

Estabilização De Recalques De Um Prédio Histórico Na Cidade De Porto Alegre/Rs - Brasil Por Geoenrijecimento

Alessandro Cirone

Engenheiro Civil, Engegraut, Rio de Janeiro, Brasil, alessandro@engegraut.com.br

Joaquim Rodrigues Correia

Engenheiro Civil, Engegraut, Rio de Janeiro, Brasil, joaquim@engegraut.com.br

Marciano Lang Fraga

Engenheiro Civil, MLF Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, marciano@mlfgeotecnia.com.br

Gonçalo de Lima Sonaglio

Engenheiro Civil, MLF Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, goncalo@mlfgeotecnia.com.br

Matheus Pompermayer

Engenheiro Civil, MLF Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, matheus@mlfgeotecnia.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta a solução adotada para interromper antigo processo de recalque em um prédio histórico na cidade de Porto Alegre/RS, avaliando-se os fatores que contribuíram para o fenômeno. Deformações, associadas ao intenso e crônico processo de recalques, presente desde sua construção, no início do século passado, causaram acentuada inclinação do prédio. Com objetivo de se quantificar este comportamento deformativo, instalaram-se 22 pinos de recalque em diferentes locais. Realizou-se tomografia do solo, por imagem, (TSI), possibilitando a obtenção do módulo cisalhante inicial (G_0) do solo, associado com outros parâmetros geotécnicos. A solução para interromper o processo de recalque foi o Geoenrijecimento, técnica específica de melhoramento de argilas moles, que modifica suas características, tornando-a homogênea e com parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos, sem necessitar de escavações ou intervenções invasivas.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de recalques, Monumento histórico, Reforço de fundações, Geoenrijecimento

ABSTRACT: This paper aims to present the solution adopted to interrupt the process of settlement in a historic building in the city of Porto Alegre / RS, evaluating possible factors that contributed to the emergence of pathologies. Deformations, associated with the intense and chronic process of settlement, present since its construction, caused a sharp inclination in the building. In order to analyze the deformative behavior, 22 pins were installed in different locations along the building. Imaging soil tomography (IST) was performed, allowing the obtaining of the shear wave velocity and the initial shear modulus (G_0) of the local soil. The solution to cease the settlement process was CPR Grouting, a specific technique for improving soft clays, which modifies the soil characteristics, making it homogeneous and with pre-established geotechnical parameters, without the need for excavation or invasive interventions.

KEYWORDS: Settlement Stabilization, Historic Building, Foundation Restoration, CPR Grouting

1 Introdução

O edifício principal da Fundação “O Pão dos Pobres de Santo Antônio” é um notável conjunto arquitetônico monumental Figura 1, construído no início do século XX, que constitui patrimônio histórico e cultural da cidade de Porto Alegre/RS – Brasil, localizado no bairro Cidade Baixa. A construção possui formato de “U”, com corpo central estreito e alongado. É composto por três pavimentos, além do térreo. Apresenta perceptível e crônico processo de recalque diferencial, induzindo importante inclinação tanto nos elementos verticais como nos horizontais.



Figura 1. Fachada frontal(oeste) do edifício

A estrutura é originalmente de pedra argamassada e vedações em alvenaria de tijolo. O conjunto de trincas e fissuras que apareceram, ao longo de quase 90 anos, em diversas partes do prédio, foram causadas pelo crônico processo de recalque diferencial. Após inspeção realizada, constatou-se que a fundação é do tipo direta, assentada à profundidade de 1,70 m em camada de areia da cor verde azulada; e que seu sistema de fundação é em sapata corrida de concreto, com 25 cm de altura e com cerca de 1,80 m de largura, sobre a qual ergueu-se um sistema escalonado de baldrame, constituído por materiais bastante heterogêneos (pedras, tijolos e argamassa). Esta alvenaria de fundação apresenta cerca de 1 m de largura e 1,15 m de altura.

Constatou-se, também, que à medida que o prédio recalrava, ao longo de décadas, corrigia-se o nível da calçada periférica ao prédio, com novos lançamentos de aterro e pisos. O antigo sistema de drenagem foi encontrado na profundidade de 40 cm, totalmente obstruído por raízes. A Figura 2 ilustra a geometria da fundação original.

