UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

# Avaliação da aplicação de consolidantes no Arenito Itararé, constituinte da fachada do Teatro Municipal de São Paulo

DANIELLE GROSSI

Orientadora: Eliane A. Del Lama

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geociências (Mineralogia e Petrologia)

São Paulo
2016

DANIELLE GROSSI

# Avaliação da aplicação de consolidantes no Arenito Itararé, constituinte da fachada do Teatro Municipal de São Paulo

Tese apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências

Área de comcentração: Mineralogia e Petrologia

Orientadora: Profa. Dra. Eliane A. Del Lama

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Grossi, Danielle

Avaliação da aplicação de consolidantes no Arenito Itararé, constituinte da fachada do Teatro Municipal de São Paulo / Danielle Grossi. – São Paulo, 2016.

243 p. : il + anexos

Tese (Doutorado) : IGc/USP

Orient.: Del Lama, Eliane A.

1. Consolidantes 2. Hidrofugantes 3. Arenito Itararé 4. Teatro Municipal de São Paulo I. Título

## Agradecimentos

À FAPESP pelo apoio financeiro a esta pesquisa (2012/24067-4 e 2015/10858-8).

Ao Leandro Moraes do Instituto de Geociências pelo enorme auxílio na realização do projeto da máquina de saturação e secagem.

Ao NAP (Núcleo de Apoio à Pesquisa) *Geohereditas – Patrimônio Geológico e Geoturismo* pelo apoio logístico.

Ao Alexander Gimenez da Silveira pelo auxílio para cortar as amostras.

Ao Marcelo Afonso pelo auxílio em coletar amostras, na ajuda com a autorização do ICMBio e com informações sobre a Floresta Nacional de Ipanema.

Ao Prof. Dr. George W. Scherer pela imensa atenção ao me receber na Universidade de Princeton e no auxílio com os procedimentos lá realizados.

À Universidade de Princeton pela oportunidade de estar em um dos maiores centros tecnológicos do mundo para realização de parte dos testes aqui apresentados.

À Lucia Shibata pelo auxílio com a língua inglesa e com as traduções.

Às empresas Quantiq (importadora da Wacker), Evonik, Bellizoni e NanoBr pelo fornecimento de amostras de produtos químicos para tratamento das rochas.

À Sandra Andrade do Laboratório de Química do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pelo auxílio e disponibilização das dependências e equipamento do laboratório e, também, a toda a sua equipe.

À Zelaine Callegaro, proprietária da antiga pedreira na Fazenda da Laje, localizada no município de São Miguel das Missões, pelo acesso às amostras de arenito.

Ao Sr. Ângelo da antiga pedreira de Arenito Itararé, nas cercanias da FLONA de Ipanema pela disponibilidade em nos permitir a coleta de amostras.

Ao Eduardo Brandau Quitete e Fábio Conrado de Queiroz do IPT pelo auxílio com o corte de amostras.

À Mariolis Della Torre pela doação da polpa e celulose.

Ao Roberto Carlos do CETEM-RJ pela disponibilização da câmara de intemperismo artificial de $SO_2$.

À Luana do CETEM- RJ, por ajudar com os testes.

E, principalmente, à minha orientadora, Eliane Del Lama, pelo auxílio, direcionamento e conselhos.

## Lista de abreviações

AG – Antigraffiti - Evonik

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CaO – Óxido de cálcio

CNRC – Centro Nacional de Referência Cultural

CONDEPHAAT – Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo

CONPRESP – Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo

A – Pré-tratamento consecutivo com A2 → A3 → A6

A2 – Etilendiamina anidro

A3 – 1,3 diaminopropano

A6 – 1,6 diaminohexano

AP – Pré-tratamento com A e tratamento com P

ATC – Pré-tratamento com A e tratamento com TC

ATW – Pré-tratamento com A e tratamento com TW

A630 – Pré-tratamento com A e tratamento com 630

BEPE – Bolsa Estágio e Pesquisa no Exterior

DIN – Deutsches Institut fur Normung

DPH – Departamento de Patrimônio Histórico

DPHAN – Departamento do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

DRX – Difratometria de raios X

EDS – Espectroscopia de raios X de energia dispersiva

EMBRATUR – Instituto Brasileiro de Turismo

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo

FRX – Fluorescência de Raios X

GeoHereditas - Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo

ICOM – Conselho Internacional de Museus (International Council of Museums)

ICOMOS – Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (International Council of Monuments and Sites)

IGEPAC - SP – Inventário Geral do Patrimônio Ambiental e Cultural Urbano do Estado de São Paulo

