



CADERNO TÉCNICO

PESQUISAS EM ESTRUTURAS,
GEOTECNIA E CONSTRUÇÃO CIVIL

TRABALHOS COMPLETOS

SUMÁRIO

ESTRUTURAS

Durabilidade e comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP expostas ao intemperismo	5
Comportamento estrutural de pilares de concreto armado reforçados com mantas de GFRP expostos a mecanismos de degradação	10
Avaliação ao longo do tempo da aderência de barras de GFRP e barras de aço em ambiente marinho.	14
Análise numérica da influência de aberturas em lajes alveolares protendidas submetidas ao esforço cortante.	18
Ferramenta Computacional para Análise e Projeto de Estruturas de Cobertura com Trelças Planas de Madeira.	23
Relações entre propriedades de rigidez de madeiras do grupo das folhosas	27
Comportamento e durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de cfrp submetidas a umidade constante.	31
Viga delgada protendida: verificação da influência da armadura transversal em terças pré-fabricadas, ensaio da resistência a força cortante.	36
Diagramas de interação m-n para a verificação de pilares mistos de aço e concreto submetidos a flexo-compressão normal.	41
Ligação adesivada em vigas mistas de aço e concreto.	46
Análise de Sistemas de Reforço para Alvenaria Estrutural	50
Avaliação da largura efetiva de pontes e viadutos em seção caixão mista de aço e concreto para o grau de interação total e parcial	54
Análise numérica de pilares treliçados de aço formados a frio submetidos à compressão centrada e excêntrica.	58
Estudo dos mecanismos resistentes de junta com chaves de cisalhamento em viga-pilar em consolos pré-fabricados com a utilização de chapa metálica no apoio da viga	62
Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão	66
Análise do Comportamento de Sistemas Estruturais de Concreto Armado Moldado in loco Sob Efeito do Colapso Progressivo	71

Uso de concreto com agregados de resíduos de concreto em pilares mistos preenchidos	76
Verificação à fadiga de vigas de pontes de concreto armado: estudo comparativo entre o uso do trem-tipo normativo e as cargas reais nas rodovias brasileiras.	81
Estudo teórico e experimental da estabilidade distorcional em vigas mistas de aço e concreto em região de momento negativo	86
Caracterização Experimental e Numérica para Avaliação do Edifício Histórico do Museu Paulista utilizando Técnicas Não Destrutivas	91
Metodologia para otimização projeto de viadutos de múltiplas longarinas considerando critérios sociais-ambientais e econômicos	96
Comportamento de vigas mistas celulares formadas por perfis i duplamente simétricos e lajes alveolares pré- fabricadas de concreto	100
Contribuição ao estudo de aderência e propriedades mecânicas do concreto autoadensável com baixo consumo de cimento reforçado com fibras de aço	106
Legislação de combate a incêndio em estruturas de madeira: cenário nacional e internacional	111
Edifícios em alvenaria estrutural sob ação sísmica	115
Resistência à punção na ligação laje-pilar: análise numérico experimental e proposta de padronização do modelo de ensaio	119
Análise teórica e numérica da influência do tamanho e posicionamento de furos adjacentes a pilares de seção retangular em sistemas estruturais de lajes sem vigas.	124
Análise numérica e experimental da alvenaria estrutural com blocos de concreto em temperaturas elevadas.	129
 CONSTRUÇÃO CIVIL	
Indicadores de Desempenho de Lean Six Sigma em Empresas Construtoras	135
Verificações experimentais não destrutivas de lajes alveolares protendidas na fábrica para conformidade de projeto.	140
Método de avaliação das condições de adequabilidade das edificações para uso de energia fotovoltaica	145
Avaliação do desempenho empresarial de acordo com a mentalidade Lean em empreendimentos de Habitação de Interesse Social.	148
Técnicas eletroquímicas de monitoramento de corrosão aplicadas em armaduras embutidas em corpos de prova de argamassa.	151

Diagnóstico da disseminação da Primeira Etapa do BIM BR.....	155
Diretrizes para o desenvolvimento de empreendimentos do tipo Student Housing	159
Caracterização e aplicação de escória de aciaria estabilizada na fabricação de blocos de concreto	164
Propriedades residuais pós-altas temperaturas de compósitos cimentícios de alto desempenho com pó de vidro	168
Alvenaria em Situação de Incêndio – Critério de Isolamento Térmico.....	172
Avaliação experimental de prismas da alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e de concreto submetidos a altas temperaturas.	175
Captura de CO_2 em blocos de concreto através da cura por carbonatação acelerada e aplicabilidade industrial.	180
Fenômenos de passivação e corrosão de armaduras de compósitos cimentícios	185
Análise Ergonômica do Trabalho na execução de sistemas de alvenaria: comparação entre o sistema de alvenaria de vedação com o sistema de alvenaria estrutural.....	189
Bim-4d aplicado ao projeto para segurança na construção	193

GEOTECNIA

Estudo da influência do subleito na retração de GCLs.....	197
Avaliação estatística dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de RSU brasileiros	201

ESTRUTURAS

DURABILIDADE E COMPORTAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS COM MANTAS DE CFRP EXPOSTAS AO INTEMPERISMO

Durability and behavior of reinforced Concrete beams with CFRP sheets exposed to Weathering

Discente: Camila Pessoa Pinto, Engenheira Civil, Mestranda em engenharia civil.

Orientador: Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré; Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A durabilidade e, conseqüentemente, a vida útil das estruturas tem sido tema de discussão nos dias atuais. Com isso, novas pesquisas sobre reforço estrutural com novos materiais e métodos tem sido desenvolvidas. Um desses materiais é o CFRP que, devido ao seu baixo peso próprio e boas propriedades mecânicas, tem sido cada vez mais utilizado. Neste contexto, um estudo da durabilidade desse material frente ao intemperismo se torna necessário. Diante do exposto, este trabalho visa a análise experimental de vigas de concreto armado, reforçadas com mantas de CFRP, e exposto a dois ambientes distintos: laboratorial (interno, protegido) e externo (intemperismo). O programa experimental é composto por doze vigas, das quais duas não possuem qualquer tipo de reforço (referencia) e as demais foram reforçadas com uma camada de manta de CFRP. As vigas serão submetidas ao ensaio de flexão de três pontos tornando-se possível analisar a diferença da capacidade portante em ambientes e idades distintas. Espera-se que as vigas localizadas no ambiente externo sofram maior degradação, atingindo uma menor capacidade portante.

Palavras-Chave: CFRP; Reforço; Vigas; Flexão; Degradação.

ABSTRACT

The durability and, consequently, the service life of the structures has been the mainly topic of discussion nowadays. Thus, new researches on structural strengthening techniques with new materials and methods has been developed. In this context, one of these materials is the CFRP, which, due to its low self-weight and good mechanical properties, has been increasingly used. In this context, a study of the durability of this material against weathering becomes necessary. Thus, an ongoing experimental analysis of reinforced concrete beams strengthened with CFRP sheets is being carried out. The beams were exposed to two different environments: laboratory (internal, protected) and external (weathering). The experimental program is composed of twelve beams, two of them are unstrengthened (reference) and the others were strengthened with one layer of CFRP sheet. The beams will be subject to a three-point bending test in order to evaluate its load carrying capacity after the exposure. The beams located in the external environment are expected to suffer more degradation, presenting a lower load carrying capacity.

Keywords: CFRP; Strengthening; Beams; Flexure; Degradation.

INTRODUÇÃO

Analisar a capacidade de carga de estruturas, aumentar sua vida útil é foco de várias pesquisas no que se refere a reforço, manutenção e reparo de estruturas de concreto armado, pois as estruturas atuais sofrem com a degradação por intemperismo, aumento da sobrecarga das edificações e com a falta de manutenção preventiva (FERRARI e HANAI, 2012). Então o reforço estrutural tem recebido muita atenção dos pesqui-

sadores que exploram novas formas de reforçar com tecnologias e materiais novos com alta resistência e durabilidade que garantam segurança e eficiência, assim podendo competir com as formas tradicionais e consagradas de reforço já existentes.

Os FRP (*Fiber Reinforced Polymer*, na língua inglesa) são materiais que apresentam alta resistência a tração e módulo de elasticidade, baixo peso próprio e resistência a corrosão, o que o torna uma boa solução para reforço de estruturas. Ao reforçar-se uma estrutura com FRP, esta apresenta um alto ganho na capacidade de carga sem influenciar a arquitetura (*FIB Bulletin 40*, 2007). Essas características permitem com que o reforço com FRP substitua com vantagens técnicas e econômicas as formas convencionais de reforço FER-RARI E HANAI (2012).

As características do elemento reforçado logo após a cura da matriz já são amplamente conhecidas, mas estudar a durabilidade desse elemento é importante para entender seu comportamento em grandes períodos de tempo. Dalfré (2016) iniciou um programa exploratório a fim de analisar a durabilidade da ligação FRP/adesivo/concreto, das resinas e de compósitos de CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*, na língua inglesa) de placas reforçadas por colagem externa através da técnica EBR. Essas placas foram expostas a três ambientes diferentes, sendo eles o ambiente laboratorial, ciclos de umidade e a umidade constante. Seus resultados mostraram perda na aderência entre o CFRP e o concreto, alteração no modo de ruptura, menor tensão de ruptura e diferentes modos de elasticidade das resinas e CFPS degradados em relação aos de referência. Idealizando uma situação real onde a estrutura reforçada pode estar exposta a ambientes externos propõe-se um programa experimental onde se analise, a longo prazo, a influência do intemperismo no comportamento mecânico de vigas de concreto armado reforçadas com CFRP, analisando também os materiais intervenientes.

Esse projeto visa analisar o comportamento e a durabilidade de vigas de concreto armado com CFRP pela técnica EBR expostas ao intemperismo comparando as vigas em ambientes laboratoriais com umidade e temperatura monitoradas, verificando a segurança e eficiência do elemento reforçado após longo período de tempo.

REVISÃO

Materiais compósitos são aquele que possuem duas ou mais fases distintas que quando juntas formam um novo material com características próprias derivadas dos elementos constituintes. Um material compósito com ampla aplicação no cenário atual são os FRP (*Fiber Reinforced Polymers*, em língua inglesa) com aplicação no reforço estrutural. Ele é constituído por duas fases, sendo elas a fibra e a matriz (CARVALHO, 2010). A união destes dois materiais confere a ele um baixo peso próprio e elevada resistência o que permite que aumente a capacidade de carga de maneira significativa de estruturas reforçadas com FRP (*FIB Bulletin 40*, 2007)

A matriz dos FRP é formada por resinas epoxídicas sendo elas termoendurecíveis, ou seja, após o seu processo de cura suas ligações não são reversíveis (GARCEZ, 2007; SILVA 2014). Segundo a *FIB Bulletin* (2007), elas apresentam baixa viscosidade incorporando melhor as fibras, fácil manuseio e sua cura pode ocorrer em temperatura ambiente. De acordo com Silva (2014), as resinas epoxídicas além de serem termoendurecíveis apresentam boa aderência com a fibra, propriedades mecânicas elevadas e fácil processamento, por isso são as mais usadas quando se trata de FRP. A principal função da matriz é distribuir de forma uniforme as tensões para as fibras (CARVALHO, 2010)

As principais fibras que estão sendo utilizadas são as de aramida, vidro e carbono. As fibras representam de 50 a 70% em volume nos FRP, portanto sua escolha interfere diretamente na sua resistência e custo (GARCEZ, 2007). A função no FRP das fibras é a mobilização das tensões que são solicitadas ao reforço (CARVALHO, 2010).

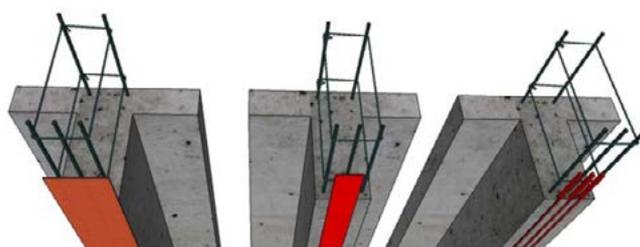
As fibras de carbono apresentam a maior resistência entre as mais comuns, porem possuem também o maior custo. Juntamente com a resina epoxídicas formam os CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymers*) que apresentam bons resultados no reforço de estruturas de concreto armado (DIAS, 2008)

Os CFRP são encontrados de duas formas os pré-fabricados e os curados *in-situ*. No primeiro as fibras são posicionadas de forma unidirecional e as resinas impregnadas por pultrusão e são curadas em ambiente fa-

bril, não se adaptando ao formato da estrutura. Já os curados *in-situ* as fibras são impregnadas pela resina no momento do reforço se transformando em compósito somente após a sua cura, isso faz com que o reforço seja maleável adaptando-se perfeitamente a estrutura (AZEVEDO, 2008).

O código americano ACI 440.2R(ACI,2017) apresenta duas principais técnicas para o reforço de concreto armado utilizando compósitos a base de FRP, sendo elas a EBR (*Externally Bonded Reinforcement*, na língua inglesa) e a NSM (*Near-Surface Mounted*, na língua inglesa). Atualmente a mais utilizada é a EBR, pois é de fácil aplicação, uma vez, que consiste na colagem externa de mantas ou laminados de FRP diretamente no substrato de concreto, oferecendo para a estrutura um considerável incremento de carga (ORLANDO, 2019). Já a segunda técnica, a NSM, consiste em aplicar laminados de FRP em entalhes realizados no concreto da camada de cobertura do elemento estrutural a ser reforçado (SILVA, 2014; ORLANDO, 2019). A Figura 1 apresenta as técnicas de reforço à flexão utilizando FRP, sendo as duas primeiras na técnica EBR utilizando mantas e laminados, respectivamente e a terceira na técnica NSM.

