



## TEMA 1 – Patologías de las construcciones

### Patologias de Fundações de Edifícios Causadas por Ações Ambientais

Fuad Carlos Zarzar Júnior <sup>1,a</sup>, Jason William Correia Maia Santiago <sup>2,b</sup>, Sílvio Romero de Melo Ferreira <sup>3,c</sup> e Romilde Almeida de Oliveira <sup>4,d</sup>

<sup>1</sup> e <sup>4</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife-PE, Brasil

<sup>2</sup> e <sup>3</sup> Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP.

<sup>a</sup>email: [fczj@yahoo.com](mailto:fczj@yahoo.com), <sup>b</sup>email: [gerberltda@yahoo.com.br](mailto:gerberltda@yahoo.com.br),

<sup>c</sup>email: [srmf@hotmail.com](mailto:srmf@hotmail.com), <sup>d</sup>email: [romildealmeida@gmail.com](mailto:romildealmeida@gmail.com)

**Palavras-chave:** deterioração, patologia, vida útil, microbiologia, fundações

#### Resumo

A Cidade do Recife tem como característica a diversidade de materiais geotécnicos e se configura como um laboratório em escala real para a realização de pesquisa em fundações de edifícios. A Planície do Recife foi formada por variados eventos geodinâmicos sendo o mais significativo aquele que está associado às sucessivas ações cíclicas das marés. A formação de diferentes depósitos com materiais de características diversas é uma característica marcante no subsolo da Planície do Recife. Na região metropolitana do Recife apenas cerca de 20 % das habitações têm sistema de esgotamento sanitário. A utilização de fossas sépticas, valas de infiltração e sumidouros produzem na projeção da edificação, dentro dos limites do próprio terreno uma distribuição dos efluentes de maneira praticamente uniforme pelos elementos de fundação. Este efluente é constituído de substâncias químicas agressivas como são os casos das provenientes de materiais de limpeza e de matérias orgânicas. Além disso, a região situada abaixo da laje de impermeabilização que veda o ambiente definido pelo espaço situado no entorno dos elementos de fundações, cintas, pescoços de pilares e reservatório fica permanentemente úmida. Esta condição favorece a deterioração dos materiais e cria situações propícias para a proliferação de microorganismos com a conseqüente colonização destes materiais que certamente contribuirão para a deterioração acelerada dos elementos das fundações. Estes fenômenos têm contribuído para a redução da vida útil dos componentes construtivos já tendo ocorrido, inclusive, acidentes com vítimas fatais. Este trabalho trata da Identificação dos agentes que interagem com os elementos de fundações causando patologias e de procedimentos que permitam a minimização da ação de tais agentes.

#### Introdução

A Cidade do Recife, devido à diversidade de materiais geotécnicos que constituem seu subsolo, se configura como um laboratório em escala real para a realização de pesquisa em fundações de edifícios.



A Planície do Recife foi formada por variados eventos geodinâmicos sendo o mais significativo, aquele que está associado às sucessivas transgressões e regressões do nível do mar. Este fenômeno contribuiu de maneira importante para a criação de um ambiente com características peculiares no subsolo da cidade que tem um elevado potencial de agressividade às fundações. A formação de diferentes depósitos com materiais de características diversas tais como: argila mole, conchas e fragmentos de corais é uma característica marcante no subsolo da Planície do Recife.

Adiciona-se ainda o fato de que apenas 20% da Região Metropolitana do Recife contam com sistema de esgotamento sanitário e que boa parte das águas servidas se infiltra diretamente no subsolo, contribuindo para acelerar os potenciais processos de deterioração das fundações e das partes da estrutura que se encontram continuamente em contato com o solo. A utilização de fossas sépticas, valas de infiltração e sumidouros cria um ambiente propício para a proliferação de microorganismos com a conseqüente colonização destes materiais que certamente contribuirá para a deterioração acelerada dos elementos das fundações das edificações e parte enterrada de pilares.

Some-se ao panorama acima configurado o efeito que o ataque microbiológico pode proporcionar ao concreto e elementos cerâmicos, causando a biodegradação destes materiais através das ações de bactérias, fungos, líquens e protozoários.

O quadro descrito acima não se constitui um problema exclusivo da Cidade do Recife. Outras cidades do Brasil e do mundo têm situações similares aspecto que empresta ao tema de investigação uma abrangência nacional e internacional e se configura num campo aberto à investigação científica [1].