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MEK – Metiletilcetona

MTEOS – Metiltrietoxisilano

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

OEA – Organização dos Estados Americanos

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fosfato de amônio dibásico

PCH – Programa de Reconstrução das Cidades Históricas

POLI – Escola Politécnica

PVA – Acetato de polivinila

SEPLAN – Secretaria do Planejamento

SPHAN – Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

TC – Conservare® OH100 - ProSoCo

TW – Silres® BS OH 100 - Wacker

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

VOC – Compostos orgânicos voláteis

630 – Protectosil® WS 630 – Evonik

808 – Protectosil® 808 – Evonik

## Sumário

Resumo ..... i
Abstract ..... ii
1. Introdução ..... **Error! Bookmark not defined.**
2. Objetivos ..... **Error! Bookmark not defined.**
3. Materiais e Métodos ..... **Error! Bookmark not defined.**
4. História da conservação ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1. Pensadores ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.1. Viollet-le-Duc ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.2. John Ruskin ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.3. Camillo Boito ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.4. Alois Riegl ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.5. Max Dvořák ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1.6. Cesare Brandi ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.2. Cartas patrimoniais ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.2.1. Contexto geral ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.3. No Brasil ..... **Error! Bookmark not defined.**
5. Causas da deterioração rochosa ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.1. Intemperismo ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.1.1. Fatores externos ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.1.2. Fatores intrínsecos ..... **Error! Bookmark not defined.**
6. Objeto de estudo: Teatro Municipal de São Paulo ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.1. Rochas utilizadas no Teatro Municipal de São Paulo **Error! Bookmark not defined.**
6.1.1. Arenito Itararé ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.1.2. Granito ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.1.3. Mármore ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.1.4. Outros Materiais ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.2. Restaurações ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.2.1. 1ª Restauração: 1952-1955 ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.2.2. 2ª Restauração: 1986 a 1991 ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.2.3. 3ª Restauração: 2008 - 2011 ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.3. Outros prédios construídos em arenito ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.4. Geologia do Arenito Itararé ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.4.1. Supergrupo Tubarão ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.4.2. Grupo Itararé ..... **Error! Bookmark not defined.**

7. Métodos Analíticos ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.1. Dimensões das amostras utilizadas ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.2. Intemperismo prévio por aquecimento..... **Error! Bookmark not defined.**
7.3. Difração de raios X (DRX) ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.4. Capilaridade..... **Error! Bookmark not defined.**
7.5. Ultrassom..... **Error! Bookmark not defined.**
7.6. Tubo de *Karsten* ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.7. Expansibilidade..... **Error! Bookmark not defined.**
7.8. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) **Error! Bookmark not defined.**
7.9. Porosimetria de mercúrio..... **Error! Bookmark not defined.**
7.10. Saturação a vácuo ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.11. Resistência a flexão..... **Error! Bookmark not defined.**
7.12. Saturação e secagem ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.13. Espectrofotometria..... **Error! Bookmark not defined.**
7.14. Profundidade de Penetração ..... **Error! Bookmark not defined.**
7.15. Alteração acelerada ..... **Error! Bookmark not defined.**
8. Consolidantes..... **Error! Bookmark not defined.**
8.1. Propriedades dos consolidantes..... **Error! Bookmark not defined.**
8.2. Produtos..... **Error! Bookmark not defined.**
8.2.1. Consolidantes orgânicos..... **Error! Bookmark not defined.**
8.2.2. Consolidantes inorgânicos..... **Error! Bookmark not defined.**
8.3. Fatores que influenciam a ação dos produtos**Error! Bookmark not defined.**
8.4. Modificações após aplicação do produto..... **Error! Bookmark not defined.**
8.5. Prática..... **Error! Bookmark not defined.**
8.5.1. Pré-consolidação ..... **Error! Bookmark not defined.**
8.5.2. Técnicas de aplicação ..... **Error! Bookmark not defined.**
8.5.3. Consumo..... **Error! Bookmark not defined.**
8.5.4. Agenda de aplicação ..... **Error! Bookmark not defined.**
8.6. Métodos de avaliação da consolidação..... **Error! Bookmark not defined.**
8.7. Exemplos de aplicação ..... **Error! Bookmark not defined.**
9. Produtos utilizados ..... **Error! Bookmark not defined.**
9.1. Universidade de Princeton..... **Error! Bookmark not defined.**
9.1.1. Pré-consolidação ..... **Error! Bookmark not defined.**
Diaminoalcanos (DAA)..... **Error! Bookmark not defined.**
Etilenodiamina anidro (**A2**) ..... **Error! Bookmark not defined.**
1,3 diaminopropano 99% (**A3**) ..... **Error! Bookmark not defined.**