Figura 1: Técnicas de reforço à flexão utilizando FRP



Fonte: CHASTRE (2014)

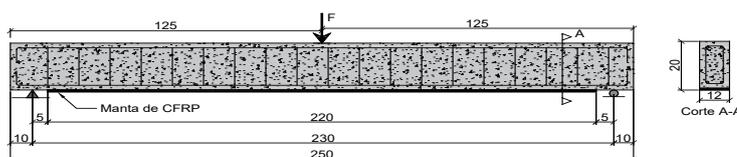
MÉTODO

O trabalho consiste na continuação do programa experimental iniciado em 2017 por Ferreira (2019), o qual é composto pela análise experimental de 12 vigas de concreto armado, com dimensões 12x20x250 cm³, confeccionadas com concreto usinado de 20MPa, estribos de 5mm a cada 10 cm e duas barras de 10mm na armadura longitudinal. Ferreira (2019) aplicou o sistema de reforço composto por uma camada de manta de CFRP em 10 vigas. Para além disso, corpos de prova de resinas e compósitos de CFRP também foram confeccionados e tem sido avaliados ao longo do tempo.

O programa experimental realizado por Ferreira (2019) compreendeu o ensaio de quatro vigas, ensaiadas quando o sistema de reforço apresentava 6 meses de idade, e quatro de referência aos 28 dias após a concretagem, duas dessas possuíam o reforço com 14 dias de idade. Apresenta-se na Figura 2 a geometria das vigas de concreto armado do presente programa experimental. Este trabalho prevê novos ensaios de flexão em vigas na idade de 24 meses, além da caracterização de resinas e compósitos nas idades de 24 meses e 36 meses.

As vigas expostas ao intemperismo estão localizadas na unidade do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizado na UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), onde a radiação, temperatura e pluviometria são monitorados. Já o ambiente laboratorial é localizado em câmara climática localizada no Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) da UFSCar, com temperatura e umidade monitorados.

Figura 2: Geometria da viga de concreto armado do programa experimental



Fonte: Ferreira (2019)

RESULTADOS

Tem-se o intuito de avaliar a degradação do sistema de reforço do concreto e da ligação concreto/adesivo/CFRP por meio da análise dos resultados de ensaio a flexão em diferentes períodos de tempo para vigas expostas ao ambiente externo e ao laboratorial. Comparando esses resultados pretende-se fazer uma modelagem que preveja a degradação do elemento reforçado com o passar do tempo. É importante também analisar qual o material que está sendo degradado através dos resultados dos ensaios dos materiais intervenientes.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Espera-se, na conclusão deste trabalho, obter resultados relevantes quanto aos sistemas de reforço em concreto armado frente a exposição a intempéries, visando a durabilidade do sistema de forma que as análises e dados obtidos possam ser disponibilizados a comunidade acadêmica, uma vez que já é de conhecimento o grande aumento de carga inicial do sistema de reforço.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.2R. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. American Concrete Institute, ACI Committee 440, 116p. 2017.
- AZEVEDO, D. M. M. **Reforço de estruturas de betão com colagem de sistemas compostos de CFRP – Recomendações para Dimensionamento**. 2008. 238 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto.
- CARVALHO, T. S. **Reforço à flexão de vigas de betão armado com compostos de CFRP**. 2010. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova Lisboa, Lisboa.
- DIAS, S. J. E. **Investigação experimental e analítica no reforço ao corte de vigas de betão armado com a técnica de inserção de laminado de CFRP**. 2008. 391 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- FERRARI, V. J.; HANAI, J. B. de. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado com Tecido de Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC) aderido a substrato de transição constituído por composto cimentício de alto desempenho**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 5, n. 5, p. 596-626, out 2012.
- FERREIRA, D.C. **Durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP**. 2019. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Carlos, São Paulo.
- FIB Bulletin 40. **FRP reinforcement in RC structures** – Technical report, Lausanne, Switzerland, 2007.
- GARCEZ, M. R. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímeros reforçados com fibras**. 267 p., Tese (Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS). Porto Alegre - RS, 2007.

ORLANDO, I. G. **Projeto de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos FRP: Dimensionamento à flexão e à força cortante.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. 196p. São Paulo, 2019.

SILVA, J. R. **Reforço híbrido à flexão de vigas “T” de concreto armado com compósitos de fibras de carbono e fibras de vidro.** 2014. 276 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília.

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADOS COM MANTAS DE GFRP EXPOSTOS A MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

Structural behavior of reinforced concrete columns strengthened with GFRP sheets exposed to degradation mechanisms

Discente: **Fabício Antônio Goulart Pereira**, Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Dentre as diferentes técnicas de reforço de estruturas de concreto, destaca-se a baseada no uso de Polímeros Reforçados com Fibras (FRPs - *Fiber Reinforced Polymers*, em língua inglesa), os quais tem se difundido na construção civil principalmente por suas características de baixo peso próprio e sua aplicabilidade. Estudar e contribuir para o banco de dados desta técnica de reforço estrutural torna-se interessante para o conhecimento de todas suas benfeitorias na construção civil. Além disso, as estruturas de concreto armado e conseqüentemente os reforços estruturais estão sujeitos a diferentes tipos de degradação causada pelos ambientes em que estão inseridos. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo estudar a degradação e o comportamento estrutural de pilares de concreto armado encamisados com mantas de polímeros reforçados com fibras de vidros (GFRP - *Glass Fiber Reinforced Polymers*, em língua inglesa) aplicadas segundo a técnica EBR quando exposto ao intemperismo e a umidade constante.

Palavras-Chave: FRP, Reforço, GFRP, Pilares, Degradação.

ABSTRACT

Among the different strengthening techniques of concrete structures, a highlight is given to the one based on the use of Fiber Reinforced Polymers (FRPs), which has been spreading in civil construction mainly due to its low own weight and its applicability. Studying and contributing to the database of this structural strengthening technique becomes interesting for the knowledge of all its improvements in civil construction. In addition, reinforced concrete structures and consequently structural strengthening techniques are subject to different types of degradation caused by the environments in which they are inserted. In this sense, the objective of this work is to study the degradation and structural behavior of strengthened concrete columns with Glass Fiber Reinforced Polymers (GFRP) sheets applied by the EBR technique when exposed to weathering and constant humidity.

Keywords: FRP, Strengthening, GFRP, Columns, Degradation.

INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado estão sujeitas a deterioração causada por choques mecânicos, falta de manutenção, falhas de projetos ou durante a construção, ataques de agentes químicos ou biológicos, ambiente de exposição, sobrecargas não consideradas em projeto, entre outras causas. Esta deterioração tem causado diminuição da vida útil das estruturas, da sua capacidade mecânica e diminuindo sua durabilidade. Visto isso, o reparo ou reforço destas estruturas são vistos como alternativa para manter ou aumentar a vida útil destas estruturas.

Os FRPs são exemplos de materiais compósitos, os quais são elementos formados por dois ou mais elementos com uma fase distinta entre eles. Sua utilização como reforço estrutural vem se difundindo na construção civil e nas pesquisas acadêmicas. Os FRPs são formados pela junção de uma matriz polimérica e fibras de alta resistência a tração, a matriz polimérica por sua vez tem como função aglutinar as fibras e distribuir os esforços igualmente para as fibras (FIB – *Bulletin* 40, 2007). Existem diferentes tipos de fibras utilizadas nos

FRPs, porém, as mais difundidas atualmente são as fibras de vidro (*Glass Fiber Reinforced Polymer - GFRP*, em língua inglesa), as fibras de carbono (*Carbon Fiber Reinforced Polymer - CFRP*, em língua inglesa), as fibras de aramida (*Aramid Fiber Reinforced Polymer - AFRP*, em língua inglesa) e as fibras de basalto (*Basalt Fiber Reinforced Polymer – BFRP*, em língua inglesa)

Diversos autores como Carazedo (2005), Dalfré (2013), Garcez (2007) e Oliveira (2019) vem estudando o comportamento estrutural e a degradação do FRPs utilizados como reforço estrutural de estruturas de concreto armado. Portanto, o estudo da degradação deste tipo de reforço torna-se uma complementação de um banco de dados ainda em construção sobre este tipo de reforço estrutural que tem se difundido na construção civil atualmente.

Oliveira (2019) estudou a degradação de pilares reforçados com mantas de GRFP expostos ao intemperismo e teve como resultado que estes compósitos com seis meses de exposição não sofreram degradação significativas. Assim, estudar a degradação com um tempo de exposição maior e com outros ambientes agressivos torna-se viável para o melhor entendimento e complementação do banco de dados existente deste compósito.

REVISÃO

A degradação de estruturas de concreto armado sempre esteve em pauta nas pesquisas acadêmicas. Quando expostas a diferentes ambientes agressivos, quanto acometidas a choques mecânicos, quando passar por um erro de projeto ou de construção é necessário que estas estruturas sofram reparos ou reforço para manter ou aumentar sua vida útil que foi projetada.

Chastre (2014) demonstra os principais métodos de reforços estruturais existentes atualmente, o reforço por aumento de seção consiste no aumento das dimensões da estrutura e de sua armadura, o reforço com tecidos de compósitos consiste na instalação de tecidos de compósitos na estrutura com argamassas cimentícia, o reforço com chapas ou perfis de aço consiste na colagem de chapas de aço na estrutura a ser reforçada, o reforço com protensão externa consiste na instalação de cabos de protensão externos a estrutura, o reforço por alteração de sistema estrutural consiste na inserção de elementos estrutural que antes não existia e o reforço com polímeros reforçados com fibras (*Fiber Reinforced Polymer – FRP*, em língua inglesa) consiste na aplicação de mantas ou laminados de FRP na estrutura de concreto armado.

As principais características dos FRPs que tornam atrativo sua utilização na construção civil são a neutralidade magnética, a resistência a corrosão, a alta resistência a tração, baixo peso próprio e sua adaptabilidade as formas das estruturas (FIB – Bulletin 40, 2007). Existem dois tipos de FRPs, os pré-fabricados (que possuem controle na sua produção), e os impregnados com a matriz polimérica *in situ* (os quais permitem maior aplicabilidade no momento do reforço da estrutura).

Existem diferentes tipos de fibras, cujo tipo interfere diretamente na capacidade mecânica do compósito (GARCEZ, 2007). Além disso, a direção em que as fibras estão dispostas também influenciam a capacidade mecânica do compósito, podem estar dispostas de forma unidirecional, bidirecional ou multidirecional (CARNEIRO e TEIXEIRA, 2008).

A matriz polimérica tem por objetivo envolver e proteger as fibras e de resistir aos esforços de flambagem, pois as fibras não resistem a estes esforços (CARNEIRO e TEIXEIRA, 2008). Existem dois tipos de matrizes poliméricas, as termorrígidas e as termoplásticas. As termoplásticas são influenciadas pela temperatura e possuem alta viscosidade que atrapalham a incorporação com as fibras. As termorrígidas são comumente utilizadas nos FRPs pois a temperatura não altera sua rigidez, apenas degradam em altas temperaturas e possuem baixa viscosidade. Dentre as termorrígidas a mais utilizada é a resina epóxi (FIB – Bulletin 40, 2007).

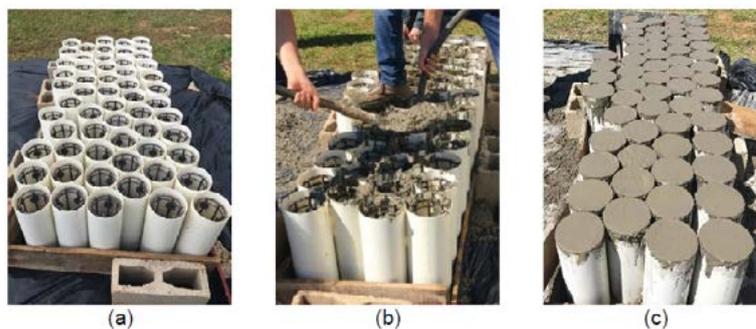
O método de aplicação dos FRPs pode ser realizado por meio de técnicas distintas, a *Externally Bonded Reinforcement* (EBR), que consiste na colagem externa do FRP, e a *Near Surface Mounted* (NSM), que consiste na inserção dos FRPs no concreto de cobertura da estrutura. Chastre (2014) e Oliveira (2019) demonstram que a aplicação de FRPs no encamisamento de pilares tem proporcionado grandes ganhos de resistência para os pilares.

MÉTODO

O trabalho tem como objetivo analisar a degradação e a capacidade mecânica de pilares reforçados com manta de GFRP encamisados pela técnica EBR exposto ao intemperismo e a umidade constante. O estudo será realizado por meio da confecção de pilares reforçados com GFRP e a confecção de corpos de provas de cada constituinte do reforço. Posteriormente, estes elementos serão expostos a dois ambientes de degradação e ensaiados em idades pré-determinadas.

Os pilares que serão utilizados neste trabalho foram confeccionados por Oliveira (2019) em seu estudo. Consistem em pilares fracamente armados, com seção transversal de 15 centímetros e altura de 45 cm. Foram concretados com concreto usinado de 30 MPa e armados longitudinalmente com 6 barras de aço CA-50, de diâmetro de 8 mm, e transversalmente com barras de aço CA-60, de diâmetro de 5 mm, e espaçadas a cada 127 mm. Parte dos pilares serão reforçados e todos serão expostos a três ambientes: laboratorial (o qual servida como referência), intemperismo e umidade constante. O intuito dos ensaios de compressão axial dos pilares é obter dados relativos à capacidade de carga, deformação e degradação.

Figura 1: Etapas de Concretagem dos Pilares



Legenda: (a) Posicionamento das fôrmas; (b) lançamento e vibração do concreto nas fôrmas; e (c) aspecto final na concretagem. Fonte: Oliveira (2019)

O sistema de reforço é constituído de dois tipos de resinas poliméricas (*primer* e laminação) e pela manta de GFRP. Assim, corpos de prova destes materiais também serão confeccionados, expostos aos mesmos ambientes dos pilares e ensaiados em idades pré-determinadas para obtenção da tensão máxima de tração, o módulo de elasticidade e o comportamento na ruptura dos elementos.

Por meio desta metodologia busca analisar o sistema de reforço aplicado nos pilares, com o ensaio dos pilares reforçados com GFRP e também avaliar cada elemento constituinte do sistema de reforço em questão, por meio dos ensaios de cada elemento.

