XVII Congresso Internacional sobre Patologia e
Reabilitação das Construções

XVII Congreso Internacional sobre Patología y
Rehabilitación de las Construcciones

XVII International Conference on Pathology and
Constructions Rehabilitation

FORTALEZA (Brasil), 3 a 5 de junho de 2021

<https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.143>

Avaliação de danos em estrutura pós incêndio. Estudo de caso: subestação elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo

Post-fire structure damage assessment. Case study: electric substation of the Federal University of Espirito Santo

Rodolpho M. FROSSARD¹; Anna Luiza M. V. RODRIGUES²; Lara SANDRINI³; Matheus C. ZANI⁴; Warribe L. SIQUEIRA⁵; Geilma L. VIEIRA⁶

¹ Instituto Federal do Espírito Santo, Nova Venécia, Brasil, rodolpho.ifesnv@gmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, annaluiza.mvr@gmail.com

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, lara.snd@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, matheus.c.zani@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, warribe@hotmail.com

⁶ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, geilma.vieira@gmail.com

Resumo: Diversos materiais de construção têm suas propriedades modificadas quando em presença de fogo. O concreto Portland é um desses materiais, que, quando submetido à altas temperaturas sofre alterações em sua microestrutura que podem interferir em seu comportamento mecânico, como por exemplo, a redução da resistência à compressão. O presente trabalho tem por objetivo avaliar as modificações das propriedades mecânicas e os danos causados em uma estrutura de concreto pós incêndio. Para isso foram utilizadas técnicas da engenharia diagnóstica, tais como vistoria, anamnese e realização de ensaios, destrutivos e não destrutivos, para verificação da qualidade do concreto, identificando a necessidade, ou não, de intervenção para reabilitação da estrutura. Os resultados da pesquisa evidenciaram a redução da vida útil e da durabilidade do concreto analisado, uma vez que a estrutura já apresentava características que favoreciam os mecanismos de deterioração. Portanto, foi constatada a necessidade de tratamento e reforço em todos os elementos estruturais da subestação.

Palavras-chave: incêndio; concreto armado; durabilidade; engenharia diagnóstica.

Abstract: Various construction materials have their properties modified when in the presence of fire. Portland concrete is one of those materials that, when subjected to high temperatures undergoes changes in its microstructure can interfere in its mechanical behavior, such as the reduction of compressive strength. This work aims to evaluate how changes in mechanical properties and the damage caused in a post-fire Portland concrete structure. For that, diagnostic engineering techniques were used, such as inspection, anamnesis, and tests, destructive and non-destructive, to verify the quality of the concrete identifying the need, or not, for intervention to rehabilitate the structure. The results showed a reduction in the useful life and durability of the concrete, since the structure already had characteristics that favored the deterioration mechanisms. Therefore, there was a need for treatment and reinforcement in all structural elements of the electric substation.

Keywords: fire; reinforced concrete; durability; diagnostic engineering.

1. Introdução

Incêndios são eventos inesperados que podem implicar efeitos relevantes nas edificações, visto que os materiais de construção submetidos a ação do fogo podem: amolecer, fundir, se decompor ou carbonizar. Desta maneira, no decorrer da ação do fogo os danos causados aos materiais podem ocasionar deformação da estrutura ou permitir a propagação do fogo (BERTOLINI, 2010).

A ação do fogo pode se manifestar diretamente sobre o concreto ou sobre a armadura de aço. Durante um incêndio, a transferência de calor pode ocorrer de 3 formas: condução, convecção e radiação. Britez e Costa (2011) afirmam que no interior da massa de concreto, predomina-se a condução devido ao gradiente térmico que é estabelecido entre o núcleo da massa (região interna, com temperatura fria) e a superfície da massa (região externa, com temperatura elevada em função do incêndio). A intensidade da transferência de calor depende das seguintes propriedades térmicas: condutibilidade, difusibilidade, calor específico e massa específica.

O concreto pode ser caracterizado como um material que exibe um bom comportamento em altas temperaturas, devido a sua essência incombustível e baixa difusividade térmica da qual assegura uma lenta propagação de transitórios térmicos dentro dos componentes estruturais, bem como não exalar gases tóxicos (COSTA *et al.*, 2002; COLOMBO, 2007). No entanto, o concreto é um material polifásico, composto pela pasta de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e ar dos poros e essa heterogeneidade é evidenciada quando esse material é exposto a elevadas temperaturas, em que cada componente se comporta de forma diferente.