9.1.2. Consolidação ..... **Error! Bookmark not defined.**
Fosfato de amônio dibásico (DAP) ..... **Error! Bookmark not defined.**
Conservare® OH 100 ..... **Error! Bookmark not defined.**
9.2. Produtos utilizados no Brasil..... **Error! Bookmark not defined.**
9.2.1. Pré-consolidantes ..... **Error! Bookmark not defined.**
1,6 diaminohexano 60% (**A6**) ..... **Error! Bookmark not defined.**
9.2.2. Protetor de superfície/ hidrofugantes. **Error! Bookmark not defined.**
Protectosil® Antigraffiti..... **Error! Bookmark not defined.**
Protectosil® WS 630..... **Error! Bookmark not defined.**
Protectosil® WS 808..... **Error! Bookmark not defined.**
9.2.3. Consolidantes ..... **Error! Bookmark not defined.**
Silres® BS OH 100..... **Error! Bookmark not defined.**
9.3. Metodologia de aplicação ..... **Error! Bookmark not defined.**
9.3.1. Impregnação ..... **Error! Bookmark not defined.**
10. Resultados..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1. Arenito Itararé ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.1. Mineralogia do Arenito Itararé..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.2. Difratometria de raios X (DRX) ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.3. Espectrofotometria..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.4. Intemperismo prévio por aquecimento**Error! Bookmark not defined.**
10.1.5. Capilaridade..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.6. Ultrassom..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.7. Tubo de Karsten ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.8. Teste de expansibilidade ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.9. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**Error! Bookmark not defined.**
10.1.10. Porosimetria de mercúrio..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.11. Saturação a vácuo ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.12. Resistência a flexão..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.13. Ciclos de saturação e secagem..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.14. Profundidade de Penetração ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.1.15. Alteração acelerada por $SO_2$ ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2. Arenito Missões ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.1. Petrografia..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.2. Espectrofotometria..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.3. Capilaridade..... **Error! Bookmark not defined.**

10.2.4. Ultrassom ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.5. Teste de expansibilidade ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.6. Porosimetria de mercúrio ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.7. Saturação a vácuo ..... **Error! Bookmark not defined.**
10.2.8. Resistência a flexão ..... **Error! Bookmark not defined.**
11. Conclusão ..... **Error! Bookmark not defined.**
12. Referências bibliográficas ..... iii
ANEXO I .....
ANEXO II .....

## Resumo

Grossi, D. (2016). *Avaliação da aplicação de consolidantes no Arenito Itararé, constituinte da fachada do Teatro Municipal de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Esta tese tem por objetivo avaliar o comportamento da aplicação de pré-consolidantes, consolidantes, hidrofugantes e protetor de superfície aplicados no Arenito Itararé, utilizado na fachada frontal do Teatro Municipal de São Paulo. Esta rocha possui características intrínsecas que a desqualificam para uso em revestimentos, fachadas ou qualquer lugar em que fique sujeita às intempéries, uma vez que apresenta comportamento bastante friável e principalmente por possuir minerais expansíveis em sua constituição. Os consolidantes utilizados no tratamento dos arenitos foram o fosfato de amônio dibásico (**P**) e o ortossilicato de tetraetila (**TC** e **TW**). Para auxiliar a efetividade do tratamento foram utilizados pré-consolidantes: etilenodiamina anidro (**A2**), 1,3 diaminopropano 99% (**A3**) e 1,6 diaminohexano 60% (**A6**). Foram testados ainda dois hidrofugantes (siloxano organofuncional - **630** e propil siliconato - **808**) e um protetor de superfície (fluorosilano - **AG**). Para analisar sua durabilidade e efetividade, foram realizados os testes de velocidade de ondas ultrassônicas, saturação a vácuo, capilaridade, porosimetria de mercúrio, saturação e secagem, espectrofotometria, tubo de *Karsten*, profundidade de penetração, difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), e ensaio de intemperismo acelerado por $SO_2$. Uma primeira etapa de aplicação de produtos e verificação de efetividade do tratamento foi realizada na Princeton University (E.U.A.). Para esta parte da pesquisa foram testados o Arenito Itararé e o Arenito Missões. Na segunda etapa, os tratamentos e ensaios foram realizados no Brasil, utilizando apenas o Arenito Itararé e os produtos disponíveis para venda no país. Para levar esta pesquisa o mais próximo da realidade vivenciada nas restaurações, diferentes técnicas de aplicação foram testadas para verificar a profundidade de penetração.