RESULTADOS

O intuito do estudo é obter dados da influência dos ambientes de degradação nos pilares reforçados com GFRP e nos materiais intervenientes por meio da análise da capacidade de carga, deformação e comportamento na ruptura, avaliando a possível degradação do sistema de reforço.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Pretende-se contribuir com o banco de dados existente de pilares reforçados com GFRP quando expostos ao intemperismo e incluir resultados relativos a degradação frente a exposição a umidade constante.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.2R-17** – Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. 2017.

CAROLIN, A. **Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements**. Doctoral Thesis (Luléa University of Technology) - Department of Civil and Mining Engineering Division of Structural Engineering. 194 p., 2003.

CARNEIRO, L. A. V.; TEIXEIRA, A. M. A. J. Propriedades e características dos materiais Compósitos poliméricos aplicados na engenharia e construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v.3, p. 54-66, 2008.

CARRAZEDO, R. **Mecanismos de confinamento em pilares de concreto encamisados com polímeros reforçados com fibras submetidos à flexo-compressão**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 267 p. São Carlos, SP, 2005.

CHASTRE, C. **Materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão potencialidade e limitações**. REHABEND 2014 – Congresso Latinoamericano “Patología de la construcción, Tecnología de la rehabilitación y gestion del patrimonio”. Santander, Espanha. 10p. 2014.

DALFRÉ, G. M. **Flexural and shear strengthening of RC elements**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2013.

FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BETÓN. **Bulletin 35**: Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs. Lausanne, Switzerland, p. 2017, 2006.

FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BETÓN. **Bulletin 40**: FRP reinforcement in RC structures. Lausanne, Switzerland, p. 147,2007.

GARCEZ, M. R. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímeros reforçados com fibras**. 267 p., Tese (Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS). Porto Alegre - RS, 2007.

OLIVEIRA, M. C. **Análise do Comportamento Estrutural e Durabilidade de Pilares de Concreto Armado Reforçados com Manta de GFRP**. 163 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. São Carlos, São Paulo, Brasil, 2019.

AVALIAÇÃO AO LONGO DO TEMPO DA ADERÊNCIA DE BARRAS DE GFRP E BARRAS DE AÇO EM AMBIENTE MARINHO

Assessment over time of adherence of GFRP bars and steel bars in the marine environment.

Discente: **Gabriel Henrique Morgan**, Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian / Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

O emprego de barras de fibra de vidro (GFRP, do inglês *Glass Fiber Reinforced Polymer*) tem se tornado cada vez mais presente na área da construção civil, devido a vantagens como: alta resistência a tração, origem não magnética e baixa susceptibilidade a corrosão. Tendo em vista essa possibilidade existe a necessidade de ampliar o estudo, principalmente porque no Brasil não possui uma norma regulamentadora nacional. Nesse sentido, a pesquisa aborda a análise experimental do comportamento da aderência de barras de GFRP e concreto quando expostos a um ambiente com alta concentração de cloretos e umidade. Serão avaliadas tanto barras de GFRP quanto barras de aço, para modelos de referência sem a exposição a este ambiente e modelos que em um determinado prazo ficarão expostos, posteriormente por meio de ensaios de arrancamentos serão obtidos os valores de resistência da ligação das barras com o concreto e verificado se o ambiente ocasiona algum dano para aderência em ambas as barras.

Palavras-Chave: GFRP, cloretos, umidade, aderência

ABSTRACT

The use of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) has become increasingly present in the building construction due to advantages, such as high tensile strength, non-magnetic origin and low susceptibility to corrosion. Facing this possibility, it is necessary to expand the study, mainly because there is not a national regulatory standard in Brazil. In this sense, the research addresses the experimental analysis of the adherence behavior of GFRP and concrete bars when exposed to an environment with high chloride and moisture concentration. Both GFRP and steel bars will be assessed, for reference models without exposure to this environment and models that will be exposed in a certain period of time later, through pullout tests, resistance values will be obtained from the bonding of the bars to the concrete and checked if the environment causes any damage on both bars adhesion.

Keywords: GFRP, chlorides, moisture, adhesion

INTRODUÇÃO

O início da utilização de barras com fibras, remete-se ao ano de 1940, pós-segunda guerra mundial e início da guerra fria, no qual ocorreu grandes avanços na indústria aeroespacial, que necessitava de um material leve e com alta resistência (ACI 440 1R, 2015). A sua utilização dos Polímeros Reforçados com Fibras (*FRP, em língua inglesa*) na construção civil está relacionado diretamente com a expansão do sistema rodoviária dos EUA na década de 50, pois, houve a necessidade do aumento de manutenções nas pontes devido a aplicação de sais ricos em cloretos a fim de realizar o degelo. Esta prática ocasionava a redução do pH no interior do concreto iniciando um processo corrosivo das armaduras metálicas, acarretando o aumento dos custos de reparos (ACI 440 1R, 2015).

Tendo em vista a susceptibilidade a processos corrosivos das barras metálicas, surge a necessidade de se expandir os estudos de novos materiais que apresentam maior resistência ao ataque de agentes agressivos, como o por exemplo as barras de GFRP que serão analisadas nesta pesquisa.

Porém a ausência de uma norma regulamentadora nacional que caracterize e informe de forma conjunta a realidade brasileira com essas barras, torna difícil a expansão dessa técnica construtiva no Brasil.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar e comparar o comportamento dos mecanismos de aderência do concreto com as barras de fibra de vidro e as barras de aço, tendo em vista um ambiente com alta concentração de cloretos e umidade, assim como encontrado nas regiões litorâneas e marinhas.

REVISÃO

Existem diversas vantagens que as barras de FRP apresentam quando comparadas as de aço, tais como: alta resistência a tração, propriedades não magnéticas e ótima resistência a corrosão, possibilitando sua utilização em ambientes agressivos como pontes, garagens externas e estruturas *off-shore* (KOTYNIA *et al.*, 2017).

As principais fibras comercializadas e utilizadas dentro da construção civil são as fibras de carbono, aramida e as de vidro (FIB-BULLETIN 40, 2007).

O processo de produção das barras de GFRP é por meio da pultrusão, na qual as fibras juntamente com a resina são esticadas, formando as barras. As principais fibras de vidros comercializadas são: *E-Glass* na qual possui o menor custo, *S-Glass* possui maior módulo de elasticidade e resistência à tração e as *AR-Glass* que por meio da adição de zircônia possuem maior resistência ao ambiente alcalino, encontrado, principalmente, no interior do concreto (FIB-BULLETIN 40, 2007).

O concreto armado convencional é constituído pela união de dois materiais, sendo eles: concreto e a armadura passiva, cuja função principal é absorver os esforços de tração que surgem mediante as condições em que a peça é submetida (FUSCO, 1976).

A fim de que os dois materiais que compõem o concreto armado tenha um desempenho satisfatório, a ligação entre eles deve se manter forte e constante, garantindo que o alongamento ou deformação relativa das barras e das fibras do concreto se mantenham iguais, evitando, assim, o escorregamento entre os elementos (LEONHARDT; MÖNNIG, 1978).

Tendo em vista todo o mecanismo de aderência é possível citar estudos que analisaram alguns parâmetros que podem influenciar no comportamento da ligação tanto de barras de aço como também de GFRP com o concreto.

Estudos realizados por Zemour *et al.* (2019), mostram que o comportamento de vigas moldadas em concreto normal e auto adensável aparentam similaridades em relação ao modo de ruptura, padrões de trincas e deflexões relativas as cargas. Porém, foi notado pelo autor, que tanto as barras de aço como também as de GFRP obtiveram forças de aderência um pouco maior no concreto normal quando comparado ao auto adensável, nas quais reduziram 9% e 7%, respectivamente, o valor de resistência na ligação.

O módulo de elasticidade é um parâmetro que influencia diretamente na resistência da ligação entre as barras e o concreto. Segundo Solyom *et al.* (2018) comparando-se diversas misturas de concreto, com a utilização de barras com diâmetro de 9.5 mm, tanto de CFRP quanto de GFRP cujos módulos de elasticidades são 127GPa e 42,5GPa respectivamente, foram obtidos aumentos de tensão de aderência de 3,9% a 29,7% para as barras de CFRP, quando comparadas com as GFRP.

Em estudos realizados Kotynia *et al.* (2017), verificou-se a influência do diâmetro da barra, sendo que quanto maior, menor é a tensão atuante de cisalhamento na ligação, diminuindo também o escorregamento da barra na extremidade, devido principalmente ao acréscimo do comprimento da emenda, na qual resulta em uma área de contato maior entre a barra e o concreto.

Este efeito foi observado, também, nos estudos realizados por Sena-Cruz, *et al.* (2018), quando compararam diâmetros de 12mm com o de 8mm, resultando em um aumento de resistência aderente de aproximadamente 172%.

MÉTODO

O desenvolvimento da pesquisa será dividido em duas etapas, sendo elas: ensaios de caracterização dos materiais e avaliação da aderência após exposição a ambiente degradante.

Na primeira etapa serão determinadas as dosagens dos materiais que compõem o concreto, com a finalidade

de elaborar um traço para cada classe de resistência.

As classes de resistência à compressão que serão utilizadas serão de 20 MPa devido ao alto índice de porosidade, fator relevante para o estudo de ingresso de cloretos, e a classe de 35 MPa, a qual possui grande aplicação nas obras de construção civil no Brasil. Com relação as barras de fibras de vidro, serão utilizadas as da categoria *E-Glass* devido ao seu baixo custo, com dois diâmetros, sendo eles: 10mm e 20mm.

Tanto as barras de GFRP quanto as barras de aço terão suas propriedades obtidas por meio de tração direta conforme as diretrizes da ASTM D7205/D7205M (ASTM, 2016), obtendo os comportamentos: tensão-deformação e o módulo de elasticidade.

Na segunda etapa do programa experimental terão início os ensaios de arrancamento direto (*Pull-Out Test*) normalizado pela RILEM-FIP-CEB (1973), o qual também é citado na ASTM C234 (ASTM, 1991). Esse é o procedimento é o mais utilizado para a determinação da aderência devido ao seu, possui um baixo custo e simplicidade na execução, além de fornecer resultados objetivos a respeito da ancoragem de barra (FRANÇA, 2004).

O ensaio consiste basicamente na extração de uma barra de aço localizada no centro de um corpo de prova prismático, com dimensões definidas, apoiado em placas contidas na própria máquina. Em uma das extremidades é aplicado uma força de tração e na outra extremidade é aferido, por meio de um aparelho chamado de deflectômetro ou LVDT, o seu deslocamento (TAVARES, 2012).

Definido os ensaios, a pesquisa se desenvolverá com a elaboração de corpos de prova com modelos de referência, ou seja, sem a exposição a um ambiente agressivo e corpos de prova expostos a este ambiente.

RESULTADOS

Os resultados esperados relacionam a degradação das barras de aço submetidas ao ambiente nocivo com os obtidos para as barras de GFRP. A tabela 1 relaciona os modelos com as variáveis analisadas.

Tabela 1 – Resumo das variáveis dentro do programa experimental

Modelos	Nomenclatura	f_{ck} (MPa)	Diâmetro (mm)	Repetições
Referência	REF-G-Nº-C20-10	20	10	5
	REF-G-Nº-C20-20		20	5
	REF-G-Nº-C35-10	35	10	5
	REF-G-Nº-C35-20		20	5
	REF-A-Nº-C20-10	20	10	5
	REF-A-Nº-C20-20		20	5
	REF-A-Nº-C35-10	35	10	5
	REF-A-Nº-C35-20		20	5
Ambiente Nocivo	AN-G-Nº-C20-10	20	10	5
	AN-G-Nº-C20-20		20	5
	AN-G-Nº-C35-10	35	10	5
	AN-G-Nº-C35-20		20	5
	AN-A-Nº-C20-10	20	10	5
	AN-A-Nº-C20-20		20	5
	AN-A-Nº-C35-10	35	10	5
	AN-A-Nº-C35-20		20	5
TOTAL				80

Fonte: Autor (2019)

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

A fim de contribuir para ampliação do conhecimento e desenvolvimento da utilização de barras GFRP no Brasil, este trabalho buscará por meio de métodos experimentais, analisar e comparar o comportamento e o desempenho relacionado com a aderência de barras de GFRP e barras de aço quando expostas a um ambiente nocivo, representado por toda região litorânea brasileira, a qual possui grande campo de aplicação, devido à alta concentração de cloretos e alta umidade que podem levar a corrosão das armaduras metálicas convencionais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440 1R - Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars**. United States: 2015

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C234: Standard test method for comparing concretes on the basis of the bond developed with reinforced steel**. Philadelphia, 1991.

_____. **ASTM D7205/D7205M: Standard test method for tensile properties of fiber reinforced polymer matrix composite bars**. West Conshohocken, 2016

SENA - CRUZ, J.; PEREIRA, E.; FREITAS, N.; PEREIRA, E.; SOARES, S. **Bond behaviour between gfrp rods and concrete produced**. n. July, p. 8, 2018.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. **FIB-BULLETIN, 40. FRP reinforcement in RC structures**. International Federation for Structural Concrete, Lausanne: 2007.

FRANÇA, V. H. **Aderência Aço-Concreto – Uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha**. Ilha solteira. 128p. Dissertação de mestrado, UNESP, 2004.

FUSCO, P. B. **Estruturas de Concreto: Fundamentos do projeto estrutural**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1976.

KOTYNIA, R.; SZCZECH, D.; KASZUBSKA, M. **Bond behavior of GRFP bars to concrete in beam test**. *International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures AMCM'2017*, p. 401-408, 2017.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto: casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro, Interciência, 1978.

RILEM-FIP-CEB. **Bond Test for Reinforcing Steel, 1. Beam Test (7 – II – 28 D), 2. Pull-Out Test (7 – II – 128), Tentative Recommendations**, RILEM Journal Materials and Structural, v.6, n. 32, p. 96-105, 1973

SOLYOM, S.; DI BENEDETTI, M.; SZIJÁRTÓ A.; BALÁZS, G. L. **Non-metallic reinforcements with different moduli of elasticity and surfaces for concrete structures**. *Architecture Civil Engineering Environment*, n. 2, p. 79–88, 2018.