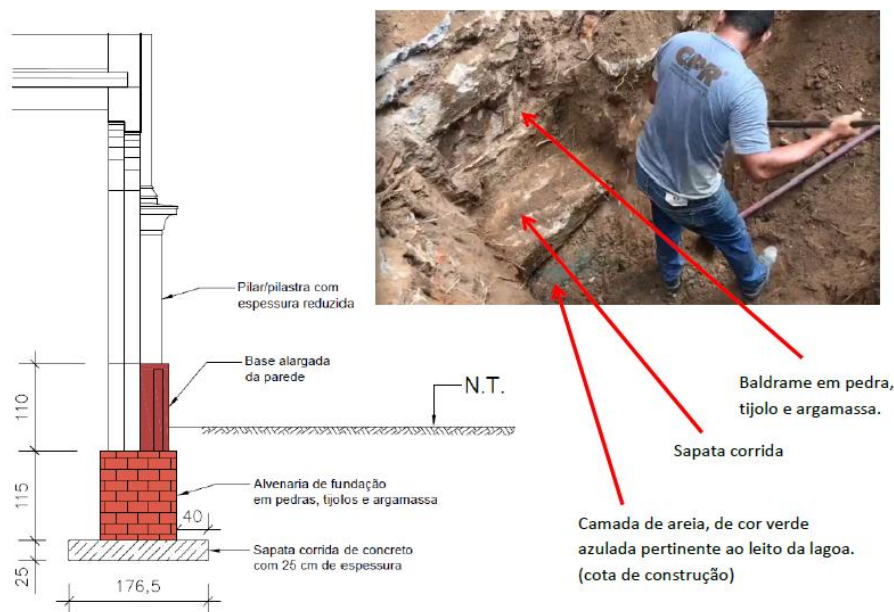


Figura 2. Geometria da fundação

2 Característica do Solo de Fundação

Para identificação e caracterização do solo de fundação, presente na área deste projeto, executou-se 6 perfurações de sondagem de reconhecimento do solo SPT. De acordo com as sondagens, o solo é predominante constituído por camada superficial de aterro, com cerca de 2 m, seguida de extrato de areia fina e média, com pouca argila, variando de pouco a muito compacta, com 2 m de espessura. Abaixo, encontra-se camada de argila siltosa mole, que se estende até profundidades de 8 a 10 m. Após, segue-se camada de areia fina e média, com pouca argila, variando de medianamente compacta a muito compacta até o limite do impenetrável encontrado entre -14,05 a -18,80 m. O nível d'água após 24 horas foi encontrado entre -1,20 e -1,70 m de profundidade.

3 O Processo Deformativo Imposto Desde Sua Construção

Não há informações sobre o início do processo de recalques na edificação. A presença de sintomas, em suas paredes e estrutura fez, 3 meses antes do início da intervenção para modificação das características do solo, desencadear campanha de monitoramento de recalques, com um plano de instrumentação com base em 22 pinos instalados em diferentes “pilastras” do edifício. Monitorando-se os recalques dos pilares, constatou-se processo de deformação crescente, com velocidades na faixa de 10 a 20 $\mu\text{m}/\text{dia}$, Figura 8.

Experiências nacionais – como no Palácio do Catete, no Rio de Janeiro – evidenciam que deformações na faixa de 5 a 30 mm causam abertura de fissuras e desaprumo em paredes. Por outro lado, velocidades de recalques bem pequenas, de apenas 5 $\mu\text{m}/\text{dia}$, em um processo de décadas, efetivamente acaba por comprometer a construção. O edifício desenvolveu severo processo de recalque diferencial, em direção às fachadas leste e sul, inclinando-se em duas direções. Consequentemente, surgiram trincas, que danificaram o prédio, ameaçando seu desmembramento no lado sul, razão pela qual executou, anos atrás, duas juntas de dilatação, simétricas, que orientaram o processo deformativo, Figura 3. A lateral sul da edificação inclinou 60 cm para trás e 5 cm para o lado, desmembrando-se do corpo principal do edifício, identificando-se na junta de dilatação pertinente ①.