As altas temperaturas causam alterações na microestrutura do concreto que podem variar de acordo com a dosagem e os insumos utilizados. Britez e Costa (2011) dizem que temperaturas em torno de 300°C podem ocasionar queda de aproximadamente 25% na resistência, enquanto que temperaturas próximas a 600°C, podem levar a redução de cerca de 75%. Os autores ainda ressaltam que, além das alterações sofridas na pasta de cimento, os agregados têm grande influência no comportamento térmico do concreto. Isso se deve ao grande volume que eles ocupam na massa de concreto, bem como sua composição mineralógica e reatividade. Sreenivasulu e Srinivasa Rao (2013) ainda dizem que à medida que o aquecimento progride, há um aumento da pressão dos poros no concreto que continua a aumentar até que a tensão interna se torne tão grande que resulta em fragmentação explosiva, fenômeno conhecido como *spalling*.

Outro fator importante destacado por Guo e Shi (2011) é como ocorre o resfriamento do concreto. O óxido de cálcio produzido pela degradação da pasta de cimento ou dos agregados pode hidratar-se a hidróxido de cálcio quando em contato com a água. Sendo que, pode perder até 10% da sua resistência inicial, dependendo da temperatura atingida e do tipo de resfriamento adotado, sendo quanto mais rápido o resfriamento, maior a perda de resistência inicial do material.

Numa situação de incêndio, o CO₂ gerado entra na massa de concreto e reage com os constituintes alcalinos desse material, como o hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂] presente em sua composição. Dessa reação resulta a formação do carbonato de cálcio (CaCO₃) provocando um decréscimo na alcalinidade, levando o pH que antes era elevado, em torno de 13, para um valor próximo de 9. Conforme Andrade (1992) este valor de pH é insuficiente para proteger a armadura contra corrosão. Zhu *et al.* (2016) afirmam que a corrosão das armaduras devido à carbonatação do concreto é um problema significativo para a redução da resistência e durabilidade das estruturas de concreto armado.

Muitos estudos do comportamento de concreto em situação de incêndio são feitos com corpos-de-prova padronizados. No entanto, em elemento estrutural, os danos causados durante um incêndio dependem de fatores como seção transversal, taxa de aço e sua configuração das armaduras, do carregamento e da conexão com os outros elementos do sistema estrutural (BRITEZ e COSTA, 2011). Dessa forma, torna-se importante a realização de um estudo com avaliação do comportamento e da qualidade do concreto, em situação real, após um incêndio.

Sendo assim, o presente trabalho objetiva avaliar os danos na estrutura de concreto armado da subestação elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo após a ocorrência do incêndio no dia 03 de maio de 2019,

por meio de ferramentas da engenharia diagnóstica, de modo que se possa identificar a necessidade ou não de intervenções para reabilitação da estrutura.

2. Abordagem Metodológica

Para a avaliação dos danos à estrutura da subestação da UFES causados por um incêndio foi realizado um levantamento de subsídios, englobando revisão de literatura, vistoria ao local, anamnese do caso e realização de ensaios em campo e em laboratório.

A vistoria aconteceu no dia 27 de junho de 2019 às 13h. Foi realizado um relatório fotográfico do local, analisando a extensão do sinistro e determinando quais ensaios deveriam ser realizados e quais elementos estruturais provavelmente apresentariam maior risco e vulnerabilidade.

Logo após foi realizada uma anamnese a fim de levantar os subsídios para o entendimento dos fatos relacionados ao sinistro. Por fim, foi determinado quais ensaios seriam realizados para investigar a integridade do concreto sinistrado. Esses foram: os ensaios de velocidade de propagação da onda ultrassônica, espectroscopia por indução colorimétrica, ensaio de dureza superficial pelo esclerômetro de deflexão, potencial de corrosão e extração de testemunho para ensaio de resistência à compressão. Na Figura 1 é apresentado o croqui da Sala do Transformador 1 com a indicação dos pontos onde os ensaios foram realizados.