TAVARES, A. J. **Aderência aço-concreto: análise numérica dos ensaios Pull-Out e Apulot**. Ilha Solteira. 143p. Dissertação de mestrado, UNESP 2012.

ZEMOUR, N.; ASADIAN, A; AHMED, E. A.; BENMOKRANE, B.; KHAYAT K. H. **Experimental Study on Splice Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bars in Normal and Self Consolidating Concrete**. *ACI Materials Journal*, v. 116, n. 3, p. 105–118, 2019.

ANÁLISE NUMÉRICA DA INFLUÊNCIA DE ABERTURAS EM LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE

Numerical study about the openings influence on hollow core slabs submitted shear strain

Discente: **Igor Pacchioni Cândido da Silva**, Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

As vantagens do uso das lajes alveolares pré-fabricadas protendidas, fez com que elas se tornassem um sistema competitivo no mercado da construção civil. Entretanto, por se tratar de uma peça fabricada em indústria, é necessário realizar adaptações, aberturas e cortes nos painéis, a fim de compatibilizar a estrutura com as demais disciplinas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento estrutural dos painéis alveolares com aberturas quando submetidos ao esforço cortante. Para isso, será realizada uma análise numérica não-linear por meio do software ABAQUS® e uma análise paramétrica em cima das variáveis de maior interferência nos modelos constitutivos. Por fim, espera-se que os resultados possam convergir com o comportamento esperado, sendo as aberturas responsáveis pela perda da capacidade portante dos painéis.

Palavras-Chave: lajes alveolares, pré-fabricadas, protendidas, elementos finitos.

ABSTRACT

The advantages of using precast and prestressed hollow core slabs, made it a competitive system in the construction. Meanwhile, as part manufactured in industry, adjustments, openings and skew cuts in the panels are necessary, to make the structure and the other disciplines compatible. Therefore, the presente study aim is to analyze the structural behavior of hollow core slabs with openings when submitted to shear strain. To reach this objective, a nonlinear numerical analysis using the software ABAQUS® and a parametric analysis with the high interference variables in the constitutive model will be made. Finally, the expectative is that the results may converge with predicted behavior, that the openings are the reason for the loss of carrying capacity of the panels.

Keywords: hollow core slabs, precast, prestressed, finite elements.

INTRODUÇÃO

Dentre as inúmeras opções de racionalização das estruturas, a utilização de elementos pré-moldados encontra-se como uma alternativa viável, pois garante agilidade no processo e maior fluxo de continuidade nos canteiros, a fim de diminuir o tempo de obra, bem como garantir qualidade e segurança durante este processo. Os pavimentos formados por lajes alveolares são considerados estruturalmente eficientes, uma vez que são capazes de vencer grandes vãos devido a sua combinação da seção geométrica e a protensão (MARCOS, 2015).

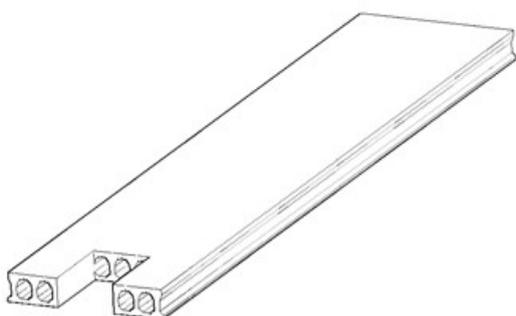
Stanton (1992) afirmou que a utilização de painéis alveolares para pisos e forros é uma solução estrutural avançada, possuindo montagem rápida e custo competitivo por causa do melhor uso dos materiais, além do alívio de sobrecarga se comparado a lajes maciças moldadas no local, por causa de sua altura reduzida e a abertura dos alvéolos a diminuição do peso próprio torna a estrutura mais eficiente. Por essa razão, essas

lajes representam cerca de 40% a 60% do mercado de pisos pré-moldados, atingindo uma produção mundial de cerca de 200 milhões de m² (FIB, 2011).

A sua utilização é muito comum em grandes obras havendo a necessidade de compatibilização entre as lajes alveolares e arquitetura, tornando-se necessário a execução de aberturas e corte oblíquos em painéis alveolares. Estas aberturas podem gerar um acúmulo de tensão na região próxima as discontinuidades, bem como a diminuição da capacidade resistente do painel, além de gerar acréscimos de tensões nos painéis adjacentes. A Figura 1 apresenta um dos tipos de abertura, conhecido como recorte de canto ou extremidade, utilizado para a adequação do painel com os pilares pré-fabricados.

Figura 1: Recorte de extremidade

Fonte: Pinheiro (2017)



Nota-se que, por causa do seu processo produtivo, estes sistemas de lajes não possuem armadura transversal, logo, a resistência ao esforço cortante está diretamente relacionada a geometria do alvéolo e a dosagem do concreto (PINHEIRO *et al*, 2017).

Portanto, quando se associa aberturas em painéis alveolares com esforços cortantes, trata-se de um dos modos de ruptura e falha deste sistema, sendo necessário melhor interpretação e estudos mais aprofundados a respeito deste tema.

REVISÃO

As lajes alveolares protendidas são elementos pré-fabricados que contêm vazios contínuos ao longo de seu comprimento, proporcionando uma redução de peso próprio e do custo de fabricação (CHENG E WANG, 2010). Palmer e Schultz (2010) em seus estudos demonstraram que os vazios gerados pelos alvéolos apresentam uma continuidade ao longo da laje e o concreto que preencheria o espaço não possui uma contribuição significativa para a resistência a flexão, justificando assim sua seção transversal. Além de reduzir o peso do elemento, os vazios forneceriam um espaço físico para a passagem das instalações elétrica e hidráulica.

Pinheiro (2017) comentou que, por causa do processo produtivo, as lajes alveolares em sua grande maioria não fazem o uso de armadura transversal, sendo o esforço cortante resistido pela protensão da armadura longitudinal e pela resistência à tração do concreto.

Alguns estudos foram realizados a fim de compreender o comportamento estrutural destes elementos quando submetidos à esforços com a presença de aberturas. Dentre eles, destacou-se Bernardi *et al* (2008 e 2012), a respeito da influência de pequenas e grandes aberturas no comportamento estrutural de lajes alveolares, por meio da análise não-linear de elementos finitos, diferentes dimensões e localizações de aberturas foram estudadas com base nas ocorrências mais comuns do ponto de vista prático.

Logo, os trabalhos apresentados por Bernardi *et al* (2008 e 2012) revelaram a influência das aberturas em

panos de lajes submetidos a flexão e a força cortante mostrando seu desempenho estrutural nos painéis adjacentes às de aplicação dos esforços, havendo perda de capacidade resistente, assim como a melhora do desempenho quando executado o capeamento estrutural.

Em estudo realizado por Pinheiro (2017) no laboratório NETPRE na Universidade Federal de São Carlos, cujo objetivo era analisar a influência das aberturas e cortes oblíquos em LAP's submetidas aos esforços cortantes, por meio de um programa experimental. O autor produziu cerca de 11 lajes pelo processo de formas deslizantes, variando a localização e dimensões das aberturas e ângulos dos cortes.

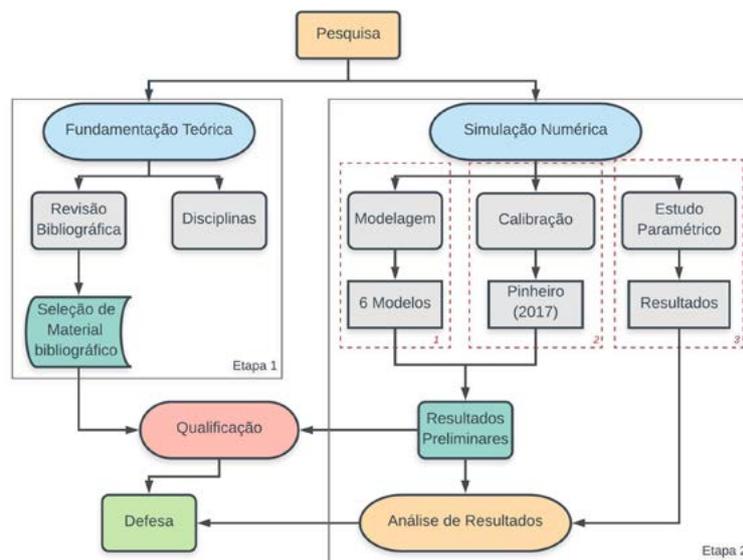
O autor concluiu que o decréscimo de capacidade de resistência ao esforço cortante tende a ser mais acentuado conforme se aumenta a área extraída, ou ao se diminuir o ângulo entre a região cortada e a cordoalha.

MÉTODO

A presente pesquisa será desenvolvida inicialmente por uma breve revisão bibliográfica a respeito do assunto, um levantamento na literatura técnica nacional e internacional será realizado, posteriormente, uma análise numérica por meio do software de elementos finitos ABAQUS®, a fim de verificar a influência das aberturas e cortes oblíquos em painéis alveolares quando submetidos ao esforço cortante.

A segunda parte do trabalho, que trata a respeito da análise numérica, será subdividida em três etapas, sendo elas: modelagem dos modelos de estudo, calibração, e por fim estudo paramétrico das variáveis envolvidas. A Figura 2 apresenta um fluxograma da pesquisa, a fim de ilustrar melhor o processo.

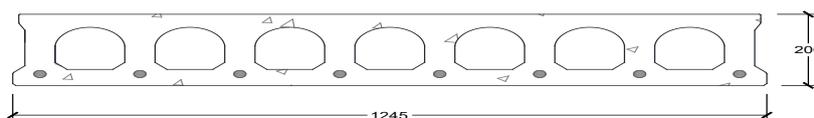
Figura 2: Fluxograma da Pesquisa



Fonte: Autor (2019).

Os seis modelos de estudos, conforme Figura 2, serão formados por painéis com 200 mm de altura e 6000 mm de comprimento, além de 1245 mm de largura. O painel A será o de referência, sem aberturas e nem cortes, já o painel B1 possuirá uma abertura de 40x40 cm na região central do vão, o painel B2, apresentará uma abertura de extremidade de 60x60 cm. E os painéis C1, C2, C3 apresentaram cortes de 30º, 45º e 60º respectivamente.

Figura 2: Seção Transversal



Fonte: Autor (2019).

Posteriormente a modelagem, será dado início ao processo de calibração dos modelos, por meio dos resultados de caracterização dos materiais encontrados por Pinheiro (2017). Será realizado a parametrização das variáveis no software ABAQUS®. Em seguida, uma comparação entre os resultados de força máxima resistida, valores de tensões, valores de deformações e deslocamentos obtidos numericamente com o experimental será feita, a fim de validar os modelos constituídos por meio da interface computacional.

Por fim, um estudo paramétrico será realizado, cuja finalidade é avaliar quais variáveis possuem maior influência nas deformações e tensões das regiões próximas as aberturas, tendo com possíveis variáveis a altura do painel alveolar, as dimensões das aberturas e o diâmetro das cordoalhas. Quaisquer outras variáveis, sejam geométricas ou específicas dos materiais, que se julguem importante nas análises também serão incorporadas ao estudo paramétrico.

RESULTADOS

Os resultados do estudo paramétrico serão analisados por meio de um tratamento estatístico e apresentados em forma de gráficos, tabelas ou qualquer outra ferramenta que julgar-se de fácil interpretação. Espera-se que haja uma influência significativa das aberturas quanto a perda de capacidade portante dos painéis, além de uma elevada perda de protensão devido as descontinuidades das cordoalhas.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conclui-se que o tema abordado tem sido objeto de recentes estudos e pesquisas tornando-se relevante para a compreensão do comportamento deste sistema construtivo. Por fim, espera-se contribuir para um melhor entendimento sobre o assunto e dessa forma, fornecer maior domínio técnico a respeito das aberturas em lajes alveolares pré-fabricadas protendidas.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, P.; CERIONI, R.; MICHELINI, E. **Numerical study on the structural behaviour of hollow core slabs with small openings**, in: Advances in Reinforced Concrete and Precast Constructions, Edited by Marco Di Prisco, 2008, 53-61.

BERNARDI, P.; CERIONI, R.; GARUTTI, N.; IORI, I.; MICHELINI, E. **Numerical study on structural behavior of HC floors with large openings: short report on research activity**. International Conference on Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures - França, 2012.

MARCOS, L. K. **Sensibilidade a vibrações de pavimentos com lajes alveolares**. 2015. 136p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

STANTON, J.F. **Response of hollow-core slabs floors to concentrated loads**. PCI Journal. July-August 1992. PCI Journal, v. 36, n.4, pp 98-113, Chicago, IL, July-August, 1992.

FIP. **Precast prestressed hollow core floors**. The International Federation for Structural Concrete, Draft May 2011.

PINHEIRO, G.L., ALMEIDA FILHO, F. M. e CARVALHO, R.C. **Lajes alveolares pré-fabricadas: estudo da influência do número e do instante de preenchimento de alvéolos no ganho de resistência à força cortante**. Revista Matéria, v. 22, n. 4, Junho, 2017.

CHENG, S., WANG, X. **Impact of interaction between adjacent webs on the shear strength of prestressed concrete hollow-core units.** PCI Journal, v. 55, n. 3, pp. 46-63, Chicago, IL, Summer 2010

PALMER, K.D., SCHULTZ, A.E. **Factors affecting web-shear capacity of deep hollow-core units.** PCI Journal, v. 55, n. 2, pp. 123-146, Chicago, IL, Spring 2010.

PINHEIRO, G.L. (2017). **Estudo sobre a influência de aberturas e cortes oblíquos na resistência ao esforço cortante em lajes alveolares protendidas pré-fabricadas.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção civil, Universidade Federal de São Carlos, 269p, São Carlos, SP, 2017.

