

Sumário do relatório de análise das estruturas danificadas do Edf. Sin Fong Garden

26 de Abril de 2013

## Sumário do relatório de análise das estruturas danificadas do Edf. Sin Fong Garden

1. Após a ocorrência do incidente em 10 de Outubro de 2012, veio a DSSOPT solicitar ao Professor Catedrático da Universidade de Hong Kong, Kwang Kuok Hong, e aos Professores Catedráticos Assistentes, Lei Kai Kuong e Sou Kai Leong, para a prestação de assessoria independente e analisar o incidente. Os 3 especialistas concluíram o Relatório de Análise das Danificações na Estrutura do Edf. Sin Fong Garden, em Macau, adiante simplesmente designado por Relatório. Este Relatório realizou a análise nos seguintes aspectos, incluindo a segurança da estrutura e das fundações do Edf. Sin Fong Garden, obra de restauração da estrutura do edifício e causas do rompimento do pilar P9 localizado no piso 2.

2. Este Relatório destina-se a analisar o ponto de situação estético da estrutura do Edf. Sin Fong Garden, os coeficientes de inspecção, a segurança da estrutura e as causas do incidente.

3. Ponto de situação estético da estrutura do Edf. Sin Fong Garden:

3.1 O edifício consiste numa construção de 31 pisos, sendo a sua fundação executada por estacas pré-fabricadas em betão pré-esforçado, sendo a superestrutura em armadura de betão armado, e estrutura de paredes estruturais e paredes centrais.

3.2 O rompimento do pilar P9 de betão armado localizado no piso 2 ocorreu no dia 10 de Outubro de 2012, tendo parte da armadura de aço deformado e projectado para o exterior, encurtando o eixo em cerca de 20mm.

Da sondagem em pormenor realizada no local verificou-se que as componentes no r/c e no piso 1, nomeadamente viga, pilar e parede de tijolo, tiveram diferentes níveis de fissura, contudo não se verificou o rompimento do betão, nem se verificou nas componentes armadura à vista. Além do pilar P9 localizado no piso 2, verificou-se igualmente visíveis danificações no pilar de betão armado P17, assim como fissura no betão na extremidade de base do pilar, e indícios de dilatação do betão na base do pilar P22. E verificou-se diferentes níveis de rompimento do betão armado nos pisos 3 e 4 do pilar P9, junto da viga, aparecimento de fissura na cofragem do betão armado e na parede de alvenaria e tijolo, contudo não se verificou rompimento das componentes transversais, nem início de armadura à vista.

3.4 A estrutura do edifício veio inclinar-se no máximo 1/650 para o lado do edifício vizinho, sem visível inclinação para as demais direcções.

3.5 Em suma, é deplorável a situação do edifício, além do problema verificado no pilar P9 localizado no piso 2, não se verificou problemas nas demais componentes. Pode-se verificar a existência de danificações nos pilares P17 e P22 localizados no

piso 2, que são pilares que suportam essencialmente o edifício. A par disso, é ainda possível verificar na cofragem e vigas dos pisos do estacionamento e nas paredes em alvenaria e tijolo existentes no pódio, e mesmo nas paredes de alvenaria de tijolo dos corredores comuns de acesso dos pisos 4 a 12, o aparecimento de diferentes níveis de fissura, assim como deformação dos vãos das janelas periféricos nos corredores comuns de acesso.

#### 4. Dados relativos à análise da estrutura de betão do Edf. Sin Fong Garden:

4.1 Do r/c até o piso 30 foram realizados no total de 3.891 testes de flexibilidade da resistência do betão, sobretudo junto dos pilares de betão armado. De acordo com os resultados do cálculo geral, o nível de resistência do betão é de 43,91MPa, menos 5,36MPa em relação ao critério exigido, sendo o valor de capilaridade de 35,27MPa. Da leitura dos resultados do cálculo o valor da capilaridade da resistência do betão distribuído nos pisos 2 e 19 do edifício é de 28,91MPa e 25,48MPa, comparativamente inferior à capilaridade da amostra geral que é de 35,27 MPa.

4.2 Nos pilares P8, P9, P17 e P22 localizados no piso 2 foram realizados testes de perfuração por carotagem e de resistência do betão, e conforme mostram os resultados a sua resistividade é inferior a 30MPa em relação do projectado.

4.3 Da análise química da amostra obtida por perfuração por carotagem, podemos concluir que o teor de eléctrodos de todas as amostras se encontra dentro do parâmetro dos 0,01%, contudo a mudança da concentração do cimento é bastante grande, em particular na concentração de cimento do betão do pilar 2F-P9 que apresenta somente 37% da concentração de cimento dos demais betões.