Figura 1 - Croqui da Sala do Transformador 1 com indicação dos pontos de realização dos ensaios

2.1 Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas - ABNT NBR 8802:2019

Segundo Carvalho *et al.* (2013) o ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é um método não destrutivo que tem como objetivo verificar a homogeneidade e qualidade do concreto, detectando falhas internas e profundidade de fissuras. O equipamento utilizado nesta pesquisa foi o da marca Proceq modelo Pundit Lab+. O Quadro 1 traz a classificação que relaciona a velocidade da onda com a qualidade do concreto.

Quadro 1 – Classificação relacionando velocidade à qualidade do concreto. Fonte: CANOVAS *apud* CARVALHO, 2013

Velocidade (m/s)	Qualidade
> 4500	Excelente
3500 – 4500	Boa
3000 – 3500	Duvidosa
2000 – 3000	Ruim
< 2000	Muito Ruim

2.2 Ensaio de potencial de corrosão - ASTM C 876:2015

De acordo com Helene (1993) o ensaio de potencial de corrosão tem como objetivo classificar a probabilidade de corrosão nas armaduras dos concretos armados e monitorar as estruturas ao longo do tempo. Medeiros *et al.* (2013) dizem que essa técnica é a mais rápida e com menor custo existente para identificar as zonas de armaduras despassivadas, indicando as regiões de iniciação da corrosão das armaduras que necessitam de análises e reparos.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o potencial de corrosão no aço do concreto armado pode ser medido como a diferença de voltagem entre o aço e um eletrodo de referência em contato com a superfície do concreto.

O ensaio de potencial de corrosão ainda não é normalizado no Brasil, sendo então utilizada a norma americana ASTM C 876:2015 como base para o procedimento. No Quadro 2 são apresentadas as probabilidades da existência de corrosão de acordo com faixas de potencial.

Quadro 2 - Avaliação do potencial de corrosão em estruturas de concreto armado. Fonte: Adaptado da ASTM (2015)

Faixa de potencial (mV)	Probabilidade de existência de corrosão
Mais positivo que - 200	Baixa, inferior a 10%
Entre -200 e -300	Incerta
Mais negativo que - 300	Alta, superior a 90%

2.3 Espectroscopia por indução colorimétrica - DIN EN 14630:2007

O ensaio de espectroscopia por indução colorimétrica com aspersão de fenolftaleína tem por objetivo medir a frente de carbonatação. Este ensaio ainda não é normalizado no Brasil, para sua realização utiliza-se os procedimentos da norma alemã DIN EN 14630:2007.

O concreto é considerado em boas condições para que proteja a armadura quando possui um pH maior que 12. Sahuinco (2011) diz que se no contato da solução de fenolftaleína com a superfície do concreto, esta adquirir a cor magenta, o pH do concreto está adequado para proteger a armadura, caso a superfície mantenha sua cor inalterada, o pH do concreto está abaixo de 9. Com a profundidade do concreto de baixo pH consegue-se estimar o tempo em que a armadura perderá a camada passivadora que o protege da corrosão (CASCUDO, 1997, *apud*, SILVA, 2010).

2.4 Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - ABNT NBR 7584:2012

Segundo Helal *et al.* (2015) o ensaio de dureza superficial pelo esclerômetro de deflexão é uma técnica simples, rápida e não destrutiva que tem como objetivo medir a dureza superficial e correlacioná-la com a resistência à compressão do concreto. Ressalta-se que a resistência à compressão encontrada por meio da dureza superficial do concreto pode ser influenciada por fatores diversos, o que traz falta de confiabilidade aos resultados, portanto, optou-se pela realização deste ensaio apenas como uma análise preliminar. O ensaio foi realizado em P13, P9 e V6.

2.5 Extração de testemunho e ensaio de resistência à compressão axial - NBR 7680-1:2015

A extração de testemunho é um procedimento realizado para a obtenção de corpos-de-prova de concretos já moldados e endurecidos para avaliação de suas condições de uso. A NBR 7680-1:2015 trata de ensaios de resistência à compressão realizadas em extrações de testemunhos, dentre outras finalidades, para a verificação da segurança estrutural em obras existentes que passaram por situação de incêndio. Foi extraído um testemunho em P13 e suas dimensões estão descritas no Quadro 4.