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE E PROJETO DE ESTRUTURAS DE COBERTURA COM TRELIÇAS PLANAS DE MADEIRA

Computational Tool for Analysis and Design of Roof Structures with Flat Timber Trusses

Discente: **Iuri Fazolin Fraga**, Bacharel em Engenharia Civil, Especialista em Estruturas de Concreto

Orientador: Prof. Dr. André Luis Christoforo

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Por conta de suas vantagens, a madeira tem sido utilizada em estruturas de muitas edificações, principalmente nos países desenvolvidos. Entretanto, no Brasil seu consumo é baixo devido aos preconceitos resultantes da má utilização e falta de conhecimento de suas propriedades. Sua principal aplicação na construção civil brasileira é observada em telhados de edificações residenciais. No entanto, na maioria dos casos é dimensionada de forma empírica e por pessoal não especializado. Sendo assim, o presente trabalho objetiva desenvolver um *software* para análise e projeto de estruturas de madeira para telhados com treliças planas, considerando o novo projeto de norma da NBR 7190. Pretende-se avaliar a influência de uma simulação mais refinada do carregamento devido ao peso-próprio, considerando a densidade das barras por nó e não por unidade de área. Além disso serão simulados vários modelos para avaliar o consumo de madeira com ligações de Chapas C.D.E em relação a ligações com pinos.

Palavras-Chave: *software*; estruturas de madeira; treliças; ligações.

ABSTRACT

Due to its advantages, wood has been used in structures of many buildings, mainly in developed countries. However, in Brazil its consumption is low due to the prejudices resulting from misuse and lack of knowledge of its properties. Its main application in Brazilian construction is observed on roofs of residential buildings. However, in most cases it is empirically sized and by non-specialized personnel. Thus, the present work aims to develop a software for analysis and design of wooden structures for roofs with flat trusses, considering the new standard project of NBR 7190. It is intended to evaluate the influence of a more refined simulation of the loading due to its own weight, considering the density of the bars per node and not per unit of area. In addition, several models will be simulated to evaluate wood consumption with Connections of C.D.E in relation to connections with pins.

Keywords: software; wooden structures; trusses; connections.

INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem na construção civil, demonstrando ao longo do tempo um importante papel com vantagens consideráveis (CALIL JUNIOR; DIAS, 1997). Atualmente, se destaca por ser um excelente material para a concepção e construção de estruturas inovadoras, apresentando estética agradável, confiabilidade técnica, sustentabilidade e, em muitos casos, competitividade econômica (CALIL NETO, 2011).

Além de ser um material sustentável, ou seja, com uma produção que demanda muito menos energia que a do cimento e o aço, a madeira possui uma excelente relação resistência/peso, sendo possível projetar estruturas mais robustas, aliviando as cargas na fundação (PFEIL; PFEIL, 2015).

Por conta de suas vantagens, em vários países do Hemisfério Norte, o uso deste material se tornou corriquei-

ro. Entretanto, no Brasil o cenário é distinto: muito pouco de sua diversidade é explorada na construção civil, resultado dos preconceitos inerentes ao material. Tais preconceitos advêm da má utilização e da insuficiente divulgação das informações tecnológicas já disponíveis, que em muitos casos gera problemas de durabilidade nas estruturas (CALIL JUNIOR *et al.*, 2019).

Quando comparada ao concreto e ao aço, a madeira ainda é um elemento estrutural pouco difundido no país, apesar de suas inúmeras vantagens. Por conta disso, sua utilização é mais notória em telhados de edificações residenciais e rurais. Entretanto, frequentemente essas estruturas são dimensionadas de forma empírica e por pessoal não especializado, gerando um desempenho ruim e o conseqüente preconceito com o material (PARTEL, 2000).

Atualmente, há muitos estudos realizados envolvendo a madeira. No entanto, dispõe-se de poucas ferramentas computacionais voltadas à análise e projeto de estruturas de cobertura aplicadas à madeira. Uma vez que estas últimas ainda representam a maior parcela do consumo de madeira na construção civil do Brasil, e que simultaneamente vem enfrentando problemas devido à má utilização do material, torna-se mais necessário o incentivo à elaboração de ferramentas técnicas que aglutinem os conhecimentos requeridos em análise de estruturas, juntamente com as rotinas de dimensionamento recomendadas pelas normas técnicas.

Portanto, o trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para análise e projeto de estruturas de cobertura constituídas de treliças planas de madeira. Conseqüentemente, por meio da ferramenta, pretende-se avaliar a influência do levantamento refinado do carregamento devido ao peso próprio sobre o dimensionamento das barras. Além disso, almeja-se realizar um comparativo do consumo de madeira utilizando ligações com Chapas de Dentes Estampados (C.D.E.) e ligações com pinos.

No Brasil, o documento normativo que rege as diretrizes de projeto e dimensionamento, bem como ensaios e caracterização da madeira é a NBR 7190 (ABNT, 1997). Contudo, em 2013 foi apresentado um novo projeto de norma que introduziu algumas abordagens que estavam omissas na versão anterior. Sabendo das poucas ferramentas computacionais que o mercado dispõe, e que em sua maioria tratam da versão de 1997, mais uma vez torna-se eficaz uma abordagem computacional utilizando o novo processo normativo.

REVISÃO

A análise estrutural é a etapa mais importante de um projeto de estruturas. Seus resultados serão utilizados no dimensionamento estrutural. Dos inúmeros métodos de análise, o MEF (Método dos Elementos Finitos) tem se mostrado uma excelente ferramenta para obtenção de comportamento e desempenho mecânico dos materiais. A literatura, por sua vez, apresenta diversos trabalhos que utilizaram este método para análise e comportamento de estruturas de madeira.

Baseado no MEF, Hassanieh *et al.* (2017) investigou o comportamento mecânico das conexões compostas de aço-madeira. Nos modelos desenvolvidos, o comportamento não linear e a falha da madeira são capturados por um critério de falha baseado em estresse formulado no âmbito da mecânica de danos contínuos. Foram concluídos que os modelos de elementos finitos desenvolvidos replicavam adequadamente o modo de ruptura e falha de deslizamento de carga das conexões compostas de aço e madeira híbridas testadas.

Thi *et al.* (2017) utilizaram o MEF para analisar a transferência de calor através dos elementos da madeira expostas ao fogo. Com base nos abrangentes modelos analíticos unidimensionais da pirolise, foi implementado um modelo de FE através de uma subrotina definida pelo usuário no *software* de simulação, a fim de descrever mais de perto o fenômenos físicos reais que descrevem o comportamento da madeira exposta ao fogo. Dessa forma foi apresentada a implementação da subrotina UMATHT no *software* Abaqus. Os resultados obtidos mostraram-se semelhantes aos experimentais apresentados na literatura.

Além desses estudos, existem muitos outros que tratam do MEF para análise e comportamento das estruturas de Madeira. Entretanto, há poucas ferramentas técnicas que aplicam os valores obtidos na análise no dimensionamento proposto pelas normas técnicas. No caso do Brasil, há uma escassez dessa aplicação, principalmente quando se trata do novo projeto de norma da NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo possível apresentar uma abordagem voltada ao projeto de estruturas de cobertura em madeira.

MÉTODO

Para análise dos resultados, será programado um *software* utilizando a linguagem *VB.NET* na plataforma do *Visual Studio Community 2019*. A linguagem *VB.NET* foi escolhida por ser uma linguagem de fácil compreensão, apresentando as ferramentas de controles necessárias para o alcance do objetivo. O *software* poderá ser usado em sistemas que apresentem ao menos Windows 7, processador 1.66 GHz (1CPU), memória de 1 GB *ram* e placa de vídeo de 252 MB. Ressalta-se que toda a inserção de dados será de total responsabilidade do usuário.

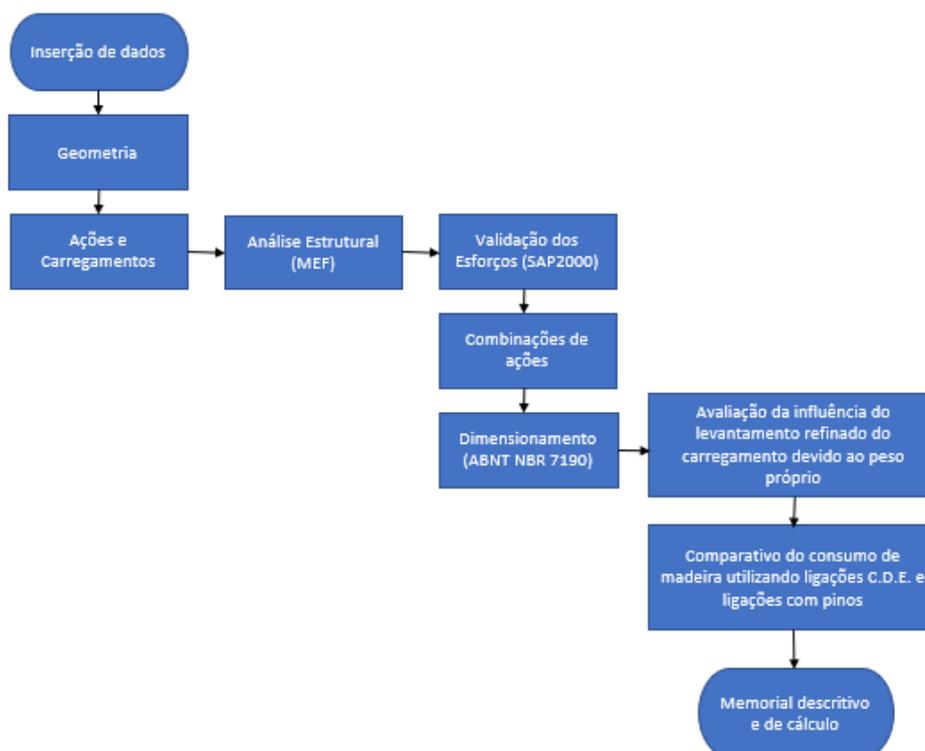
Alguns itens que merecem destaque na metodologia empregada:

- Análise estrutural pelo Método dos Elementos Finitos (MEF);
- Validação dos esforços solicitantes utilizando o SAP2000;
- Combinações de ações e dimensionamento utilizando o novo projeto de norma da NBR 7190 (ABNT, 1997), versão 2013/2019;
- Simulação de vários modelos com diferentes geometrias e ligações para análise dos resultados.

O dimensionamento das ligações com chapas de dentes estampados (C.D.E) será feito seguindo prescrições da norma americana ANSI/TPI 1 e da norma europeia Eurocode 5.

Na Figura 1 tem-se o fluxograma de ações a serem executadas para alcance dos objetivos.

Figura 1: Metodologia e sequência de ações.



Fonte: Autor (2019)

RESULTADOS

Espera-se que haja alterações nos perfis dimensionados, considerando levantamento refinado do carregamento devido ao peso-próprio. Além disso, também se acredita que haja mudanças significativas no consumo de madeira, considerando ligações com chapas de dentes estampados (C.D.E) em relação a ligações com pinos. Os resultados serão todos expressos através de imagens da tela do *software* acompanhados de valores expressos por meio de tabelas e gráficos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Conclui-se que há a necessidade de criação de ferramentas técnicas que permitam que projetos de estruturas de cobertura em madeira sejam executados com mais confiabilidade ao invés de serem concebidos de forma empírica. Observa-se também que o *software* possui inúmeras formas de se analisar um problema, como rigidez de ligações, consumo de material mediante quantitativo e formas distintas de se aplicar um carregamento, observando seus efeitos no dimensionamento. Almeja-se que a ferramenta proporcione auxílio na análise e no desenvolvimento de projetos de estruturas tanto por parte de engenheiros como alunos de graduação que desejam ampliar seus conhecimentos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190. **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; MARTINS, G. C. A.; DIAS, A. A. **Estruturas de Madeira – Projetos, Dimensionamento e Exemplos de Cálculo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.
- CALIL JUNIOR, C.; DIAS, A. A. **Utilização da Madeira em Construções Rurais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.1, p.71-77, 1997*.
- CALIL NETO, C. **Madeira Laminada Colada (MLC): Controle de Qualidade em Combinações Espécie-Adesivo-Tratamento Preservativo**. 2011. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- PARTEL, H. **Sistema Informatizado para Projeto de Estruturas Industrializadas de Madeira para Telhados**. 2000. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 224 p. ISBN 978-85-216-1385-5.
- THI V.D.; KHELIFA M.; OUDJENE M.; EL GANAOU M.; Rogaume, Y. Finite element analysis of heat transfer through timber elements exposed to fire, **Engineering Structures**, no. 143, 2017, p. 11–21.
- HASSANIEH, A.; VALIPOUR, H.R.; BRADFORD, M.A. Modelling of steel-timber composite connections: Validation of finite element model and parametric study, **Engineering Structures**, 138 (2017) 35-49.

RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DE RIGIDEZ DE MADEIRAS DO GRUPO DAS FOLHOSAS

Relations among stiffness properties of hardwoods group

Discente: **João Paulo Boff Almeida**, Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luis Christoforo

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificação (11/10/2019, Banca: Profª. Dr. Cristiane Inácio de Campos – UNESP e Prof. Dr. Julio Cesar Molina – UNESP)

RESUMO

No Brasil, apesar do notório potencial florestal, o uso da madeira para construção sofre preconceitos sobre sua qualidade e desempenho, devido principalmente ao desconhecimento das espécies e de suas propriedades mecânicas. Visando facilitar a caracterização do material, a norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997), estabelece relações simplificadas entre propriedades mecânicas. Dentre tais relações, a norma permite, na impossibilidade da realização de ensaios experimentais, a determinação do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}), por meio do módulo de elasticidade na tração paralela às fibras (E_{t0}) e do módulo de elasticidade convencional na flexão (E_M). Neste contexto, em alternativa as relações simplificadas da norma brasileira, este trabalho busca determinar, por meio de modelos de regressão, estimativas precisas do E_{c0} em função da densidade aparente, visto que essa propriedade física é de fácil determinação. E por fim, comparar as estimativas obtidas com as oriundas das relações prescritas pela norma brasileira.

Palavras-Chave: Relações entre propriedades; Madeiras tropicais; Rigidez; Análise de variância (ANOVA).