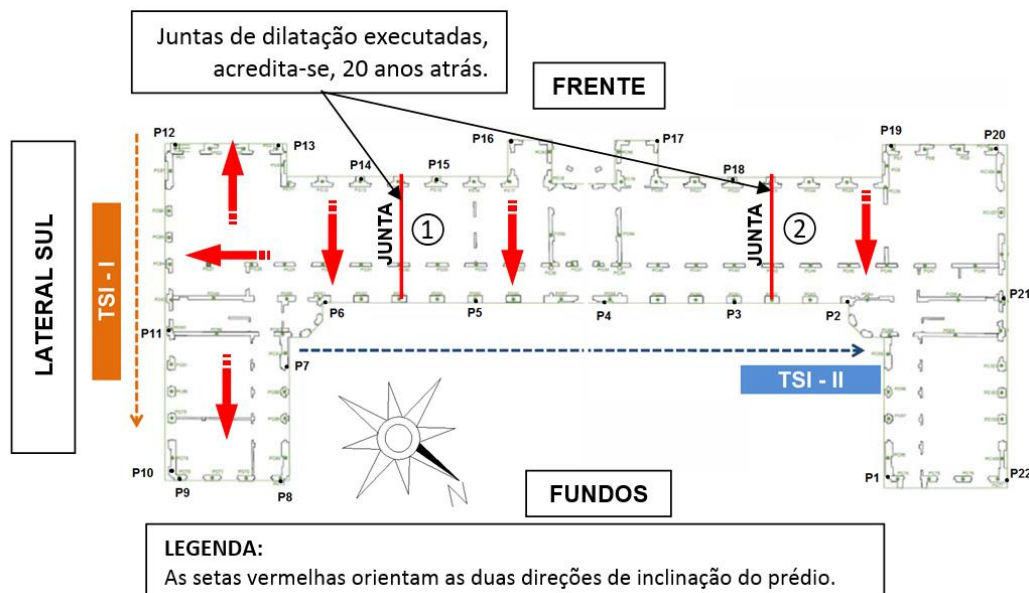


Figura 3. Vista em planta da localização das juntas de dilatação, e a direção do processo deformativo e localização das TSI e pinos de recalque.

A fachada norte inclinou 35 cm para trás e não apresentou movimentação lateral na junta de dilatação ② próxima. As trincas e fissuras têm formato e extensão recorrentes em processos de recalques em edificações, muitas delas maquiadas com preenchimentos e pinturas, ao longo da existência da edificação. Os pavimentos nos andares, apresentam inclinação para os fundos da edificação. O pavimento térreo, particularmente no lado sul, com recalque de 60 cm, necessitou de alteamento, tanto interna quanto externamente, o que exacerbou o crônico processo de recalque, devido ao aumento da carga sobre o solo mole abaixo.

4 Identificando-se as Causas

Como é de praxe na engenharia geotécnica, vários fatores podem contribuir para o processo de recalque diferencial existente na quase centenária edificação.

Considerando-se a condição do solo de fundação, a modificação sistemática da ocupação interna e o desenvolvimento urbano ao redor da edificação, que foi substancial, pode-se afirmar o seguinte:

- A convergência das duas avenidas, junto à edificação, associa considerável nível de carga adicional e vibrações no pavimento, com atuação nas camadas de solo mais superficiais e, conseqüentemente, no sistema de fundação direta.
- A camada de argila mole, embora pré-adensada pelo carregamento centenário, amplifica a intensidade das vibrações, por ressonância.
- Devido ao processo contínuo de vibrações, a camada arenosa, sob o aterro, com cerca de 3 metros de espessura, sofre processo de acomodação, impondo recalques diferenciais motivados por cargas diferenciais da edificação.
- Ao longo de quase 100 anos, certamente, houve variação das cargas acidentais atuantes na edificação e/ou modificação no uso da edificação, impondo um histórico de carregamento diferenciado.
- A dinâmica do nível freático, em função de sua flutuação e, também, motivado por novas obras vizinhas, afeta o aterro e a camada arenosa. A própria ação de precipitações e a grande permeabilidade do aterro e da camada de areia impõe gradientes diferenciais e prejudiciais ao sistema de fundação existente.

5 O Controle das Deformações

Com o objetivo de se quantificar o comportamento deformativo crônico, instalou-se pinos para monitoramento do processo de recalque, conforme Figura 3. Os pinos foram instalados nas "pilastras" externas da edificação. Cada um dos pinos é responsável por indicar o comportamento deformativo dos pilares mais próximos. As duas juntas de dilatação que cortam o prédio integralmente, formam três corpos estruturais independentes, que se movem e deformam isoladamente, embora o conjunto de sua fundação ainda seja solidário, sofrendo alguma torção. Por esta razão, esperava-se que o perfil de recalques fosse descontínuo com a presença das juntas.