3. Resultados e Discussões

3.1 Vistoria e Anamnese

O sinistro ocorreu na Subestação de energia elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo, situada no endereço: Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES 29075-010. A edificação é composta por apenas um pavimento e tem área total de 241.80 m², composta por 3 salas, aqui denominadas Sala do transformador 1, Sala do transformador 2 e Sala elétrica.

O sistema estrutural da edificação é composto por: sapatas, pilares e vigas de concreto armado convencional, e laje pré-moldada de concreto com blocos cerâmicos. A edificação possui vedação vertical em blocos de concreto, revestimento de paredes e teto de argamassa e pintura com tinta acrílica. O piso é industrial, também de concreto. A cobertura da edificação é composta por telhas de fibrocimento.

Nas Salas do Transformador 1 e 2, encontravam-se um transformador da marca COMTRAFO, em funcionamento, com isolamento a óleo em cada sala. Na sala elétrica, encontravam-se cubículos elétricos, alguns eletrificados, outros não, transformadores de menor capacidade, deseletrificados, além de sistema de ar condicionado em funcionamento.

O cômodo mais danificado pelo incêndio foi a Sala do Transformador 01, onde ocorreu o incêndio. Nela foi possível verificar algumas anomalias, sendo as principais vistas na Figura 2. Verificou-se também que não houve ocorrência de deslocamento de camadas de concreto e de exposição das armaduras, indicando que o incêndio não atingiu condições de temperatura e de duração necessárias para desencadear o spalling.

Figura 2 - Condições da edificação

A Sala do Transformador 02 não tem ligação direta com a Sala do Transformador 01, onde foi o foco do incêndio, porém verificou-se a presença de áreas escurecidas na parede em comum as duas salas, nos pontos de passagem da eletrocalha de um cômodo para o outro. A Sala Elétrica também não tem comunicação direta com a Sala do Transformador 01, mas a parede entre os dois cômodos apresentou fissuração no encontro da viga de cobertura e a alvenaria. Além disso verificou-se a presença de áreas escurecidas na proximidade dessas fissuras e no ponto de passagem de eletroduto de um cômodo para outro.

Na anamnese foi verificado que a edificação teve sua construção no ano de 2007 e percebeu-se, através do projeto estrutural, que toda a edificação foi projetada com concreto é convencional com f_{ck} 25MPa, fator água/cimento 0,6, armadura longitudinal CA 50A e transversal CA 60. Entretanto, foram encontradas algumas incompatibilidades entre o projeto e a edificação construída.

Em análise aos projetos, a observação mais expressiva foi a ausência de projeto de detecção e combate a incêndio, além da modificação na compartimentação da sala do transformador 1. A locação dos pilares P13 e P14 foi executada diferente do projetado e finalmente, há vigas que não estão de acordo com o projeto de vigas e o de locação das vigas intermediárias.

Com relação ao acontecimento do incêndio, o mesmo ocorreu no dia 03/05/2019 no final da manhã. Inicialmente foram notados locais na universidade que sofreram falta de luz. O corpo de bombeiros foi acionado às 12h07, e às 12h30 as equipes de combate chegaram ao local e iniciaram o combate às chamas. Desde o início da chama até o início do seu combate, transcorreram-se aproximadamente 25 minutos.

Segundo o Corpo de Bombeiros, o fogo teria começado na rede elétrica, em seguida atingido um transformador, na Sala do Transformador 1 e se expandiu para a área de vegetação do campus. Foi feito o combate e o rescaldo nas edificações e vegetação adjacente por quatro equipes do Corpo de Bombeiros.

3.2. Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas - ABNT NBR 8802:2019

As velocidades de propagação de ondas ultrassônicas obtidas nos pontos P13, P9 e V6 foram respectivamente: 2055, 2582 e 2760 m/s. A partir desses resultados nota-se que o concreto pode ser classificado como de qualidade ruim.

3.3. Ensaio de potencial de corrosão - ASTM C 876:2015

A tensão obtida no ensaio de potencial de corrosão para o pilar P13 foi de -233mV . Pelo Quadro 2, adaptado da norma ASTM C 876 (ASTM, 2015), esse valor indica que a probabilidade de existência de corrosão é incerta, podendo estar entre 10 e 90%.