ABSTRACT

In Brazil, despite the evident forest potential, the use of wood for constructions is subject to prejudiced by its quality and performance, mainly due to lack of knowledge of species and their mechanical properties. In order to facilitate the characterization of the material, the Brazilian standard ABNT NBR 7190 (1997) establishes simplified relations among mechanical properties. Among such relations, the Brazilian standard allows, in the impossibility of conducting experimental tests, the determination of the modulus of elasticity in parallel compression to the grain (E_{c0}), through the modulus of elasticity in the parallel tension to the grain (E_{t0}) and of the conventional modulus of elasticity on static bending (E_M). In this context, alternatively the simplified relations of the Brazilian standard, this paper seeks to determine, through regression models, accurate estimates of E_{c0} as a function of density at 12% moisture content, since this physical property is easily determined. Finally, compare the estimates obtained with those derived from the relations prescribed by the Brazilian standard.

Keywords: Relations among properties; Hardwood; Stiffness, Analysis of variance (ANOVA).

INTRODUÇÃO

A madeira é um material renovável, versátil e de fácil manuseio, possui bom isolamento térmico e baixo consumo energético em seu processamento. Comparada a outros materiais estruturais de uso convencional, como o concreto armado e o aço, a madeira apresenta uma excelente relação entre resistência mecânica e densidade (VIDAL *et al.*, 2015).

Na construção civil, a madeira é utilizada na confecção de formas para concreto, andaimes, escoramentos, esquadrias, forros, pisos, estruturas de cobertura, entre outros (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT, 2009). Para determinar corretamente as aplicações as quais a madeira pode ser destinada, é imprescindível

o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas (Araújo, 2007).

No Brasil, os métodos de ensaio para a obtenção das propriedades físico-mecânicas da madeira seguem as premissas do documento normativo ABNT NBR 7190 (1997) “Projeto de Estruturas de Madeira”. Muitos desses ensaios necessitam de equipamentos de alto custo, disponíveis apenas em centros de pesquisa. Por consequência, muitas vezes a madeira é utilizada sem o conhecimento básico de suas propriedades, acarretando no mau uso e desperdício do material (Dias e Lahr, 2002).

Visando simplificar a caracterização da madeira, a ABNT NBR 7190 (1997) propõe relações simplificadas entre propriedades mecânicas. Dentre tais relações, a norma permite, na impossibilidade da realização de ensaios experimentais, a determinação do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}), o qual é utilizado no dimensionamento estrutural (Estado Limite Último – ELU e Estado Limite de Serviço – ELS), por meio do módulo de elasticidade na tração paralela às fibras (E_{t0}) e do módulo de elasticidade convencional na flexão (E_M), conforme expressa as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$E_{c0} = E_{t0} \quad (1)$$

$$E_{c0} = E_M / 0,90 \quad (2)$$

No entanto a densidade aparente (ρ_{ap}), que consiste em uma propriedade de fácil obtenção, visto que utiliza-se apenas balança e paquímetro para sua determinação, tem sido utilizada na estimativa de outras propriedades (Dias e Lahr, 2002). Em alternativa as equações simplificadas prescritas pela da ABNT NBR 7190 (1997), este trabalho objetiva propor, com base em modelos de regressão, equações para a estimativa do E_{c0} , tomando-se a densidade aparente como variável independente, e, por fim, comparar os resultados obtidos com as equações estabelecidas pela normativa em vigor.

REVISÃO

Dentre todas as propriedades físico-mecânicas da madeira, tem-se a densidade como a de mais fácil obtenção. Por essa razão, nos últimos anos, vários trabalhos foram desenvolvidos tomando-se a densidade como estimador das demais propriedades físico-mecânicas.

Para Dias e Lahr (2004) que, utilizando o agrupamento médio de 40 espécies tropicais brasileiras, investigaram as relações entre ρ_{ap} e algumas propriedades físico-mecânicas da madeira, existe forte correlação entre a ρ_{ap} e: a resistência convencional no ensaio de flexão (f_M), a dureza paralela às fibras (f_{H0}), a dureza normal às fibras (f_{H90}), a tenacidade (W), a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), a resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), o E_{c0} , o E_{t0} e o E_M . Dentre essas, a relação de melhor ajuste deu-se entre ρ_{ap} e f_{H0} com coeficiente de determinação (R^2) igual a 92%.

Almeida *et al.* (2014) avaliaram, com o emprego de modelos de regressão polinomiais do tipo linear, quadrático e cúbico, a possibilidade da estimativa da W por meio da ρ_{ap} . Considerando o agrupamento de cinco espécies, os resultados evidenciaram a significância de todos os ajustes investigados (p -valor $< 0,05$), sendo o polinomial cúbico, o modelo mais eficiente ($R^2 = 84,70\%$) na estimativa da tenacidade das madeiras estudadas. De modo análogo, Christoforo *et al.* (2014), agrupando 15 espécies de madeira e adotando distintos modelos de regressão, concluíram ser possível estimar a tenacidade por meio da densidade aparente, sendo o modelo polinomial quadrático o de melhor ajuste ($R^2 = 67,80\%$).

Silva *et al.* (2018), por meio dos modelos de regressão linear, exponencial, geométrico e logarítmico, tomando a ρ_{ap} como variável independente, investigaram a possibilidade da estimativa das propriedades físico-mecânicas da madeira de Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), proveniente de três locais de extração distintos. Os ajustes resultaram significativos (p -valor $< 0,05$) e com boa precisão ($R^2 \approx 70\%$) para as 15 relações investigadas. Dentre essas, a mais expressiva deu-se entre a ρ_{ap} e a f_{H0} [assim como no trabalho de Dias e Lahr (2004)] com R^2 igual a 87,96%.

Em comum, os estudos supracitados evidenciam a possibilidade da estimativa de algumas propriedades físico-mecânicas da madeira por meio da densidade aparente. Ademais, trabalhos como os originados por: Kiaei (2012), Lukásek *et al.* (2012), Missanjo e Matsumura (2016), Krajewski *et al.* (2016), Christoforo *et al.* (2017),

Miyoshi *et al.* (2018), Reis *et al.* (2018), entre outros, evidenciam a abrangência mundial do tema.

MÉTODO

Para determinar as propriedades físico-mecânicas estudadas (ρ_{ap} , E_{co} , E_{t0} e E_M), foram adotadas 10 espécies de madeira tropicais distribuídas nas classes de resistência do grupo das folhosas: Angelim araroba (*Vataireopsis araroba*), Cambará rosa (*Erismia* sp.), Canafístula (*Cassia ferruginea*), Cedro (*Cedrella* sp.), Cedroarana (*Cedrelinga catenaeformis*), Copaíba (*Copaiba resinífera*), Guaiçara (*Luetzelburgia* sp.), Louro verde (*Ocotea* sp.), Maçaranduba (*Manilkara* sp.) e Oiticica amarela (*Clarisia racemosa*). Para cada espécie e propriedade investigada foram fabricados 12 corpos de prova, resultando ao todo em 480 determinações experimentais.

As peças de madeiras foram devidamente armazenadas e ensaiadas nas dependências do Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM), da Universidade de São Paulo (USP), com teor de umidade próximo a 12%. As propriedades físico-mecânicas foram obtidas seguindo as recomendações do Anexo B (Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas) da ABNT NBR 7190 (1997).

A estimativa do E_{co} em função da ρ_{ap} será avaliada com o uso de quatro modelos de regressão (Equações 3 a 6), os quais são fundamentados na análise de variância (ANOVA). Nas Equações 3 a 6, 'y' corresponde a variável dependente (E_{co}), 'x' denota a variável independente (ρ_{ap}), enquanto 'a' e 'b' são parâmetros do modelo, ajustado pelo método dos mínimos quadrados.

$$y = a + b \cdot x \quad [\text{Linear}] \quad (3)$$

$$y = a \cdot e^{b \cdot x} \quad [\text{Exponencial}] \quad (4)$$

$$y = a + b \cdot \ln(x) \quad [\text{Logarítmico}] \quad (5)$$

$$y = a \cdot x^b \quad [\text{Geométrico}] \quad (6)$$

Pela ANOVA, constitui-se em hipótese nula (H_0) a não representatividade dos modelos investigados (variações de x não são capazes de explicar as variações de y), e em hipótese alternativa (H_1) a representatividade (variações de x são capazes de explicar as variações de y). Resultando P-valor superior ao nível de significância considerado (P-valor > 5%), isso implica em aceitar H_0 , em caso contrário (P-valor \leq 5%) H_1 será adotada. Em adição ANOVA, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) serão determinados, de modo a eleger dentre os modelos significativos, aquele que apresenta o melhor ajuste.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; CHRISTOFORO, A. L.; VARANDA, L. D.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; CALIL JÚNIOR, C. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Revista Árvore**, v. 38, n.1, p. 203-207, 2014.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 107 p., 1997.

CHRISTOFORO, A. L.; AFTIMUS, B. H. C.; PANZERA, T. H.; MACHADO, G. O.; LAHR, F. A. R. Physico-Mechanical Characterization of the *Anadenanthera colubrina* Wood Specie. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v.27, n.2, p.376-384, 2017.

CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, S. A. M.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Estimative of Wooden Toughness by Apparent Density and Beding Strength. **International Journal of Materials Engineering**, v.4, n.2, p.49-55, 2014.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Revista Madeira Arquitetura e Engenharia**, n. 8, 2002.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Florestalis**, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2ª ed. São Paulo, 2009.

KIAEI, M. Effect of site and elevation on wood density and shrinkage and their relationships in *Carpinus betulus*. **Forestry Studies in China**, v.14, n.3, p.229-234, 2012.

KRAJEWSKI, A.; KOZAKIEWICZ, P.; WITOMSKI, P. Shear Strength of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) From the Historical Buildings. **Wood Research**, v.61, n.5 p.845-850, 2016.

LUKÁSEK, J.; ZEIDLER, A.; BARCÍK, S. Shrinkage of Grand Fir Wood and its Variability within the Stem. **Drvna Industrija**, v.63, n.2, p.121-128, 2012.

MISSANJO, E.; MATSUMURA, J. Wood Density and Mechanical Properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. **Forest**, v.7, n.7, p.1-10, 2016.

MIYOSHI, Y.; KOJIRO, K.; FURATA, Y. Effects of Density and Anatomical Feature on Mechanical Properties of Various Wood Species in Lateral Tension. **Journal of Wood Science**, 2018.

REIS, P. C. M.; SOUZA, A. L.; REIS, L. P.; CARVALHO, A. M. M. L.; MAZZEI, L.; RÊGO, L. J. S.; LEITE, H. G. Artificial Neural Networks to Estimate the Physical-Mechanical Properties of Amazon Second Cutting Cycle Wood. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.20, n.3, p.343-352, 2018.

SILVA, C. E. G.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; CHAHUD, E.; BRANCO, L. A. M. N.; CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R.; CRISTOFORO, A. L. Influence of the Procurement Site on Physical and Mechanical Properties of Cupiúba Wood Species. **Bio-Resources**, v.13, n.2, p.4118-4131, 2018.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, IP. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

COMPORTAMENTO E DURABILIDADE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS COM MANTAS DE CFRP SUBMETIDAS A UMIDADE CONSTANTE

Behavior and durability of reinforced concrete beams strengthened with EBR-CFRP sheets subjected to constant humidity

Discente: **Luiz Antonio Sarti Junior**, Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré, Prof. Me. Ciro José Ribeiro Villela Araújo

Nível: Mestrado.

Estágio da pesquisa: Qualificada

RESUMO

Esta pesquisa baseia-se na análise experimental de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*, na língua inglesa), aplicadas segundo a técnica EBR (*Externally Bonded Reinforcement*, na língua inglesa), objetivando um melhor entendimento sobre o comportamento dos elementos reforçados a longo prazo frente a umidade constante. Para isso, um programa experimental composto por 16 vigas será realizado, onde 8 vigas não possuirão nenhum tipo de reforço (referência) e 8 vigas serão reforçadas com uma camada de manta de CFRP aplicada segundo a técnica EBR. As vigas serão submetidas a ensaios de degradação acelerados e, posteriormente, ensaios de flexão de 3 pontos serão realizados para verificação de capacidade portante e da possível degradação do sistema de reforço.

Palavras-Chave: Sistema de reforço EBR, concreto, CFRP, durabilidade, umidade constante.

ABSTRACT

This research is based on the experimental analysis of reinforced concrete beams strengthened with CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) sheets, applied according the Externally Bonded Reinforcement technique (EBR), aiming at a better understanding on the long-term behavior of strengthened elements under constant humidity. Thus, an ongoing experimental program composed of 16 beams, in which 8 unstrengthened reinforced concrete beams form the reference set and 8 beams strengthened with one layer of CFRP sheets applied according to the EBR technique, is being carried out. The beams will be subjected to an accelerated degradation protocol and, subsequently, a 3-point bending test will be performed to verify the load carrying capacity and the possible degradation of the strengthening system.

Keywords: EBR strengthening system, concrete, CFRP, durability, constant humidity.

INTRODUÇÃO

Com o advento de problemas relacionados à baixa eficiência de elementos estruturais, os quais na grande maioria das vezes são ocasionados por baixa qualidade dos materiais, corrosão da armadura, fissuras e flechas excessivas, propiciam a instalação de manifestações patológicas nos elementos de concreto armado, com isso tem provocado um estímulo no desenvolvimento de novas técnicas de reparo e/ou reforço das estruturas acometidas pelo processo de degradação (VIEIRA *et al.*, 2016).

Ainda, destaca-se também as falhas relacionadas com a alteração do tipo de uso proposto e construído para estrutura, principalmente quando ocorre aumento das cargas de serviço não previstas em projeto; erros cometidos em fase de construção, os casos mais comuns são por exemplo, negligenciar a espessura mínima do concreto de cobertura, ou então, aplicação de materiais de baixa qualidade, além da ocorrência de acidentes tais como impactos mecânicos, incêndios, sismos, cheias e atos de vandalismo (OBAYDULLAH *et al.*, 2016).