6 Sondagens Tomográficas do Solo com Imagem

A tomografia do solo por imagem (TSI) é uma sondagem não invasiva e não destrutiva, com capacidade de avaliar grandes volumes de solo de maneira rápida e segura (KEAREY et al., 2009). Baseia-se em ondas superficiais, que se propagam no solo por meio de diferentes frequências. Cada camada é identificada com base no comportamento elástico do solo às pequenas deformações, relacionando-o a velocidade de fase, característico deste tipo de sondagem, com o seu módulo cisalhante (G_0) (ABGE, 2018).

Realizaram-se quatro tomografias, sendo a locação apresentada na Figura 3. A primeira (TSI – I) foi realizada junto à fachada oeste (frontal) do prédio. A segunda (TSI – II), na fachada sul, a terceira (TSI – III), cortando a edificação, próximo ao eixo do edifício e a última (TSI – IV), ao longo do pátio interno, longitudinalmente. As análises contaram com o auxílio da Tabela 1, com base na experiência da empresa executora, que faz relação da Vs, com parâmetros geotécnicos. A região frontal (oeste) do edifício, apresenta camada de solo mole entre 4 e 9 m de profundidade, com resistência não drenada de 12,5 a 25 kPa, abaixo de material arenoso compacto. Identificou-se bolsão de solo muito mole, com resistência extremamente baixa (<12,5 kPa). Este bolsão encontra-se localizado na região lateral do prédio, onde o processo de recalque encontrava-se mais intenso. O solo firme está disponível a partir dos 9 m de profundidade.

Na TSI – I - Figura 4, identificou-se solo extremamente mole próximo à região leste do empreendimento, com resistência menor que 12,5 kPa, sinalizando praticamente ausência de capacidade de carga, o que justifica o processo deformativo quase que centenário, com recalques da ordem de 60 cm. Detectou-se, também, aterro superficial (até 2 m de profundidade). Nota-se, também, que a camada de solo mole encontra-se presente, de forma constante, entre as profundidades de 4 a 7 m. O solo rijo está localizado a partir de 9 m de profundidade.

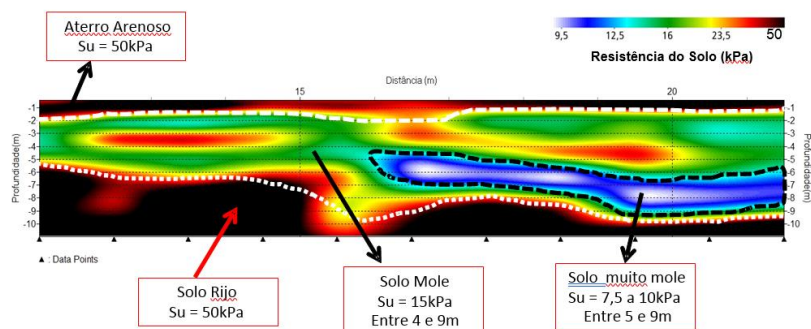


Figura 4. TSI – I

No solo de fundação, pertinente à fachada dos fundos, executou-se a TSI-II - Figura 5, verificando-se presença de camada argilosa muito mole, entre 2 e 6m de profundidade. Ou seja, está presente em toda a extensão da área estudada, onde a estrutura sofreu maior processo de recalque. Identificou-se que o aterro apresenta resistência cisalhante relativamente baixa, possivelmente pelo grau de compactação do solo insuficiente.