3.4. Espectroscopia por indução colorimétrica - DIN EN 14630:2007

A asperção de fenolftaleína se deu também no pilar P13, ao lado de onde foi realizado o ensaio de propagação de ondas ultrassônicas, e na mesma abertura do ensaio de potencial de corrosão. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** verifica-se que após a aspersão da fenolftaleína, o concreto não alterou a coloração na parte esquerda da imagem, indicando que nessa região existe uma frente de carbonatação de aproximadamente 2.13 cm, que atinge todo o cobrimento, chegando à armadura. Como essa região encontra-se carbonatada, o pH do concreto reduziu, o que significa que a armadura perdeu sua camada passivadora, ficando assim sem proteção contra a corrosão. O ensaio de potencial de corrosão mostrou que a armadura se encontra na zona de incerteza na probabilidade de existência de corrosão, o que indica que tal processo já possa estar ocorrendo e que vem a ser favorecido pela redução do pH do concreto devido a sua carbonatação.

Na parte a direita, o concreto tomou a coloração magenta próximo a armadura, indicando que o pH dessa ainda se encontra básico, conferindo proteção a armadura. No entanto, próximo a superfície o concreto não alterou a coloração, mostrando outra frente de carbonatação de aproximadamente 1.57cm.

Quando se compara as duas regiões, nota-se que a superfície a esquerda estava mais em contato com o fogo e calor, pois estava voltada para dentro do local do incêndio, por esse motivo a carbonatação foi mais intensa.

Figura 3 - Ensaio de Espectroscopia por indução colorimétrica

3.5. Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - ABNT NBR 7584:2012

Os valores dos índices esclerométricos e das respectivas resistências à compressão são encontrados na Quadro 3. Pode-se observar que os f_{ck} obtidos estão acima do previsto em projeto, que era de 25 MPa. A ABNT 7584:2012 ressalta que a camada de carbonatação pode interferir de forma significativa nesse resultado. Em casos extremos e em função da espessura da camada de carbonatação, os valores estimados podem superar em mais de 50% os valores originais de resistência. Segundo essa mesma norma, outros

fatores como a massa específica do concreto, a esbeltez do elemento estrutural, a proximidade entre a área do ensaio e a falhas no concreto, entre outros, podem estar influenciando no aumento da resistência.

Quadro 3 - Índices esclerométricos e f_{ck} do ensaio de dureza superficial

Peça Estrutural	Índice esclerométrico	Resistência à Compressão (MPa)
P13	40.9	42
V05	41.8	36
P09	41.5	43
V6	40.1	32
	42.5	38

3.6. Extração de testemunho e ensaio de resistência a compressão axial - NBR 7680-1:2015

Após a extração do testemunho, na parte superior do pilar P13, foi aspergido fenolftaleína e notou-se que o concreto não alterou a coloração em uma espessura aproximada de 1.68cm, logo, nota-se uma frente de carbonatação, em que o pH se encontra mais baixo que o recomendado para a proteção das armaduras à resistência química.

O Quadro 4 apresenta dados referentes ao ensaio de compressão do testemunho e é verificado que a sua resistência à compressão apresentou um f_{ck} de 19.9 MPa, o que representa apenas 80% da resistência indicada no projeto estrutural. É possível que essa redução tenha se dado por causa do incêndio ocorrido, porém não se pode afirmar uma vez que não se sabe ao certo qual foi a resistência executada na obra, pois erros na execução ou até mesmo na dosagem do concreto podem ter acontecido.

Quadro 4 - Dados referentes ao ensaio de compressão do testemunho

CP N°	Idade (dias)	Diâmetro d (cm)	Altura h (cm)	Massa Específica Aparente (kg/m ³)	Resistência Compressão $f_{ct, ext, inicial}$ (MPa)	Resistência Compressão* $f_{ci, ext}$ (MPa)	Tipo de Ruptura
1	> 360	7.39	15.3	2316	18.1	19.9	B

(*) Correção relativa à relação h/d, coeficientes (k1 a k4). Não foi feita correção em relação à idade