Em estruturas de concreto reforçadas não é diferente, o processo de degradação pode ocorrer por inúmeras causas como por exemplo, falhas no processo de execução durante a aplicação do sistema de reforço, umidade constante ou ciclos de umidade e temperatura, ataque químico devido ao ambiente em que está inserida, excesso de cargas ocasionando flechas excessivas dentre outros. Desta forma, a funcionalidade do sistema fica comprometida, fazendo com que a estrutura fique suscetível a ataques externos e, futuramente, invalidando a atuação do sistema de reforço (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Assim, diante à tais adversidades as quais tem atingido principalmente as estruturas de concreto armado, diversos estudos têm sido realizados com enfoque no desenvolvimento de novas tecnologias, técnicas e materiais a serem incorporadas na engenharia civil para a construção de estruturas com níveis superiores nos quesitos segurança e eficiência. Destaca-se a incorporação de Polímeros Reforçados com Fibras (FRP, *Fiber Reinforced Polymer*, na língua inglesa), os quais são materiais que possuem alta resistência mecânica e que podem substituir, com vantagens técnicas e econômicas os materiais convencionais utilizados nas técnicas tradicionais de reforço estrutural (FERRARI e HANAI, 2012).

Com a crescente necessidade de promover melhorias na capacidade portante dos elementos estruturais tem se expandido, cada vez mais, a utilização dos sistemas de reforço com materiais compósitos. Deste modo, este estudo visa obter um melhor entendimento frente ao comportamento de elementos estruturais de concreto armado, neste caso, de vigas, reforçadas com o uso do sistema EBR – CFRP e submetidas a umidade constante com temperatura controlada, de modo a verificar a segurança estrutural do elemento reforçado a longo prazo e sua possível degradação.

REVISÃO

Nos últimos anos os Polímeros Reforçados com Fibras (PRF, ou FRP r) têm sido amplamente aplicados em obras da engenharia civil para reforço de estruturas devido às suas diversas vantagens em relação aos materiais concreto ou aço tais como a relação de alta resistência/peso, resistência à corrosão e fácil instalação.

A normalização do uso de FRP na construção civil iniciou-se no ano 1996, nos Estados Unidos, por meio de estudos e realizações de trabalhos pelos comitês ACI 440 do Instituto Americano de Concreto (ACI – American Concrete Institute). Tais trabalhos resultaram em duas grandes normas, uma onde se apresenta o Estado da Arte em FRPs (ACI 440.R, 1996) e outra onde se apresentam os procedimentos necessários para o dimensionamento de estruturas utilizando FRPs (ACI 440.1R, 1996) (Tavares, 2006).

Os FRPs comumente utilizados nos sistemas de reforço são formados a partir da união de dois componentes as fibras, a qual é encarregada de proporcionar resistência e rigidez, juntamente com a matriz polimérica, as quais mais utilizada é a resina epoxídica, onde compete a esta, o papel de unir fibras entre si, formando um só material, além de envolver o sistema de reforço a fim de proteger de ataques dos agentes agressores ambientais (COSTA, 2015).

Atualmente, as fibras mais utilizadas na composição dos sistemas de reforço estrutural são as de carbono (CFRP, *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), vidro (GFRP, *Glass Fiber Reinforced Polymer*), aramida (AFRP, *Aramid Fiber Reinforced Polymer*) e basalto (BFRP, *Balsalt Fiber Reinforced Polymer*) disponíveis em forma de mantas, barras e laminados (TENG *et al.*, 2003).

São homologadas pelo código americano ACI 440.2R (ACI, 2017) duas formas distintas de reforço: as técnicas EBR (*Externally Bonded Reinforcement*, na língua inglesa) e a NSM (*Near Surface Mounted*, na língua inglesa, ambas baseadas no uso de adesivos estruturais para colagem de FRPs nos elementos estruturais. A técnica EBR consiste na colagem externa de mantas, tecidos ou laminados de FRP no zona tracionada do elemento estrutural a ser reforçado, sendo, atualmente, a mais utilizada. A técnica NSM consiste na inserção de barras ou laminados em entalhes efetuados no concreto de cobertura do elemento estrutural.

As resinas normalmente utilizadas em sistemas de reforço com FRPs são as do tipo termoendurecíveis, podendo ser compostas por poliéster, vinila ou epóxi. Dentre estas, a mais utilizada na aplicação dos sistemas de reforço são as resinas epoxídicas, devido às suas excelentes propriedades adesivas e alta resistência e módulo de elasticidade. A durabilidade das resinas, bem como a integridade da ligação ao substrato de concreto fren-

te ao processo de envelhecimento visto em longo prazo são pouco conhecidas, porém, sabe-se que os efeitos ambientais podem potencializar a degradação da mesma (ZHAO, 2003).

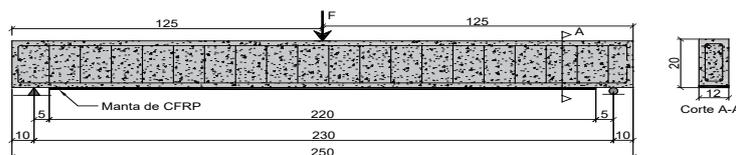
Segundo Seong (2003), quando as resinas são expostas a uma fonte de calor ao ponto de ultrapassar a temperatura de transição vítrea (T_g) que fica em torno dos 80°C a 100°C , podendo variar dependendo da composição e fabricante, ocorre uma queda brusca nos índices de módulo de elasticidade, de resistência à água, de resistência à tração e resistência à compressão. Desta forma, a melhor temperatura de manuseio para aplicação das resinas deve ser sempre abaixo da T_g .

MÉTODO

Tendo por objetivo a avaliação do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas a flexão segundo a técnica EBR, 16 vigas de concreto armado, moldadas em uma única concretagem, seguindo a geometria apresentada na Figura 1. Oito vigas não possuem qualquer tipo de reforço (referência) e as demais foram reforçadas com uma camada de manta de CFRP.

O sistema de reforço selecionado para o presente estudo utiliza uma camada de manta de fibras de carbono aplicadas diretamente no substrato de concreto segundo a técnica EBR. Neste sentido, estes foram aplicados nas faces inferiores das vigas, zona tracionada, sem qualquer tipo de proteção. Para caracterização dos materiais que compõem a viga de concreto armado reforçada foram produzidos corpos de prova de concreto ($\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}$), resina epoxídicas e compósitos de CFRP. A caracterização dos distintos tipos de barras de aço utilizadas nesta pesquisa também será realizada. Tendo em vista a avaliação da possível degradação do sistema de reforço e dos materiais intervenientes as vigas, juntamente com os corpos de prova (CPs) de concreto, resinas e compósitos, serão mantidas em ambientes laboratorial, com temperatura monitorada, ou expostas a umidade constante em tanques de água potável, com temperatura controlada de $50^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, por períodos de 1000h, 3000h e 10000h, seguindo o protocolo de exposição acelerado de FRPs à degradação (*Accelerated Conditioning Protocols*, na língua inglesa) proposto pelo código americano ACI 440.9R (2015). Ao longo do período de exposição, a temperatura será mantida a 50°C por meio de uma resistência de 2000w de potência, a qual será controlada por um termostato, e a monitorização será realizada por meio de sensores conectados à plataforma Arduino.

Figura 1: Configurações das vigas de concreto armado. (Dimensões em centímetros)



Fonte: Próprio autor

A verificação do comportamento do sistema de reforço e sua possível degradação será realizada por meio de ensaios mecânicos de flexão de três pontos em vigas de concreto armado. Para tal, adotou-se como referência as vigas de concreto armado ensaiadas 9 dias após a aplicação do sistema de reforço. Em seguida, as demais vigas serão dispostas nos ambientes predefinidos, juntamente com os CPs de concreto, resina e CFRP, iniciando o processo de degradação acelerada. Serão realizados ensaios de compressão uniaxial nos corpos de prova de concreto e ensaios de tração uniaxial nos corpos de prova de resina e compósitos de CFRP. A Tabela 1 apresenta o resumo do programa experimental a ser realizado. Note-se que este mestrado apresentará somente os resultados referentes ao período de degradação de 1000h.

Tabela 1: Resumo do programa experimental

Elementos	Ambientes (unidade)		
	Referên- cia	Laborato- rial	Umidade Cons- tante
Viga de concreto armado sem reforço	4	2	2
Viga de concreto armado reforçada	4	2	2
CPs de concreto	5	5	5
CPs de resina epoxídica (A)	6	6	6
CPs de resina epoxídica (B)	6	6	6
CPs de compósito de CFRP	6	6	6

Fonte: Próprio autor

RESULTADOS

Espera-se avaliar a possível perda de desempenho do sistema de reforço frente a degradação proporcionada pelo protocolo de condicionamento acelerado. Para isso, comparativamente, serão analisados os resultados a serem obtidos para a capacidade de carga das vigas de concreto sem reforço, incremento de carga proporcionado pelo sistema de reforço, deformações no concreto, na armadura de aço e no compósito CFRP. De posse dos resultados será realizada uma análise geral e verificação da degradação do sistema de reforço e dos materiais intervenientes.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento e a durabilidade do sistema de reforço aplicado segundo a técnica EBR-CFRP frente a umidade constante com temperatura controlada seguindo o protocolo proposto pelo código ACI 440.9R (2015). Ao término deste trabalho, espera-se contribuir com novos conhecimentos e informações sobre o comportamento do sistema de reforço, aplicado em vigas de concreto armado, quando exposto à ambientes agressivos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.2R. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, ACI Committee 440, 116p. 2017.

_____. ACI COMMITTEE 440.9R. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforce. American Concrete Institute, ACI Committee 440, 10p. 2015.

COSTA, I.; BARROS, J. A. O. Tensile creep of a structural epoxy adhesive: Experimental and analytical characterization. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 59, p. 115-124, 2015.

FERRARI, V. J.; HANAI, J. B. de. Reforço à flexão de vigas de concreto armado com Tecido de Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC) aderido ao substrato de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [s.l.], v. 5, n. 5, p.596-626, 2012.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P.J. **Concrete: Microstructure, Properties and Materials**, Third edition, McGraw Hill, 2006.

Obaydullah, M., Mohd Zamin Jumaat, U. Johnson Alengaram, Kh. Mahfuz ud Darain, Md. Nazmul Huda, and Md. Akter Hosen. Prestressing of NSM steel strands to enhance the structural performance of prestressed concrete beams." *Construction and Building Materials*, December 30, 2016, 289+. Gale Academic One file.

SEONG, L. Y. Durability of Fiber Reinforced Polymer Composites Under Tropical Climate. Dissertação de mestrado, National University of Singapore, Singapura, 2003.

TAVARES, D. H. Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP. São Carlos, 2006. 128p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

TENG, J. G.; CHEN J. F.; SMITH, S. T.; LAM, L. Behaviour and strength of FRP-strengthened RC structures: a state-of-the-art review. Structures & Buildings. V. 156, p. 51-62, 2003.

VIEIRA, M. M.; SANTOS, A. R. S.; MONTALVERNE, A. M.; BEZERRA, L. M.; CABRAL, A. E. B.; CABRAL, A. E. B.;

ZHAO, X. FRP-Strengthened Metallic Structures. (2013) CRC Press, 291 p.

VIGA DELGADA PROTENDIDA: VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ARMADURA TRANSVERSAL EM TERÇAS PRÉ-FABRICADAS, ENSAIO DA RESISTÊNCIA A FORÇA CORTANTE

Slender beams prestressed: verification of the influence of transverse reinforcement in prefabricated purlin, shear strength test

Discente: **Luiz Carlos de Alvarenga Junior**, Engenharia civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Terças correspondem a vigas delgadas executadas sem armaduras transversais e são utilizadas nas coberturas de galpões pré-fabricados. As normas brasileiras não fazem prescrições quanto ao cálculo da força cortante de terças protendidas, entretanto, a NBR 9062:2017 permite que partes do projeto sejam executados com base em ensaios. O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à força cortante de terças protendidas e analisar os mecanismos resistentes próximo à ruína. Os ensaios serão realizados pelo método padronizado para lajes alveolares segundo o manual FIP (1992). Serão analisadas experimentalmente terças protendidas com e sem a presença de estribos. Além disso, para a análise teórica serão considerados equacionamentos para a determinação da força cortante de lajes alveolares (seção nervurada protendida) recomendados pelo manual FIB (2000). Assim, pretende-se analisar o comportamento estrutural das terças identificando os mecanismos resistentes próximo à ruína e verificar qual equacionamento é válido para representar o comportamento destes elementos.

Palavras-Chave: Terça Protendida, Cisalhamento, Desempenho estrutural, Prova de Carga, Armadura Transversal.

ABSTRACT

Purlin correspond to slender beams made without transverse reinforcement and are used in prefabricated sheds roofs. Brazilian technical standards do not prescribe the calculation of the shear force of prestressed purlin, however, NBR 9062: 2017 allows parts of the project to be performed based on experimental testing. The objective of this work is to evaluate the shear strength of prestressed purlin and to analyze the resistance mechanisms near the ruin. The tests will be performed by the standardized method for hollow core slabs according to the FIP manual (1992). Will be analyzed experimentally prestressed purlin with and without the presence of transverse reinforcement. For the theoretical analysis will be considered equations for determining the shear force of hollow core slabs (prestressed ribbed section) recommended by the FIB manual (2000). It is intended to analyze the structural behavior of purlin by identifying the resistant mechanisms near the ruin and to verify which equation is valid to represent the behavior of these elements.

Keywords: Prestressed Purlin; Shear; Structural Performance; Load Test; Transverse Reinforcement.

INTRODUÇÃO

As terças são elementos estruturais que usualmente são empregadas nas coberturas de galpões pré-fabricados, os galpões são classificados como sistemas estruturais em esqueleto, as vigas e pilares formam os pórticos principais que uniformemente espaçados no sentido longitudinal interligam-se por meio de terças na

cobertura e por vigas de fechamento lateral. O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à força cortante de terças protendidas e analisar os mecanismos resistentes próximo à ruína. E como objetivos específicos pretende-se analisar a influência da variação da taxa de armadura transversal no comportamento das terças protendidas e verificar qual equação melhor representa o comportamento destes elementos considerando os equacionamentos para a determinação da força cortante de lajes alveolares (seção nervurada protendida) recomendados pelo manual FIB (2000).

As terças protendidas são vigas delgadas executadas sem a utilização de armaduras transversais. A norma técnica brasileira ABNT NBR 6118:2014 que aborda projetos de estruturas de concreto, tanto armado quanto protendido, recomenda o uso de armadura transversal em vigas. Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 9062:2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, estabelece os requisitos para projetos, em seu item 5.5 menciona que partes do projeto podem ser embasados em verificações experimentais.