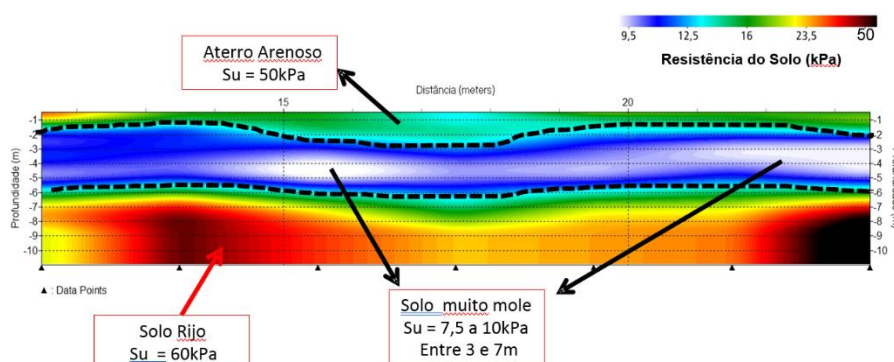


Figura 5. TSI – II

Tabela 1. Parâmetros do solo em função de Vs

Consistência	Descrição	Parâmetros geotécnicos				
		V _s (m/s)	SPT	G ₀ (MPa)	S _u (kPa)	σ ₀ (kPa)
Rija	Depósitos profundos, pré-adensados ou de antiga sedimentação. Solo coluvionar.	250	11	100	170	300
		a	a	a	a	a
Média	Depósitos argilosos profundos intercalados com camadas ou lentes arenosas.	360	25	200	250	450
		160	6	40	60	100
		a	a	a	a	a
Mole	Solos sedimentares argilosos quaternários subconsolidados. Argilas plásticas.	250	10	100	170	300
		100	3	15	20	50
		a	a	a	a	a
Muito mole	Depósitos argilosos moles com elevado índice de plasticidade (IP>40), alto teor de umidade e presença de matéria orgânica	160	5	40	60	100
		< 100	0 – 2	< 15	< 20	< 50

Nota : V_s = velocidade da onda cisalhante; SPT = índice de resistência à penetração; G₀ = módulo de cisalhamento a pequenas deformações;
s_u = resistência não drenada; σ₀ = tensão admissível de referência;

7 Análise de Possíveis Soluções Para Interromper o Crônico Processo de Recalque

Fundações de edifícios históricos, frequentemente, apresentam baixa resistência à compressão ou à flexão, devido a uma argamassa pobre aglomerante empregada e/ou a falta de armaduras. Inicialmente, idealizou-se a solução por meio de elementos verticais, com estacas ou colunas, apoiadas no solo firme e o topo do elemento incorporado na sapata corrida, que levaria uma cinta em concreto armado, de modo a incorporar todo o novo sistema, evitando recalques diferenciais. O conceito é o da transferência das cargas da edificação para camada de solo resistente. Ou seja, modificava-se completamente o sistema de fundação da centenária edificação.

A execução de Jet Grouting (BURKE E YOSHIDA, 2013 e ABEF, 2016), ocasionaria recalques denominados “tecnológicos”, inerentes à sua execução, pois o jato de alta pressão deslocaria violentamente o solo, provocando deformações irreversíveis, danificando ainda mais a estrutura, fragilizando-a. Em resumo, abandonou-se a solução com elementos verticais ou com fundação profunda pois, além de modificar o patrimônio histórico, a intervenção seria extremamente traumática e perigosa.

A solução escolhida foi a baseada no melhoramento e readequação do solo existente à antiga fundação, ou seja, o GEOENRIJECIMENTO, que modifica suas características, interrompendo o processo de recalque, sem necessitar de escavações ou intervenções invasivas, agindo diretamente na raiz do problema, ou seja, nas camadas de solo mole (RODRIGUES, 2018).

Este tipo de intervenção pode caracterizar-se como “não invasiva” considerando-se que o acesso ao solo de fundação, e o posterior melhoramento do solo, é feito com furos de aproximadamente 8cm de diâmetro, sem nenhum prejuízo ao antigo sistema de fundação. O GEOENRIJECIMENTO cria, inicialmente, um ambiente drenante artificial, no solo argiloso, com geodrenos para a seguir, comprimi-lo, consolidá-lo e confiná-lo, via expansão de cavidades, com o bombeamento de bulbos de geogROUT. O resultado é o adensamento do solo, impondo resistência em sua totalidade, além do processo de confinamento, que estabelece níveis calculados de rigidez.

A técnica promove a formação de campos de tensões sob a antiga estrutura, o que exige intenso monitoramento ótico e nivelamento à laser, de modo a preservá-la. A modificação gradual do solo mole para rijo, é verificada através de imagens tomográficas.

8 A Execução do Geoenrijecimento do Solo

Sob cada “pilastra” da edificação, foram feitos pré-furos, com auxílio de ar comprimido, atravessando-se o aterro e a primeira camada arenosa, alcançando-se o solo mole. Estes furos, verticais e inclinados, foram executados à distância de 1 m das “pilastras”, de modo a não atingir a aba das sapatas de fundação.