Após a realização de todos os testes, concluiu-se que, dentre os tratamentos realizados na Universidade de Princeton, os mais efetivos para o Arenito Itararé, em ordem decrescente, foram: **AP** (pré-tratado com **A** e consolidado com **P**) e **ATC** (pré-tratado com **A** e consolidado com **TC**). Para o Arenito Missões, o melhor tratamento foi **AP** (pré-tratado com **A** e consolidado com **P**).

Dos produtos utilizados no Brasil, o que melhor funcionou para consolidar o Arenito Itararé foi **AP.**

## Abstract

Grossi, D. (2016). Evaluation of the consolidants application in Itararé Sandstone, constituent of the façade of the São Paulo Municipal Theater. PhD thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

This thesis aims to evaluate the behavior of the pre-consolidants, consolidants, water repellents and surface protector applied in Itararé Sandstone, used on the front facade of the São Paulo Municipal Theater. This stone shows intrinsic characteristics that disqualify its use in coatings, facades or wherever it is subjected to the weather, as it presents quite friable behavior and especially for having clay swelling in its constitution. The consolidants utilized in sandstone treatments were ammonium phosphate dibasic (**P**) and ethyl silicate (**TC** and **TW**). To assist the effectiveness of the treatment pre-treatments with ethylenediamine anhydrous (**A2**), 1,3 diamine propane 99% (**A3**) and 1,6 diaminohexane 60% (**A6**) were used. Two water repellents (siloxane organofunctional – **630** and propyl siliconate – **808**) and one surface protector (fluorosilane – **AG**) were tested. To analyze their durability and effectiveness, many analyses were performed, such as, ultrasonic wave velocity, vacuum saturation, capillarity, mercury porosimetry, wet and dry cycles, spectrophotometry, Karsten tube, penetration depth, X ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM) and accelerated weathering by $SO_2$. The first stage of product application and verification of effectiveness of the treatment was carried out at Princeton University (USA). In this university Itararé Sandstone and Missões Sandstone were tested. On the second stage, treatments and tests were carried out in Brazil, utilizing only Itararé Sandstone and the products avaliable in the country. To bring theory and practice closer, different application techniques were carried out when verifying the depth of penetration.

The tests at Princeton University showed that the best treatments for the Itararé Sandstone were: **AP** (pre-treated with diaminoalcanes and treated with ammonium phosphate dibasic) and **ATC** (pre-treated with diaminoalcanes and treated with ethyl silicate). For the Missões Sandstone the best treatment was **AP** (pre-treated with diaminoalcanes and treated with ammonium phosphate dibasic).

The best treatment for the Itararé Sandstone carried out in Brazil was **AP**.

## 12. Referências bibliográficas

Almeida F. F. M. 1980. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: 3º. Simp Reg Geol., Curtiba. PR, 1 – 20.

Amoroso G. G., Fassina V. 1985. Stone decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protecting. Bulletin of the Association for Preservation Technology, **17 (3/4)**: 84 – 86.

Apps C. A. C. P. 2011. Avaliação da variabilidade de técnica de ensaio do tubo de *Karsten* na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 156 p.

Arnold L. 1978. The preservations of stone by impregnation os silanes. Newsletter of the Council for Places Workship, **24**: 345 – 347.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8096: 1983. Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição ao dióxido de enxofre – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 3 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6490: 1985. Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrência de rochas. Rio de Janeiro, 4 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15012: 2003. Rochas para revestimento de edificações Terminologia. Rio de Janeiro, 10 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 9779: 2012. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 7 p.

ASTM International. C119: 2014. Standard Terminology Relating to Dimension Stone. West Conshohocken, PA, 7 p.

Bocardi L. B., Fernandes L. A., Rostirolla S. P. Appi C. J. 2006. Diagênese dos arenitos do Grupo Itararé, permocabonífero, Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **36 (7)**: 221 – 231.

Borsoi G., Veiga R., Santos Silva A. 2012. Consolidação de argamassas históricas de revestimento com produtos compatíveis; avaliação da eficácia. *In:* 4º Congresso Nacional sobre Argamassas e Etics; APFAC 2012, Coimbra, Portugal.

Brady N. C., Weil R. R. 2012. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. Tradução: Lepsch I. F. Bookman, p. 716.

Brandão I. L. 1993. *Teatro municipal de São Paulo: grandes momentos.* São Paulo: DBA Artes Gráficas, 120 pp.

Brandi C. 1963. *Teoria da Restauração*. Tradução: Kühl B. M. Ateliê Editorial, Cotia, 2008, 261 pp.

British Standard BS EN 1925: 1999. Natural stone test methods – Determination of water absorption coeficiente by capillarity. Bruxelas, 10 p.

British Standard BS EN 12524: 2000. Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulates design values, 4 p.

