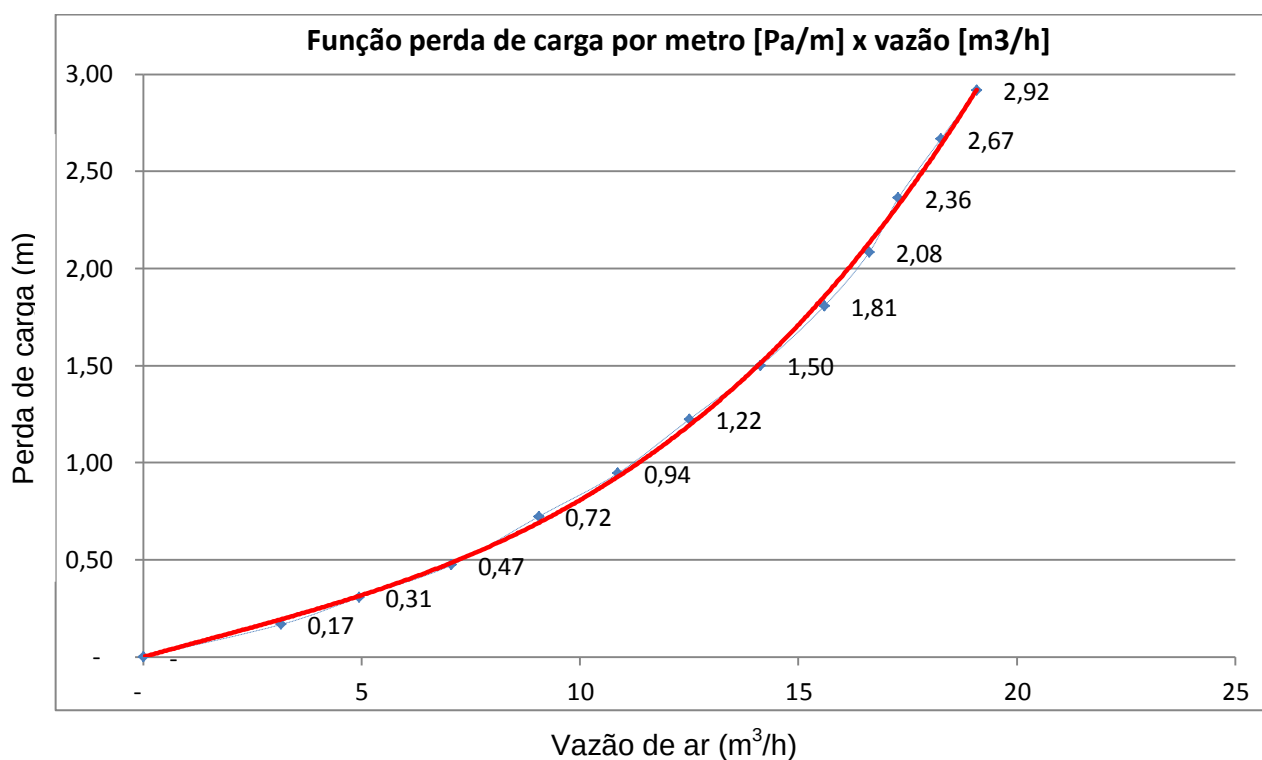


Figura 2 – Função perda de carga linear (por metro de tubo) em relação à vazão na tomada de saída e dados obtidos no ensaio

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme proposto inicialmente, pôde-se obter os dados de perda de carga em função das velocidades máxima, média e da vazão determinados em dois trechos de tubos, distantes entre si em 3,6 m, sob determinadas condições de contorno. Tais dados servirão de subsídio para o delineamento do sistema de drenagem do ar contaminado com gases oriundos do subsolo da área em questão.

Em paralelo, obteve-se a taxa de infiltração pelas ranhuras dispostas ao longo do comprimento do tubo em função das velocidades máxima e média, considerando-se as mesmas condições de contorno inicialmente propostas. Tais dados podem servir de subsídio na determinação das taxas de coleta do ar contaminado, identificando os eventuais gargalos no dimensionamento do sistema de coleta e disposição dos contaminantes.