4.4 Análise do carbono do betão dos pilares P9, P17 e P22 localizados no piso 2, conforme mostram os resultados existem uma bastante grande concentração de carbono, o que significa que a qualidade do betão é relativamente baixa.

4.5 Em suma, a maioria dos valores obtidos nos testes de flexibilidade da resistência do betão são superiores ao projectado, o que significa que o edifício apresenta em geral problemas de qualidade relativamente baixa do betão, sendo sobretudo gravemente baixo a qualidade do betão dos pilares P8, P9, P17 e P22 localizados no piso 2, e este problema se encontra sobretudo na base dos pilares de betão. Atendendo ao aparecimento de fissura no topo dos pilares, pode-se concluir que foi primeiro concluído a execução do pilar e depois foi construído o pavimento do piso 3, o problema está na qualidade do betão na execução do pilar do piso 2 e/ou qualidade da execução da obra.

#### 5. Segurança da estrutura do Edf. Sin Fong Garden

5.1 O coeficiente concreto de segurança do pilar de betão armado P9 localizado no piso 2 está compreendido entre 0,67 e 0,94, bem abaixo do coeficiente de segurança projectado e exigido que é de 2,0.

5.2 O coeficiente de segurança do pilar de betão armado P17 localizado no piso 2 está compreendido entre 1,07 e 0,65. Tendo em conta a acção do tufão, o seu coeficiente de segurança poderá eventualmente ser mais baixo.

5.3 O coeficiente de segurança do pilar de betão armado P22 localizado no piso 2 é de 1,0. Tendo em conta a acção do tufão, o seu coeficiente de segurança poderá ser inferior que 1,0.

5.4 O coeficiente de segurança do pilar de betão armado P8 localizado no piso 2 é de cerca de 3,4. Tendo em conta a acção do tufão, o seu coeficiente de segurança poderá ser ainda de aproximadamente 2,3.

5.5 Em geral o coeficiente de segurança projectado para as estacas não é inferior a 2. Da análise da redistribuição do força axial dos pilares, a maior sobrecarga é de cerca de 1.000 kN, não ultrapassando a capacidade de suporte das estacas.

5.6 Em suma, o pilar P9 terá o perigo de maior danificação, e os pilares P17 e P22 também apresentam perigo de danificação. Tendo em conta a segurança pública, independentemente do edifício ser por fim restaurado ou demolido e reconstruído, deve ser em primeiro plano realizado a consolidação urgente, devendo ser concluídos em particular antes da entrada da época de tufão.

## 6. Consolidação provisória do Edf. Sin Fong Garden:

6.1 Horas após o incidente, os trabalhadores do estaleiro de obra vizinho vieram suportar provisoriamente por meio de estacas de aço em I o pilar P9, sendo este suporte desde o pavimento que suporta o pilar P9 até a base do piso 4.

6.2 Em 11 de Outubro de 2012, foi instalado pela Universidade de Macau instrumento de medição da deformação numa das duas estacas de aço em I de suporte localizado no piso 2, e de acordo com as medições levantadas em meados de Dezembro, a capacidade de suporte das duas estacas de aço em I foi de 650kN e 400kN.

6.3 Além disso, dado que após a realização dos testes verificou-se agravar a situação dos pilares P17 e P22, foi realizado suporte provisório nestes dois pilares, cujo âmbito de suporte se estendeu do piso 1 ao piso 3.

6.4 Devido ao reduzido coeficiente de segurança verificado nos pilares P9, P17 e P22 localizados nos pisos 2, foi considerado pelos especialistas ser necessário reforçar a consolidação provisória, tendo assim entregue o respectivo plano.

6.5 Veio a DSSOPT contratar uma empresa da especialidade para realizar de forma programada conforme o plano apresentado pelos especialistas de Hong Kong as obras

de consolidação provisória dos pilares P9, P17 e P22, que foram realizadas presentemente até a última fase.

6.6 Conforme o exposto no ponto #6.2, após a ocorrência do incidente os suportes urgentes desempenharam em concreto a sua função, sendo o instrumento de medição da deformação instalado horas após a conclusão do suporte. Acredita-se que o suporte fornecido após a consolidação seja maior que o suporte dos ensaios posteriores. E o instrumento de medição da deformação veio acusafr um progressivo agravamento no pilar P9 localizado no piso 2, o que mostra a necessidade de proceder a consolidação provisória.