CETESB 2013. Relatório anual. Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental, Departamento de Qualidade Ambiental, Divisão de Qualidade do ar. 53 p. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/operacao-inverno/relatorio-op-inverno-2013.pdf. Acessado em 23 de janeiro de 2015.

Choay F. 2001. *A alegoria do patrimônio.* São Paulo: Estação Liberdade, 304 p.

Concremat 2010. Arquivos dos processos realizados no restauro do Theatro Municipal. Fornecido por Fernanda Lapo.

Cunha C. dos R. 2006. Alois Riegl e "O Culto Moderno dos Monumentos". *Revista CPC*, São Paulo,**2(1)**: 6 – 16.

Davino A. 1975. Geologia da serra de Araçoiaba, Estado de São Paulo, *Boltim IG-USP*, **6**: 129 – 144.

Delgado Rodrigues J., Costa D. 1996. Assessment of the harmfulness of consolidants in granites. *In:* Delgado Rodrigues J., Costa D. (eds.). *Conservation of Granitic Rocks*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, p. 71 – 78.

Del Lama E. A., Szabó G. A. J., Dehira L. K., Kihara Y. 2008. Impacto do Intemperismo no Arenito de Revestimento do Teatro Municipal de São Paulo. *Geologia USP,* Série Científica, **8**: 75 – 86. Disponível em http://geologiausp.igc.usp.br/geologiausp/sc1/art.php?artigo=703. Acessado em 27 de setembro de 2012.

Del Lama E. A., Dehira L. K., Reys, A. C. 2009. Visão geológica dos monumentos da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **39 (3)**: 409 – 420. Disponível no endereço: http://www.sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol39_down/3903/11163.pdf.

Del Lama E. A., Bacci D. D. L. C.,Martins L., Garcia M. G. M., Dehira L. K. 2015. Urban geotourism and the old centre of São Paulo city, Brazil. *Geoheritage*, **7**: 147 – 164. DOI 10.1007/S12371-014-0119-7.

DIN 52615: 1987. Testing of thermal insulating materials; determination of water vapour (moisture) permeability of construction and insulating materials. Deustches Institut für Normung, Berlim.

Dvořák M. 1916. *Catecismo da Preservação de Monumentos*. Trad.: Valéria Alves Esteves Lima. Artes & Ofícios, 2008, 124 pp.

Folha de São Paulo, Caderno Cotidiano, 12 de junho de 2008. Acessado em 01 de dezembro de 2011.

Folha de São Paulo, Caderno Ilustrada, 17 de fevereiro de 2010. Acessado em 01 de dezembro de 2011.

Franzoni E., Sassoni E., Pigino B., Scherer G. W., Naidu S. 2013 Artificial weathering of stone by heating. *Journal of Cultural Heritage*, **14**: e85 – e93.

Franzoni E., Sassoni E., Graziani G. 2014. Brushing, poultice or immersion? The role of the application technique on the performance of a novel hydroxyapatite-based consolidating treatment for limestone. *Journal of Cultural Heritage*, **16 (2)**: 173 – 184.

Frascá M. H. B. O. 2003a. Deteriorações e a questão do uso e da durabilidade de rochas ornamentais e para revestimento. *In:* Villas Bôas R. C., Calvo B., Peiter C. C. (eds.). Iberoeka en Mármoles y Granitos, p. 111 – 132.

Frascá M. H. B. O. 2003b. Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 227 p.

Gimenez A. M. S., Del Lama E. A. 2014. Comportamento de ondas ultrassônicas no Granito Mauá para a conservação do Monumento às Bandeiras. *Geologia USP - Série Científica*, Revista do Instituto de Geociências USP, **14 (3)**: 47 – 60. Disponível no endereço: http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/guspsc/v14n3/04.pdf

Ginell W. S., Kumar R., Doehne E. 1995. Conservation studies on limestone from the Maya site at Xunantunich, Belize. *In:* Material Issues in Art and Archaeology IV: Symposium Held May 16-21, 1994, Cancun, Mexico. Edited by J. R. Druzik, J. L. Galvan Madrid, I. C. Freestone and G. S. Wheeler, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, p. 813 – 821.

Gobbi G., Zappia G., Sabbioni C. 1998. Sulphite quantification on damaged srones and mortar. *Atmospheric Environment*, **32 (4)**: 783 – 789.

Goldich S. S. 1938. A study in rock-weathering. *Journal of Geology,* **46**: 17–58.

Graziani G., Sassoni E., Franzoni E. 2015. Consolidation of porous carbonate stones by an innovative phosphate treatment: mechanical strengthening and physical – microestructural compatibility in comparison with TEOS-based treatments. Heritage Science **3 (1)**: 6 p.