4. Conclusões

Ainda não foi possível saber como o sinistro realmente iniciou, mas diante das informações obtidas nas vistorias e dos resultados dos ensaios, conclui-se que a estrutura foi afetada. O aço presente no local contorceu, indicando que as temperaturas atingiram pelo menos 700°C, temperatura na qual esse fenômeno ocorre. Os ensaios de ultrassom mostraram que a qualidade do concreto de pilares e vigas está ruim, o que corrobora com a camada carbonatada nesses mesmos elementos. Essa camada é responsável pelos altos resultados da resistência no ensaio de dureza superficial por esclerômetro de reflexão. A presença dessa camada reduz o pH do concreto, desprotegendo as armaduras, que já se encontram na zona de incerteza quanto a probabilidade de ocorrência de corrosão. A extração do testemunho mostrou uma queda de resistência à compressão em relação a especificação de projeto, que pode ser efeito do incêndio na estrutura, que devido as altas temperaturas causou a degradação de parte do C-S-H, estrutura que fornece resistência ao concreto.

Além disso, em relação a carbonatação do concreto, a frente de carbonatação observada no pé do pilar foi maior que a observada no testemunho extraído, que se encontrava na parte superior do mesmo pilar. Isso mostra que a intensidade do dano foi maior na parte inferior, que provavelmente teve maior contato com o fogo. Sabendo-se que o pé do pilar é a parte mais solicitada neste elemento em termos de cargas, deve-se atentar quanto a capacidade de carga que este pode suportar visto que já se encontra carbonatado.

Dessa forma, a estrutura encontra-se danificada, com evidências de redução da vida útil devido à frente de carbonatação que já atingiu as armaduras, afetando a durabilidade e o desempenho estrutural. Nesse sentido, é preciso que haja tratamento e reforço em todos os elementos estruturais da subestação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Espírito Santo por ceder o espaço para a realização dessa pesquisa. Aos técnicos do laboratório e ao Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) que auxiliaram na execução dos ensaios.

Referências Bibliográficas

- Andrade, M. D. C. (1992). Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: Pini.
- Bertolini, L. (2010). Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos.
- Britez, C.A., Costa, C. N. (2011). Ações do fogo nas estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: IBRACON, p. 1029-1068.
- Carvalho, C. H., Macedo, M. C. S. S., Severo Junior, J. B., Griza, S., Andrade, C. E. C. De, Santos, A. A. Dos, Barreto, L. S. (2013) Estudo comparativo das técnicas não destrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenho mecânico de estruturas em concreto armado. XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia.
- Colombo, M., Felicetti, R. (2007). New NDT techniques for the assessment of fire-damaged concrete structures. Fire Safety Journal, v. 42, n. 6-7, p. 461-472
- Costa, C. N., Figueiredo, A. D., Silva, V. P. (2002). Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. Sustentabilidade, arquitetura, desenho urbano: seminário internacional - NUTAU'2002, São Paulo, Brasil; Outubro, 2002.
- Helal, J., Sofi, M., Mendis, P. (2015). Non-Destructive Testing of Concrete: A Review of Methods. Electronic Journal of Structural Engineering, v. 14(1), p. 97–105
- Helene, P. R. L. (1993). *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. Tese de Livre Docência. University of Sao Paulo (USP), São Paulo, Brasil.
- Guo, Z., Shi, X. (2011). Experiment and calculation of reinforced concrete at elevated temperatures. Elsevier, 2011.
- Medeiros, M. H. F., Knuutila, M., Pereira, E., Helene, P. (2013). Inspection of buildings in Rio de Janeiro-Brazil: Proving the greater tendency of corrosion at the base of reinforced concrete columns using potential corrosion technique. American Journal of Engineering Research (AJER), v.2, p.102-112.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2008). Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON.
- Sahuinco, M. H. C. (2011). Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Silva, E. P. Da. (2010). Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, submetidos a ensaio de corrosão acelerado. Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil.
- Sreenivasulu, A., Srinivasa Rao, K. (2013). The Effect of Temperature on Mechanical Properties of M100 Concrete. American Journal of Engineering Research (AJER), v. 2, p. 152–157.
- Zhu, X., Zi, G., Cao, Z., Cheng, X. (2016). Combined effect of carbonation and chloride ingress in concrete. Construction and Building Materials, v.110, p. 369–380.