Com o equipamento de geoenrijecimento em posição, interligado com bomba específica, iniciou-se a formação dos bulbos de geogROUT (argamassa com consistência seca) a aproximadamente 9m de profundidade, com objetivo de comprimir radialmente o solo mole, a partir desta cota, de modo a não criar tensões localizadas nos elementos de fundação acima, chegando-se até cerca de 1m da antiga fundação. O processo de expansão de cavidades é desenvolvido, então, promovendo-se a compressão do solo mole, em direção às camadas arenosas, dissipando-se os excessos de poropressão, eliminando a compressibilidade existente. Este processo estabelece níveis de rigidez e de resistência no solo bem superiores ao necessário, na medida em que confronta-se com o peso da edificação.

Na Figura 6 e na Figura 7 é apresentada tomografia mostrando a condição do solo após a realização do melhoramento, em comparação com a condição inicial da Figura 4 e Figura 5, respectivamente. Percebe-se a imposição de novos parâmetros de resistência e rigidez, adequados à condição atual da edificação.

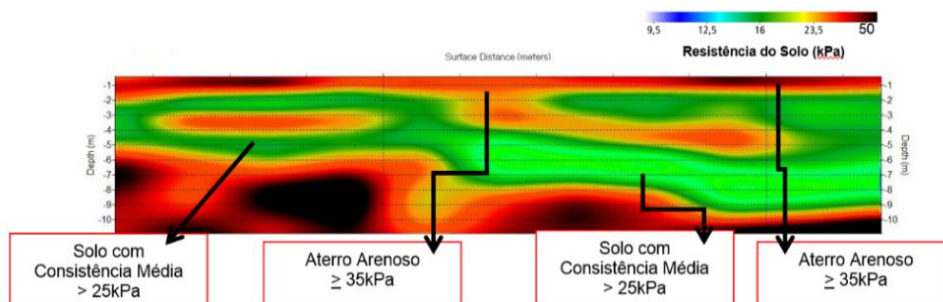


Figura 6. TSI – I após o melhoramento do solo

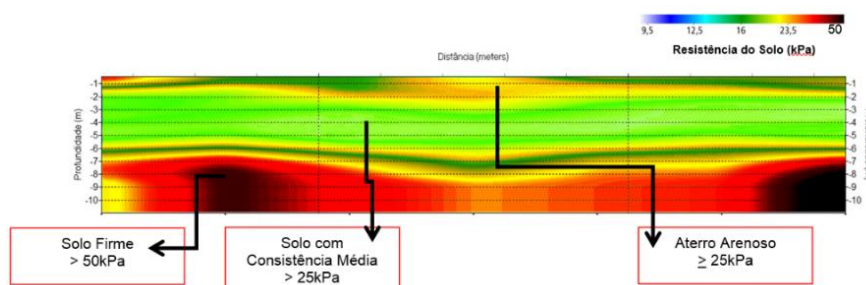


Figura 7. TSI – II após o melhoramento do solo

O volume de cada bulbo de compressão radial do solo variou de acordo com a posição e a resposta da edificação. As pressões de compressão no solo mole situaram-se na faixa de 3 kgf/cm² e, nas camadas mais moles, foram executados bulbos de compressão com diâmetro superior a 1,5m.

Com o melhoramento do solo de fundação, os pinos instalados no local subiram alguns milímetros, indicando que o prédio respondeu ao processo de modificação do solo de fundação, conforme Figura 8