Grossi C., Murray M. 1999. Characteristics of carbonate building stones that influence the dry deposition of acidic gases. *Constructions and Building Materials*, **1**: 101 – 108.

Grossi D. 2013. Análise do estado de conservação do Monumento a Ramos de Azevedo com utilização de métodos não destrutivos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, 138 p.

Gusmão Filho J. A. 2008. Solos - Da Formação Geológica Ao Uso Na Engenharia. UFPE, 198 p.

Honsinger D., Sasse H. R. 1991. Alteration of Microstructure and Moisture Characteritics of Stone Materials due to Impregnation. *In:* Baker J. M., Nixon P. J., Majumdar A. J., Da Vies H. (eds.) *Durability of Building Materials and Components*. E.& F. N. Spon, Chapman and Hall, p. 213 – 224.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. 1995. Cartas Patrimoniais. IPHAN, Brasília, 344p.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1990. Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. Coordenadores: Caruso L.G., Braga T. O., Frascá, M. H. O. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 122 pp.

Jiménez González I., Scherer G. W. 2004. Effect of swelling inhibitors on the swelling and stress relaxation of clay-bearing stones. *Environmental Geology*, **46**: 364 – 377.

Jiménez González I., Scherer G. W. 2006.Evaluating the potential damage to stones from wetting and drying cycles. *In:* Konsta-Gdoutos M. S. (ed.). *Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties*, Springer, Londres p. 685 – 693.

Kahraman S. 2002. The effects of fracture roughness on *P*-wave velocity. *Engineering Geology,* **63**: 347 – 350.

Kersten M. S. de A. 2000. *Os rituais de tombamento e a escrita da história: bens tombados no Paraná entre 1938–1990*. UFPR, Curitiba, 300 pp.

Kühl B. M. 2000. Viollet-le-Duc e o verbete da restauração. *In: Restauração*. Ateliê Editorial, Cotia, p. 9-24.

Kühl B. M. 2002. Os Restauradores e o Pensamento de Camillo Boito sobre a restauração. *In: Os Restauradores*. Ateliê Editorial, Cotia, p. 9 – 28.

Kupchella C. E., Hyland M. C. 1992. *Environmental science: living with the system of nature*, 3ª ed. Prentice-Hall, New Jersey, 656 pp.

Lima E. F. W., Maleque M. R. 2007. Espaço e cidade. 7 Letras, Rio de Janeiro, 183 p.

Mannheimer W. A. 2002. Microscopia dos materiais. E-papers serviços editoriais, Rio de Janeiro, 221 p.

Martini A. 2010. Theatro Municipal de São Paulo, 26 de outubro. Disponível em: http://asimplicidadedascoisas.wordpress.com/2010/10/26/theatro-municipal-de-sao-paulo/. Acessado em 01/12/2011.

Medeiros H. F. M., Andrade J. J. O., Helene P. 2011. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. *In:* Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON, **1**: 773 – 808.

Meneses, U. T. B. 1992. O patrimônio cultural entre o público e o privado. *In: O Direito à Memória: patrimônio histórico e cidadania*. São Paulo, DPH, 189 – 194 p.

Método Engenharia. 1991. Obras de reforma e restauro. 2ª fase. Dez 90 - set 91. (Relatório disponível no Departamento de Patrimônio Histórico da Prefeitura Municipal de São Paulo).

Milani E. J. 2004. Magmatismo Toleítico na Bacia do Paraná. *In:* Neto V. M., Bartorelli A., Dal Ré Carneiro C., Brito-Neves B. B. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Beca, São Paulo, p. 245 – 279.

Montanheiro T. J. 1999. Prospecção e caracterização de pozolanas na Bacia do Paraná, estado de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de doutorado, 226 p.

Morenghi C. L. 2007. Arcabouço estratigráfico e potencial de armazenamento em arenitos permocarboníferos do Grupo Itararé na Região do Alto estrutural de

Pitanga, centro-leste do estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 105 p.

Naidu S., Chun L., Scherer G. W. 2015. Hydroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants. Journal of Cultural Heritage, **16 (1)**: 94 – 101.

Neves P. C. P. 2011. Introdução à mineralogia prática. ULBRA, 380 p.

Neville A. 2001. Consideration of durability of concrete structures: past, present and future. *Materials and Structures*, **34 (2)**: 114 – 118.

Nora P. 1993. Entre história e memória: a problemática dos lugares. *Revista Projeto História*, **10**: 7–28.