Fenômenos como a Expansão por Umidade (EPU), degradando componentes cerâmicos, e o aparecimento do mineral etringita em decorrência do ataque a componentes constituídos de elementos cimentícios, degradando os componentes de concreto e de argamassa das fundações, são ocorrências freqüentes em elementos de fundação de edificações. Estes fenômenos têm contribuído em certa medida para a redução da vida útil destes componentes construtivos já tendo ocorrido, inclusive, acidentes com vítimas fatais onde estes fenômenos foram observados.

### **Situação atual - Planície costeira do Recife**

Morfologicamente, a Cidade do Recife apresenta duas paisagens muito distintas: os morros e a planície, ver Fig. 1, 2. A ocupação da cidade com edificações de grande porte têm-se dado, contudo, apenas no espaço confinado entre os morros e a orla marítima, que se constitui em uma grande planície.

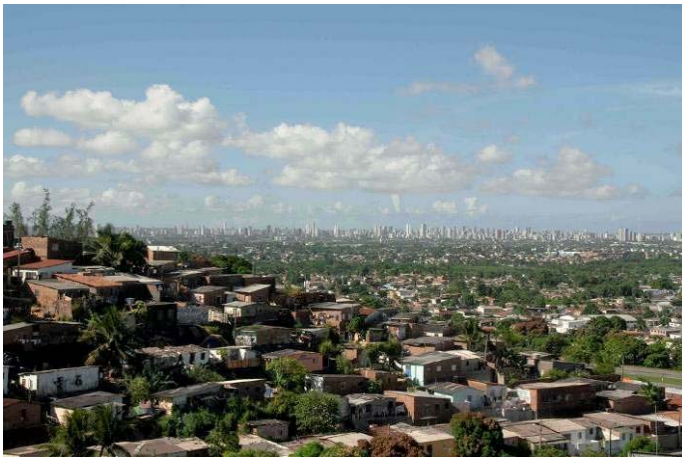


Figura 1: Vista da cidade do Recife a partir do Monte Guararapes [2].



Figura 2: Vista da Cidade do Recife, tendo ao fundo a cidade de Olinda [2].

A planície do Recife é de origem flúvio-marinha ver Fig. 3 e 4, com dois níveis de terraços marinhos arenosos, correspondentes à penúltima e última transgressão marinha, além de depósitos de mangues, sedimentos flúvio-lagunares e aluviões recentes. Neste contexto geológico, o subsolo típico é muito variado. Encontram-se camadas de areia fina e média, de compactidade fofa, intercaladas ou seguidas por outras, seja de argila orgânica mole, seja de areia concrecionada muito compacta ou arenitos bem consolidados. Os depósitos de argila orgânica mole e média são encontrados em cerca de 50% da área da planície, muitas vezes em subsuperfície e com espessuras superiores a 15 m.



Figura 3: Encontro das águas do Rio Capibaribe com o Bebiribe [2].



Figura 4: Margens do rio Capibaribe no Bairro da Torre [2].

A prática atual de fundações no Recife é fortemente direcionada pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, ainda que outros fatores influenciem na escolha e sejam assim encontrados diversos tipos de fundação na cidade [3], [4].

Os morros, que se situam na periferia da cidade, são geralmente ocupados pela população de baixa renda (ver Fig. 1), predominando edificações simples e leves. Praticamente não há construções de porte com as fundações em encostas, que é causa comum de acidentes em outras cidades. As edificações de porte do Recife concentram-se na planície [5], [6].

A presença de camadas arenosas superficiais na maior parte da planície tem permitido a adoção de fundações superficiais. Estes depósitos arenosos superficiais são quase sempre de granulometria média a fina, frequentemente siltosas a pouco siltosas, e de compactidade fofa a pouco compacta como regra geral ( $N_{SPT}$  variando de 2 a 10). A espessura pode ser de 10 a 15 m, dependendo do local, apresentando-se às vezes como pequenas dunas, mais freqüentes na zona sul da cidade [5].

#### **Ação de íons sulfatos sobre blocos de concreto na fundação**

Sabe-se que concentrações de sulfatos solúveis no solo acima de 0,1% (150 mg/l na água) produzem danos no concreto provocando perda progressiva de massa e resistência. Verifica-se que a velocidade de ataque a uma estrutura de concreto é mais intensa quando uma das faces permite evaporação, estando a outra em contato com água ou solo em que se tem a



presença de íons sulfatos. São os casos de porões, galerias, muros de arrimo e lajes no solo, bem com o caso dos denominados caixões perdidos, definidos pelos embasamentos externos dos edifícios tipo caixão, executados com blocos de concreto. Os principais fatores que influenciam o ataque por sulfatos são: quantidade e natureza do sulfato presente, nível da água e sua variação sazonal, fluxo da água subterrânea e porosidade do solo, forma da construção e qualidade do concreto.