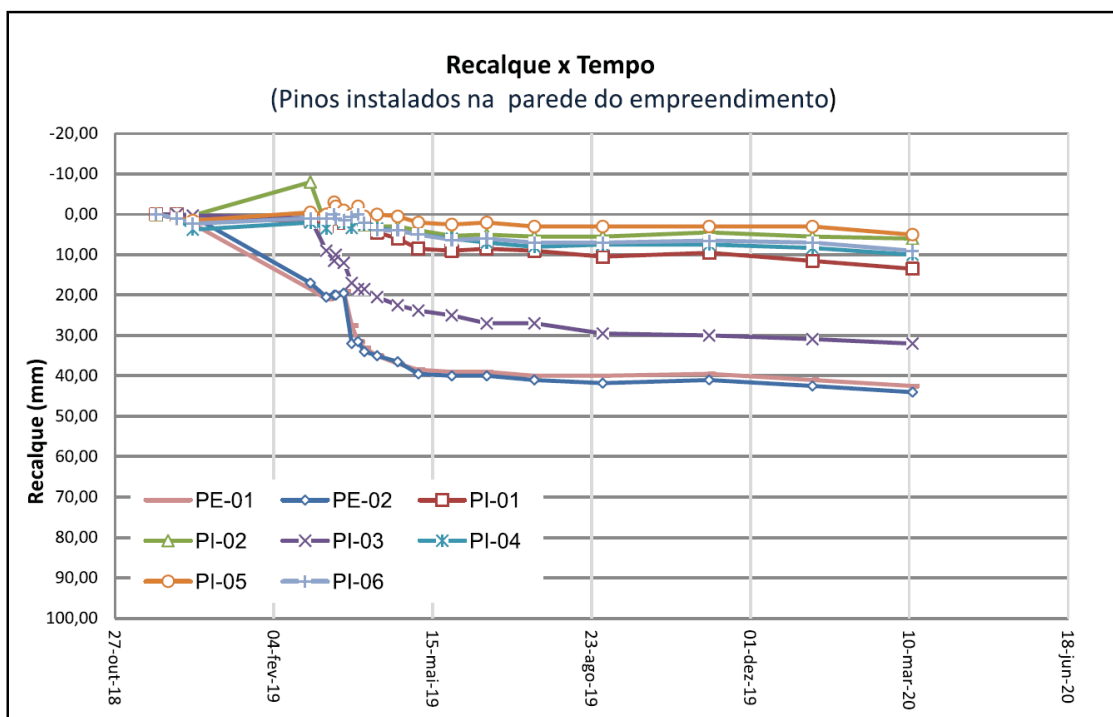


Figura 8. Evolução do recalque no tempo após o Geoenrijecimento

5 Conclusão

O prédio, centenário, sofria de processo de recalque crônico e contínuo que, caso continuasse, com mais dez anos entraria em colapso. A causa geotécnica do processo de recalque era a existência de camada de solo mole e muito mole poucos metros abaixo da sua fundação.

Técnicas tradicionais de fundação, com base em transferência de cargas, ignorando camadas de solos moles, nestes casos, não funcionam, pois, são traumáticas e extremamente perigosas. A técnica de melhoramento de solos, neste caso o GEOENRIJECIMENTO adequado à argilas moles, foi precisa e eficiente, readequando o solo de mole a muito mole à condição de médio a rijo, fazendo com que o crônico e contínuo processo de recalque descontinuasse, preservando a condição do antigo sistema de fundação e a própria estrutura.

Após a conclusão dos serviços, foi identificado um levantamento de estrutura, e com os dados da última leitura realizada, atesta-se uma condição julgada como sequência do pós-melhoramento do solo, ou seja, com níveis de deformação extremamente baixos, decrescentes e, praticamente, imperceptíveis. Os danos no edifício ao longo dos anos foram causados por recalques devido ao adensamento do solo de fundação, que apresenta consistência de mole a muito mole no ensaio SPT, tipicamente entre 4 e 9 m de profundidade. Manifesta-se forte processo de recalque diferencial entre a fachada oeste e leste (frente e fundos, respectivamente) da edificação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação “O Pão dos Pobres” e à empresa STUDIO1 Arquitetura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF). (2016). Manual de Execução de Fundações: Práticas Recomendadas. São Paulo: ABEF.
- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). (2018). Geologia de Engenharia e Ambiental, volume 2: métodos e técnicas. ABGE.
- Burke, G.; Yoshida, H. (2013). Jet grouting. Ground Improvement, 3rd ed.: CRC Press: Taylor & Francis Group, p. 207-258.
- Engegraut. (2019). Melhoramento do solo de fundação do prédio da instituição “O Pão dos Pobres de Santo Antônio” em Porto Alegre-RS. Relatório técnico. Rio de Janeiro
- Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. (2009) Geofísica de exploração. Oficina de textos.
- Rodrigues, J. (2018). Melhoramento do Solo Mole e o Geoenrijecimento. Oficina de textos.
- Hachich, W.; Falconi, F. F.; Saes, J. S.; Frota, R. G. Q.; Niyama, S. (2016). Reforço de fundações. In: Fundações: teoria e prática. 3ª ed. São Paulo: PINI.