Cabe eventualmente, numa continuidade dos trabalhos, mensurar as vazões para condições de velocidade superiores às aqui determinadas, infelizmente limitadas em função dos equipamentos disponíveis.

São Paulo, 02 de julho de 2013.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Conforto Ambiental e
Sustentabilidade dos Edifícios



Engº Civil Mestre Fúlvio Berçot Miranda
Pesquisador
CREA nº 0601955161 – RE nº 08614.0

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Conforto Ambiental e
Sustentabilidade dos Edifícios



Física Dra. Maria Akutsu
Responsável pelo Laboratório
RE nº 2644.3

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Engº Mecânico Dr. Fúlvio Vittorino
Diretor do Centro
CREA 0601777633 - RE 8261.0

EQUIPE TÉCNICA

Centro Tecnológico do Ambiente Construído – CETAC

Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios – LCA

Fúlvio Vittorino – Engenheiro Mecânico, Doutor

Maria Akutsu – Física, Doutora

Marcelo de Mello Aquilino – Físico, Mestre

Fúlvio Berçot Miranda – Engenheiro Civil, Mestre

Ângelo de Freitas Duarte Bezerra – Técnico de Nível Médio

Apoio Administrativo: Melissa Revoredo Braga – Secretária

ANEXO A

Fotos da amostra e da bancada de ensaio
(03 páginas, incluindo folha de rosto)



Foto 1: Vista das extremidades dos tubos ranhurados, tipo ponta-e-bolsa, com acoplamento por rosca, diâmetro interno aproximado de 50 mm.

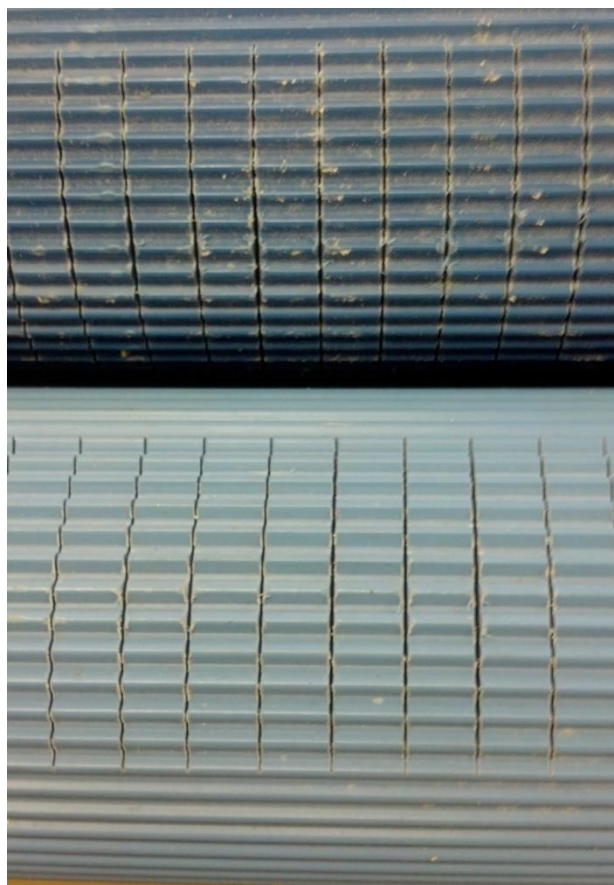


Foto 2: Detalhe das ranhuras nos tubos; dimensão aproximada de 0,5 mm x 40 mm; espaçamento aproximado de 7 mm.



Foto 3: Detalhe dos quatro pontos de tomada de pressão por seção transversal.



Foto 4: Idem anterior – detalhe da equalização das tomadas de pressão.



Foto 5: Vista da cânula para inserção do anemômetro de fio quente.



Foto 6: Idem anterior – com o anemômetro inserido e alinhado.



Foto 7: Vista geral da bancada de ensaio