O edifício Érika, situado na cidade de Olinda-PE, construído em 1987, teve a degradação dos blocos de concreto comprovada, em decorrência da presença dos íons sulfatos na água do subsolo, resultando no desabamento ocorrido em novembro de 1999. A análise das amostras de água coletadas no local mostrou o conteúdo médio superior a 650 mg/litro considerado moderado [7]; o lençol freático banhava o embasamento e tinha nível variável; o solo era arenoso e, portanto, permeável; os embasamentos funcionavam como muros de arrimo e os blocos de concreto tinham baixa resistência [8].

### **Expansão por umidade (EPU) de blocos cerâmicos de fundação**

Elementos cerâmicos tais como blocos para alvenaria, placas de revestimento de pisos e fachadas e louças sanitárias estão suscetíveis ao fenômeno físico-químico da expansão por umidade (EPU). Verifica-se que cerâmicas porosas aquecidas a temperaturas inferiores a 1000 °C, são propensas a expandirem, ocorrendo três tipos de fenômenos:

- (i) absorção de água nos poros maiores;
- (ii) adsorção nas superfícies internas e externas dos corpos cerâmicos com redução da energia superficial que os torna mais deformáveis, resultando em expansão e perda da resistência mecânica;
- (iii) combinação química irreversível da água em condições ambientais, resultando em expansão e perda das propriedades mecânicas [9].

Os estudos iniciais da expansão por umidade foram desenvolvidos na Austrália, na década de 1920. Foram verificados acidentes com obras de alvenaria que, posteriormente foram atribuídos à expansão por umidade. Em maio de 1997, o Edifício Aquarela em Jaboatão dos Guararapes – PE entrou em colapso em virtude da ruptura brusca dos embasamentos das fundações [10], [11]. Estes elementos de fundações correspondem às paredes que serviam de fundações para o edifício e que transmitiam as cargas ao solo. O conjunto destas paredes definia muros sobre os quais se apoiavam as lajes de piso, tendo o espaço delimitado pelo solo natural, paredes de fundação e lajes, um porão que é geralmente designado como “caixão perdido”.

Outros colapsos espontâneos ocorreram recentemente. Estudos relativos à vida útil de serviço destas edificações [12] sugerem que poderão ocorrer com maior frequência nos próximos anos, ou outras formas de tornarem os prédios imprestáveis ao uso. Recrudescer, assim, o problema social instalado.

### **Materiais e métodos**

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos foram realizados levantamentos topográficos e coletas de amostras de alvenaria no caixão perdido, de solos deformados e indeformados do tipo bloco no terreno.



Foi realizada a quantificação das árvores presentes no entorno da área das edificações e de registro fotográfico. Nas amostras coletadas foram realizadas ensaios para identificação de biobactéria (*Thiobacilos*) e de caracterização física e química do solo, de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento em amostras de solo natural e previamente inundado.

### **Empuxo**

Foram avaliados os esforços resultantes nos embasamentos das edificações provenientes da combinação de cargas verticais oriundas das ações permanentes (peso próprio, revestimentos) e das sobrecargas, atuantes sobre o edifício com as ações devidas ao empuxo resultante do aterro e da água.

Para simulação nesse programa computacional foram escolhidas cinco edificações, sendo quatro edificações que desabaram (Aquarela, Enseada de Serrambi, Éricka e Ijuí) e mais uma que se encontra interdita.

Para a determinação do empuxo foi utilizada a Teoria de Coulomb para solos coesivos. Na aplicação da teoria de Coulomb, além das forças de atrito e peso da cunha foram consideradas as forças de coesão, ao longo da superfície de deslizamento e de adesão entre o terrapleno e a parede.

### **Capacidade de carga à compressão**

Alguns dados obtidos no levantamento topográfico e na caracterização do solo foram utilizados para avaliar o fator de segurança em relação às dimensões reais das fundações e a capacidade de carga do solo destas edificações. Foram adotados as correções de Vésic (1975) e os critérios da Norma NBR 6122-96 para o cálculo da capacidade de carga à compressão.

As condições de carregamento consideradas foram obtidas para os esforços máximos nas fundações [13]. As cargas utilizadas foram o somatório do carregamento da edificação, o carregamento do embasamento em alvenaria e os empuxos devidos ao solo.

### **Apresentação e análise dos resultados**

Foram efetuadas análises e inspeções topográficas de campo, de vegetação e de fungos/bacteriológicas, ensaios de caracterização física, de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento dos solos em três poços ao longo do terreno. Os dados coletados serviram como base para análise da atual situação das patologias que agem nessas edificações e também, auxiliar o cálculo da capacidade de cargas e das tensões de empuxo atuantes nas paredes da fundação.