Oliveira E. C., Pessoa E. C., Fontaneta G. T., Soares L. C. R.; Boggiani P. C. 2005. Pesquisa Geológica no morro de Araçoiaba, Capacitação e Treinamento Geológico dos Monitores da Floresta Nacional de Ipanema, Município de Iperó, SP. Pró Reitoria de Cultura e Extensão Universitária/ USP, 37 p.

Papida S., Murphy W. 2000. The use of sound velocity determination for the non-destructive estimation of physical and microbial weathering of limestone and dolomites. International Congresso n Deterioration and Conservations of Stone, 9. Proceedings, Elsevier, Veneza, p. 609 – 617.

Pejon O. J., Zuquete L.V. 2006. Effects of strain on the swelling pressure of mudrocks. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciencies, **43**: 817 – 825.

Pensavento S. J. 2002. Memória, história e cidade: lugares no tempo, momentos no espaço. *Revista ArtCultura*, Uberlândia, **4 (4)**: 9 – 17.

Petri S., Souza P. A. 1993. Síntese dos conhecimentos e novas concepções sobre a bioestratigrafia do subgrupo Itararé, bacia do Paraná, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, **2 (14)**: 7 – 18.

Pinheiro M. L. B. 2008. John Ruskin e as Sete Lâmpadas da Arquitetura – Algumas repercussões no Brasil. *In:* Ruskin J. *A Lâmpada da Memória*, p. 9 – 48.

Pollak M. 1989. Memória, esquecimento e silêncio. *Estudos Históricos*, Rio de Janeiro, **3 (2)**: 3 – 15.

Poupeleer A. S. 2007. Transport and crystallization of dissolved salts in cracked porous building materials. Tese de doutorado. Katholike Universiteit Leuven, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, 299 p.

Prata J. M. 2009. Patrimônio cultural e cidade: práticas de preservação em São Paulo. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 182 p.

Price C. A. 2006. Consolidation. *In:* Henry A. (ed.) *Stone conservation: principles and practice*. Donhead publishing, United Kingdon, p. 101 – 125.

Rocha-Campos A. C., Santos P. R. 1981. The Itararé subgroup, Aquidauana group and San Gregório formation, Paraná basin, southeastern South America.*In:* Hambrey M.J., Harland M.J. (Org.). *Earth's Pre-Pleistocene glacial records*. Cambridge University Press, New York, p. 842 – 852.

Rodrigues N. M. 2012. Ensaios não destrutivos em monumentos pétreos paulistanos. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 47 p.

Ruskin J. 1849. *A Lâmpada da Memória.* Trad: Pinheiro M. L. B.Atelie Editorial, 2008, 88p.

Sacramento L. 2010. Restauração do Teatro Municipal chega a reta final. Portal R7, publicado em 05/11/2010. Disponível em: http://noticias.r7.com/sao-paulo/noticias/restauracao-do-teatro-municipal-de-sao-paulo-chega-a-reta-final-20101105.html. Acessado em 01 de dezembro de 2011.

Salvetti R. A. P. 2005. Sistemas deposicionais e paleogeografia do subgrupo Itararé (neopaleozóico da Bacia do Paraná), na região entre Itu e Indaiatuba, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 110 p.

Santos M. C. 2007. Propostas de Reformulação da Visita Monitorada e Criação de Material de Apoio Trilíngue ao Turista para o Theatro Municipal de São Paulo – História. *Revista eletrônica UNISANTOS*. Disponível em: http://www.unisantos.br/pos/revistapatrimonio/artigos.php?cod=90. Acessado em 25 de outubro de 2012.

Santos A. Theatro Municipal vira modelo de restauração, Cimento Itambé, 20 julho de 2011. Disponível em: http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/theatro-municipal-de-sao-paulo-vira-modelo-de-restauracao/. Acessado em 01 de dezembro de 2011.

Sassoni E., Naidu S., Scherer G. W. 2011. The use of hydroxyapatite as a new inorganic consolidant for damaged carbonate stones. *Journal of cultural heritage,* **12 (4)**: 346 – 355.

Sassoni E., Franzoni E., Scherer G. W., Naidu S. 2012. Consolidation of a porous limestone by means of a new treatment based on hydroxyapatite. *In:*12th International Congresso n the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University, New York, p. 10 – 19.

Sassoni E., Franzoni E., Pigino B., Scherer G. W., Naidu S. 2013. Consolidation of calcareous and siliceous sandstones by hidroxiapatite: Comparison with a TEOS-based consolidant. *Journal of Cultural Heritage*, **14 (3)**: e103 – e108.