6.7 Conforme o plano de trabalhos, as obras de consolidação provisória foram concluídos em princípios de Maio de 2013. Apesar do coeficiente de segurança na altura ascendeu acima de 1,0, contudo é insuficiente para garantir que prolongadamente seja mantida a estabilidade do edifício. Assim sendo, em salvaguarda da segurança pública, urge-se a necessidade de dar início à fase seguinte das medidas de segurança.

## 7. Causas do incidente:

7.1 da leitura do ponto #9 do relatório, da análise sobre as causas da danificação do pilar P9 localizado no piso 2, deve-se à diversas causas, nomeadamente impacto causado pelas obras de demolição do antigo edifício vizinho (Edf. Industrial Pak Tai) ao Edf. Sin Fong Garden, impacto causado pelas obras de fundação do estaleiro de obra vizinho (Edf. Sou Hou Wui), eventuais deficiências no próprio projecto do Edf. Sin Fong Garden, impacto causados pelos vários furos existentes na parede estrutural junto do pilar P3 do Edf. Sin Fong Garden, impacto causado pelas obras ilegais existentes no Edf. Sin Fong Garden, impacto causado pelas paredes posteriormente acrescidas em algumas das fracções habitacionais do Edf. Sin Fong Garden, impacto causado pela inclinação do Edf. Sin Fong Garden e impacto causado pela qualidade precária do betão na estrutura do Edf. Sin Fong Garden.

7.2 Quadro dos resultados da análise das causas em consideração acima referidas no relatório

Causas em consideração	Resultado da análise do relatório
a. Obra de demolição do Edf. Industrial Pak Tai	O relatório considera que o incidente ocorreu mais de um ano após a conclusão da realização das obras de demolição, pelo que não deve ser esta a causa do incidente.
b. Obra de fundação do Edf. Sou Hou Wui	Durante a realização das perfurações para a cravação das estacas, não foi necessário a utilização de

	<p>martelos pneumáticos, nem foi necessário reduzir a cota do solo. A empresa responsável pelas obras de fundação, veio desde o início da obra proceder uma vez por semana a medição nas imediações do edifício do assentamento. De Março de 2012 a 10 de Outubro de 2012, não se verificou mudanças visíveis quanto aos dados do assentamento, pelo que acredita-se que as obras de fundação do Edf. Sou Hou Wui não tiveram qualquer impacto na estabilidade e na segurança da estrutura dos edifícios vizinhos.</p>
c. Concepção da estrutura do Edf. Sin Fong Garden	O relatório considera que a concepção do pilar P9 não apresenta problemas.
d. Abertura de vários furos na parede estrutural junto do pilar P3 do Edf. Sin Fong Garden	O relatório considera ser mínimo o impacto na estrutura do edifício causado pelos vários furos existentes na parede estrutural, não tendo igualmente impacto na segurança do pilar de betão armado do pilar P9 localizado no piso 2.
e. Obras ilegais executadas na fracção habitacional 13.º D do Edf. Sin Fong Garden	O relatório considera que a sobrecarga acrescida devido as obras ilegais não será transmitida até o pilar P9, nem terá um impacto negativo na estrutura do edifício.
f. Acréscimo de parede no interior de algumas fracções habitacionais do Edf. Sin Fong Garden	Do cálculo das forças transmitidas para o pilar de betão armado P9 e da análise quanto ao acréscimo de paredes ficou comprovado que não terá impacto na segurança do pilar de betão armado 2F-P9.
g. Assentamento e inclinação irregular no Edf. Sin Fong Garden	Não se verificou indício de assentamento irregular no Edf. Sin Fong Garden, contudo se verificou uma bastante ligeira inclinação no edifício, sendo a maior inclinação de cerca de 1/650, sendo desconhecido que a inclinação seja causada pela obra do estaleiro vizinho. A inclinação em direcção do estaleiro de obra vizinho causado pela sobrecarga no pilar P9 é inferior a 1% do suporte projectado, sendo menor que o impacto devido a acção do vento, por isso a ligeira inclinação na estrutura não terá impacto na segurança do pilar de betão armado 2F-P9.
h. Qualidade do betão da estrutura do Edf. Sin Fong	O relatório considera que a resistência do betão do pilar P9 localizado no piso 2 é inferior que o valor

Garden	projectado inicialmente, sendo esta a principal causa da danificação do pilar P9. As causas desta situação são: (1) aplicação de betão de qualidade precária na execução da obra e /ou (2) execução precária da betonagem.
--------	--