Também foram levantadas e podem ser visualizados, na Fig. 5, as cotas de embasamento das fundações, do nível do terreno, das lajes de piso do pavimento térreo e do nível de água quando presente nas fundações das edificações.

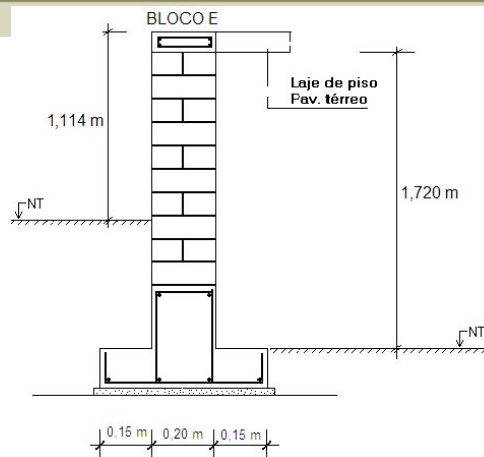


Figura 5: Perfil do bloco E.

A Fig. 6 apresenta a variação da cota do lençol freático em relação às cotas do terreno natural e das fundações das edificações. Observa-se que o trecho do fim do terreno é o que apresenta maior contato entre a fundação e o lençol freático em determinada época do ano. O nível máximo do lençol freático inunda o caixão perdido em alguns blocos.

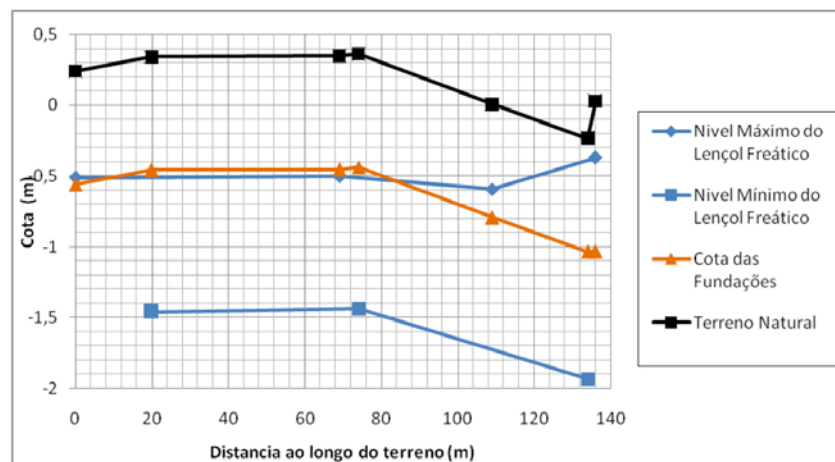


Figura 6: Variação da cota do lençol freático [1].

### Dados da vegetação e situação do embasamento

Após a contagem do número de espécies vegetais nas periferias das edificações, foram catalogadas 102 árvores sendo apenas uma espécie a *Clitória Faifchildiana* (popularmente chamada de Sombreiro). Esta árvore se encontrava em maior quantidade (78) e pode acarretar possível prejuízo à edificação, já que as fundações encontravam-se na maioria dos casos submersas pelo lençol freático, tornando o local propício para migração das raízes que se entrelaçam entre os furos dos tijolos assentes na horizontal (Fig. 7).

Durante a inspeção observaram-se falhas construtivas com tijolos aparentes sem qualquer tipo de revestimento nas paredes de fundação, blocos cerâmicos que não atingiram a fase cerâmica durante o processo de fabricação



e devido ao contato direto com o lençol freático assemelhavam a ‘massa de modelar’ (Fig. 8), rebocos externos da superestrutura cobertos por fungos e a variação do lençol freático encontrava-se elevado na época de maior precipitação pluviométrica, alcançando a fundação das edificações. Esta situação foi agravada devido a presença de substâncias agressivas no subsolo.



(c)



(d)

Figura 7: Raízes incidentes sobre a edificação: (a) Clitória Fairchildiana encostada no embasamento; (b) Raízes migrando por entre os blocos.