Sattler L., Snethlage R. 1988. Durability of stone consolidation treatments with silicic acid ester.*In:*Marinos, Paul G.; Koukis, George C.*Engineering geology of ancient works, monuments and historical sites: preservation and protection*.Balkema A. A., Rotterdam, **2**: 953 – 956.

Scartezini L. M. B., Juca T. R., Teixeira F., Antonelli G., Cascudo O., Carshek H. 2002. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. *Revista Ambiente Construído*, **2**: 85 – 92.

Scherer G. W., Jiménez González I. 2005. Characterization of swelling in clay- bearing stone. *In:* Turkington A. V. (ed.) *Stone Decay in the Architectural Environment*. The Geological Society of America, **SP 390**,. 51 – 61.

Scherer G. W., Jiménez González I. 2006. Evaluating the potencial damage to stones from wetting and drying cycles. *In.* Konsta-Gdoutos M. S. (ed.) *Measuring, Monitorins ans Modeling Concrete properties: An International Symposium dedicated to Professor Surendra P. Shah, Northwester University, USA*, 685 – 693.

Scherer G. W., Jiménez González I. 2008. Swelling clays nd salt crystallization: Damage mechanisms and the role of consolidants. *In:* Delgado Rodrigues J. E Mimoso J. M. (Eds.). S*tone Consolidations in Cultural Heritage: Research and Practice; Proceedings of the International Symposium*, Lisboa: LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil, p. 29 – 40.

Scherer G. W., Wheeler G. S. 2009. Silicate Consolidants for Stone. Key Engineering Materials, **391**: 1 – 25.

Searls C. L., Thomasen S. E. 1991. Deterioration Mechanisms in Sandstone. *In:* Baker J. M., Nixon P. J., Majumdar A. J., Da Vies H. (eds.) *Durability of Building Materials and Components*. E.&F. N. Spon, Chapman and Hall, p. 87 – 95.

Secretaria Municipal de Cultura de São Paulo. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/cultura/theatromunicipal/corpos_artisticos/index.php?p=1035. Acessado em 06 de Dezembro de 2011.

Severo, R. 1911. *O theatro municipal de São Paulo. São Paulo*. Officinas de Pocai & Weiss, 40 p.

Sitte C. 1992. Construção da Cidade para Princípios Artísticos. Ática Editora, 240 p.

Snethlage R., Sterflinger K. 2011. Stone Conservation. *In:* Sigesmund S., Snethlage R. (eds.) *Stone in architecture*. Springer, Londres, p. 411 – 434.

Soares A. de A. 2010. Formas de alteração e avaliação da degradação dos granitos da cantaria de Igreja de Santa Rita, Paraty-RJ. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências,Universidade Federal do Rio de Janeiro, 64 p.

Souza D. A. 2012. Determinação de tensões residuais em materiais metálicos por meio de ensaio de dureza. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São João Del-Rei, 114 p.

Stern A. G., Riccomini C., Fambrini G. L., Chamani M. A. C. 2006. Roteiro geológico pelos edifícios e monumentos históricos do centro da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **36:** 704 – 711.

Toledo M. C. M., Oliveira S. M. B., Melfi A. J. 2009 Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. *In*: Teixeira W., Fairchild T. R., Toledo M. C. M., Taioli F. (Org.). Decifrando a Terra. Companhia Editora Nacional, São Paulo, p. 210 – 239.

Tucker M. E. 2014. Rochas Sedimentares: guia geológico de campo. Bookman, Porto Alegre, 324 p.

Viollet-le-Duc E. E. 1854. *Restauração*. Trad.: Beatriz Mugayar Kuhl. Ateliê Editorial, Cotia,2000, 76 p.

Wangler T., Wylykanowitz A. K., Scherer G. W. 2006. Controlling stress from swelling clay. In: Konsta- Gdoutos M. S. (ed.), Mesuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties. Springer, The Netherlands p. 703 – 708.

Wangler T., Scherer G. W. 2008. Clay swelling mechanism in clay-bearing sandstones. *Environmental Geology*, **56**: 529 – 534.

Wangler T., Scherer G. W. 2009. Clay swelling inhibition mechanism of α,ω-diaminoalkanes in Portland Brownstone. *Journal of Materials Research*, **24 (5):** 1646 – 1652.

Wangler T., Wylykanovitz A. K., Scherer G. W. 2006. Controlling stress from swelling clay. *In:* Konsta-Gdoutos M. S. (Ed.). Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties. Springer, Londres, p. 703 – 708.

Wheeler G. 2005. *Alkoxisilanes and the Consolidation of Stone*. The Getty Institute,196 p.

Winkler E. M. 1997. *Stone in architecture: properties, durability*. 3ª ed. Springer-Verlag, Berlin, 313p.