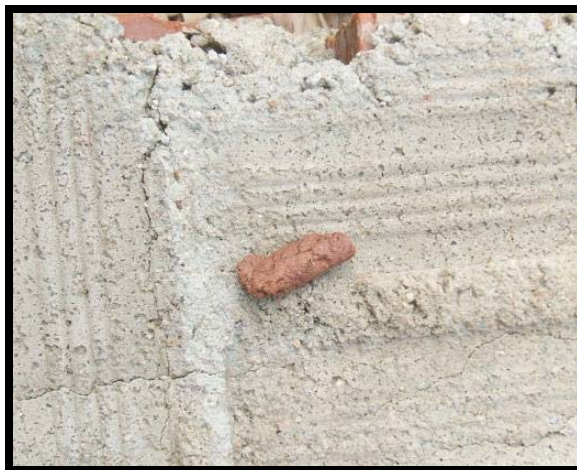


Figura 8: Amostra de cerâmica retirada do embasamento assemelhando-se a ‘massa de modelar’

#### **Amostras de fungos e/ou bactérias**

Após as amostras serem inoculadas no meio de cultura, não foram observadas nas amostras coletadas, alterações na concentração inicial do sulfato ferroso, portanto, indicando que não houve crescimento do microrganismo.



## Conclusões

Neste trabalho foram efetuadas análises e inspeções topográficas de campo, de vegetação e de fungos/bacteriológicas, ensaios de caracterização química e física, de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento dos solos em três poços ao longo do terreno, com a finalidade de realizar uma análise estrutural da fundação das edificações 'tipo caixão' de um Conjunto Residencial no bairro de San Martin, na cidade do Recife/PE.

Apresentação, observação e análise dos resultados expostos conduziram às seguintes conclusões:

1. Os vícios encontrados nos prédios 'tipo caixão' foram dos tipos decorrentes dos materiais e do processo construtivo;
2. As patologias que foram encontradas como agentes deteriorantes foram as raízes das árvores que estavam danificando o embasamento das edificações (G e I); a presença do embasamento sem a proteção do emboço, permitindo o contato direto da água com alvenaria que foram agravadas com a baixa qualidade dos blocos cerâmicos;
3. o empuxo horizontal no embasamento do Conjunto Residencial, representou um acréscimo de 18% na tensão vertical de compressão atuante na seção transversal da alvenaria;
4. A capacidade de carga à compressão apresentou valor satisfatório que variou de 2 a 2,2;
5. O solo não apresentou características de expansibilidade, pois as patologias encontradas na superestrutura não acarretam a problemas de suporte de carga.

## Referências

[1] W.C.J. Santiago: *Deterioração de embasamentos de fundações de prédios "tipo caixão"*; Dissertação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, 2009.

[2] Fig. 1; 2; 3; e 4:

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=868956>

[3] A.D. Gusmão, J.A. Gusmão Filho, G.B. Maia: *Medições de Recalque de um Prédio em Recife – Simpósio sobre Interação Solo-estrutura – São Carlos- SP – Anais em CD-ROM, 2000;*

[4] J.L. Pacheco, A.D. Gusmão, J.A. Gusmão Filho, W.M. Amorim Júnior: *Recalque de Edifícios em depósito de fragmentos de conchas - Anais do IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, V.1, p.227-237, 2000;*

[5] J.A. Gusmão Filho: *Fundações: do Conhecimento Geológico à Prática na Engenharia*. Editora da UFPE, Recife, 1998;

[6] A. D. Gusmão: *Prática de Fundações no Recife*. In: A. D. Gusmão; J. A. Gusmão Filho, J.T.R. Oliveira; G.B. Maia. (Org.). *Geotecnia no Nordeste*. 1 ed.



Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2005, v. 1, p. 225-246.

[7] P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro: *CONCRETO – Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3ª Edição, Editora Ibracon, São Paulo (SP), 2008.

[8] C. W. Pires Sobrinho, R.A. Oliveira, J.I.S.L. Ávila, J.P. Figueroa, L. V. Melo: *Degradação de Elementos de concretos porosos submetidos a ação de águas agressivas na planície costeira da Região Metropolitana do Recife*. In: IV EPUSP, 2000, São Paulo;

[9] M.D. Campos: *Considerações sobre soluções para recuperação de prédios construídos com alvenaria resistente*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Orientador: Romilde Almeida de Oliveira, 2006;

[10] R.A. Oliveira: *Causas do desabamento do Edifício Aquarela*. Laudo Técnico, CREA/PE, Recife, 1997;

[11] R. A. Oliveira, S. R. M. Ferreira, J. T. R. Oliveira, J. W. C. M. Santiago: *Alvenaria Resistente: Acidentes, Patologias e Vícios Construtivos*. Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2º. SIBRADEN, ABGE, 2007, Santos.

[12] F. C. Jr. Zarzar : *Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos, baseada no método dos fatores*. Dissertação de mestrado na Unicap. Recife/ PE, 2007.

[13] J.C. Quental: *Comportamento Geomecânico de Solos da Base de Fundações da Linha de Transmissão Recife II/Bongi*. Recife/PE, 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.