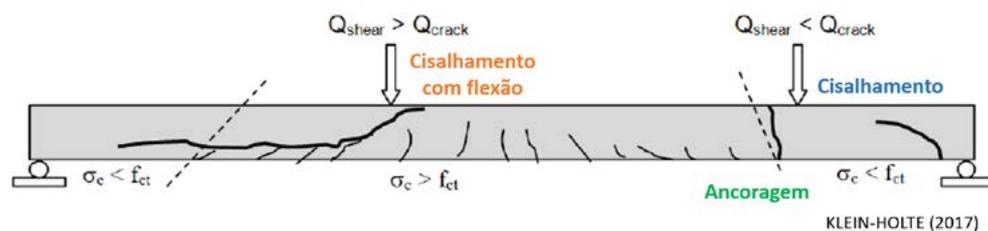
REVISÃO

No concreto armado, as tensões de tração, geradas pelos carregamentos, são absorvidas pelas armaduras passivas, na qual recebem os esforços não absorvidos pelo concreto, trabalhando somente quando solicitadas, já para elementos em concreto protendido, as tensões de tração são combatidas devido a compressão, oriunda do efeito da protensão (SOUZA JUNIOR, 2014).

No concreto protendido, o cisalhamento pode ser analisado de forma análoga ao concreto armado, para cabos retos basta acrescentar o efeito da força de protensão, (INFORSATO, 2009).

Costa (2009) em seu trabalho apresenta os tipos de mecanismos de ruptura que são mais comuns de ocorrerem, tais mecanismos são interdependentes de fatores como a geometria da seção transversal do elemento, nível de protensão, resistência à tração e compressão do concreto, aderência do concreto com a armadura ativa. No mesmo elemento em análise pode ocorrer mais de um tipo de mecanismo próximo ao colapso. Dentre eles são comuns de acontecer: falha devida a perda de ancoragem também conhecida como escorregamento da armadura; falha por cisalhamento, quando no ponto crítico da nervura a tensão de tração é superior a resistência do concreto; falha devida a combinação dos efeitos de flexão, cisalhamento e escorregamento; falha por flexão no Estado Limite Último ELU, podendo ocorrer escorregamento da armadura nas regiões dos apoios; falha devida a combinação dos mecanismos de flexão e cisalhamento, comum em peças com pequenos vãos ou carregamentos elevados; e por fim falha devida a combinação de flexão e escorregamento da armadura ativa. A figura 1 ilustra alguns dos principais mecanismos de ruptura.

Figura 1: Mecanismos de ruptura em vigas



Falha por Cisalhamento com flexão



CATOIA (2011)

Falha da Ancoragem



CATOIA (2011)

Falha por Cisalhamento



CATOIA (2011)

Fonte: Adaptado de Hordijk; Luković (2017) e Catoia (2011)

Via de regra, vigas excessivamente delgadas costumam falhar na flexão devido ao esmagamento do concreto e/ou por escorregamento da armadura de tração. Todavia para vigas que apresentam uma relação a/d muito pequena, a ruptura por flexo-cisalhamento possivelmente aconteceu antes da ruptura por flexão. As vigas mais ou menos esbeltas pode acontecer de que as fissuras se propaguem até que a mesma se torne instável. Nas vigas moderadamente largas, ocorre uma segunda fissura oriunda da fissura de flexão que se estende em torno da armadura longitudinal, no eixo horizontal da peça fazendo com que ocorra uma perda de ligação e também perda de ancoragem nas regiões dos apoios seguido de uma ruptura denominada ruptura por tração diagonal. Assim sendo na região superior do concreto provavelmente ocorrerá esmagamento, também conhecido como ruptura por compressão diagonal (SOUZA JUNIOR, 2014).

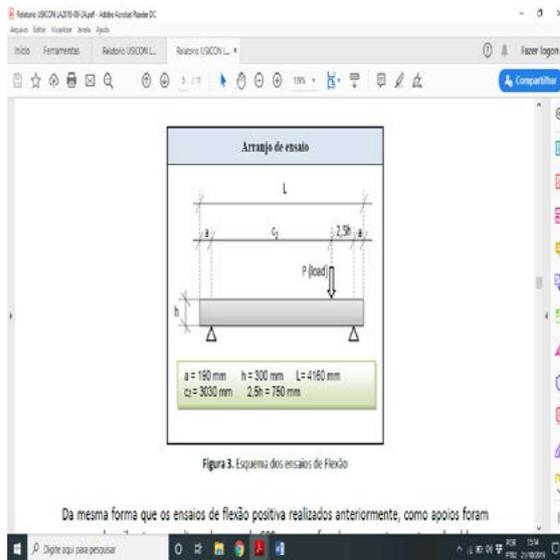
MÉTODO

Nesta pesquisa será realizado um estudo experimental no NETPre – Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-moldados de Concreto. Para a realização dos ensaios, foram doadas por uma empresa 06 terças protendidas com 4 metros de comprimento cada, com altura de 300 mm e largura de 250 mm. Na qual serão divididas em 2 grupos, sendo um deles sem a presença de armadura transversal.

Os ensaios que serão realizados durante a pesquisa será uma adaptação dos ensaios para lajes alveolares padronizadas pelo NETPre, conforme citado por Catoia (2011), e pelo manual da fip (1992). A força será aplicada por meio de um atuador hidráulico a uma distância de 2,5h do apoio conforme ilustra a figura 2. Para verificação dos deslocamentos serão utilizados transdutores do tipo LVDT (Linear Variable Differential).

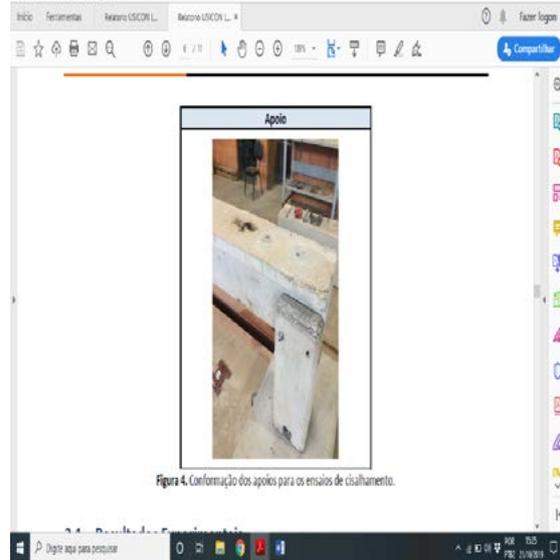
Para os apoios serão utilizados pilaretes com altura aproximada de 600 mm, parafusados em blocos de concreto apoiados na laje piso do laboratório como mostra a figura 3. As terças serão parafusadas nos pilaretes em um ponto de cada extremidade para que seja representada como se estivessem em uma situação real de obra.

Figura 2: Esquema de ensaio de cisalhamento



Fonte: Ferreira; Catoia (2018)

Figura 3: Considerações sobre os apoios

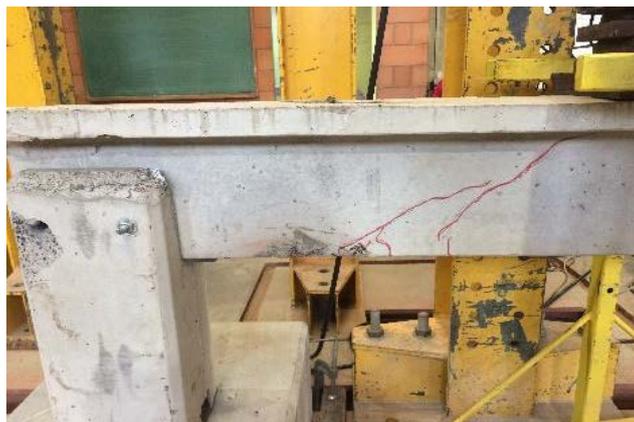


Fonte: Ferreira; Catoia (2018)

RESULTADOS

Foi realizada no NETPre uma avaliação experimental inicial a partir de um projeto de extensão. Foi observado que as terças apresentaram um desempenho satisfatório em relação ao cisalhamento quando ensaiadas com uma relação 2,5h, conforme mostra a figura 4. Além disso, nos ensaios observou-se que as terças romperam por cisalhamento devido a tração diagonal.

Figura 4: Configuração da fissuração em um dos modelos



Fonte: Ferreira; Catoia (2018)

Com a pesquisa, pretende-se analisar o comportamento estrutural do elemento em análise, com e sem a presença de armadura transversal e verificar se o equacionamento utilizado é válido para representar o comportamento das terças.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Este trabalho permitirá ampliar o conhecimento quanto ao cisalhamento em terças pré-fabricadas protendidas, sendo possível identificar os principais mecanismos resistentes próximo a ruína e verificar se o elemento sem a presença de armadura transversal apresenta comportamento satisfatório no cisalhamento.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

CATOIA, B. **Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em regio fissurada por flexão.** 325f. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

COSTA, O. O., **Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas.** 155 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

FERREIRA, M.A.; CATOIA, B. **Avaliação do Desempenho Estrutural de Terças Protendidas.** São Carlos: NETPre- núcleo de estudo e tecnologia em pré-moldados de concreto; 24 set. 2018. RT10166/LA2018-09.

HORDIJK, D. A.; LUKOVIĆ, M. **High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 Fib Symposium, Held in Maastricht, the Netherlands, June 12-14, 2017.** Springer, 2017.

INFORSATO, T. B., **Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré-fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações.** 259 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

SOUZA JUNIOR, O. A., **Influência da protensão na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto protendido.** 106 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

DIAGRAMAS DE INTERAÇÃO M-N PARA A VERIFICAÇÃO DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO SUBMETIDOS A FLEXO-COMPRESSÃO NORMAL

M-N INTERACTION DIAGRAMS FOR VERIFICATION OF STEEL- CONCRETE COMPOSITE COLUMNS SUBMITTED TO NORMAL FLEXO-COMPRESSION

Discente: **Matheus Oliveira Fernandes**, Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Profa. Dra. Silvana De Nardin

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

O dimensionamento de pilares mistos em aço e concreto pode ser trabalhoso. Pilares de concreto armado apresentam ábacos que possibilitam um dimensionamento rápido; o que infelizmente ainda não foi aplicado de forma ampla a pilares mistos de aço e concreto. A pesquisa objetiva a produção de diagramas de interação que permitam a verificação de pilares mistos de aço e concreto frente a flexo-compressão. Através de uma boa revisão bibliográfica será possível a elaboração de tais ferramentas e posteriormente executado um processo rigoroso de validação dos resultados obtidos, a luz da norma vigente.

Palavras-Chave: flexo-compressão, ábacos, pilares mistos.

ABSTRACT

The design of steel-concrete composite columns can be labor intensive. Reinforced concrete pillars feature abacus that enables quick design; which unfortunately has not yet been widely applied to mixed steel and concrete columns. The research aims the production of interaction diagrams that allow the verification of mixed steel and concrete pillars against flexural compression. Through a good literature review it will be possible the elaboration of such tools and afterwards executed a rigorous process of validation of the obtained results, in the light of the current norm.

Keywords: flexo-compression, abacus, composite columns.

INTRODUÇÃO

A modernidade trouxe consigo o apelo ao uso de sistemas construtivos mais eficazes, mais econômicos, que possuam uma velocidade otimizada de execução e que do ponto de vista estrutural resistam as solicitações impostas. Neste contexto a utilização de elementos mistos tem sido cada vez mais intensa, sendo seu uso mais difundindo em países desenvolvidos.

O início da utilização de construções mistas nos Estados Unidos da América data do ano de 1894 com a construção de um edifício e da ponte Rock Rapids Bridge na cidade de Rock Rapids, Iowa. Atualmente há uma variedade de construções mistas e híbridas executadas ao redor do mundo.

Os elementos mistos unem qualidades mecânicas de dois materiais, que conjuntamente resistem aos esforços solicitantes. São em geral os elementos mistos de aço e concreto: lajes mistas, vigas mistas, pisos/pavimentos mistos e pilares mistos. Sendo este último o objeto de estudo desta pesquisa.

Os pilares mistos apresentam diversas vantagens em relação aos pilares convencionais de concreto

armado. Seu uso em geral é feito quando há a necessidade que tais elementos verticais recebam esforços de compressão elevados, devidos ao porte da estrutura ou quando a arquitetura limita a seção. Um exemplo de edifício que apresenta a implementação de elementos mistos é o Edifício The One, localizado na cidade de São Paulo. Houve o uso de pilares mistos de aço e concreto, vigas mistas de aço e concreto e lajes mistas de aço e concreto.

Figura 1: Edifício The One



Fonte: Orealizações, 2019.

A pesquisa tem como objetivo geral o desenvolvimento de diagramas de interação M-N que permitam a verificação de pilares mistos de aço e concreto submetidos a flexo-compressão. Os objetivos específicos da pesquisa são:

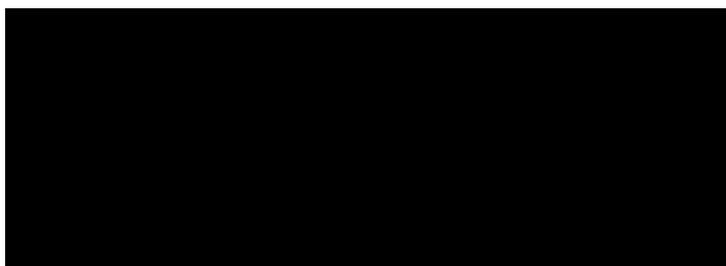
- Avaliar a influência de parâmetros geométricos e mecânicos dos materiais na interação M-N, por meio da elaboração de diagramas de interação, os quais permitirão a verificação do elemento frente à flexo-compressão, através de uma análise geral;
- Avaliar a influência de parâmetros geométricos e mecânicos dos materiais na interação M-N, por meio da elaboração de diagramas de interação, os quais permitirão a verificação do elemento frente à flexo-compressão, através de uma análise simplificada proposta pela NBR 8800:2008.

Com a elaboração desses diagramas, por meio de deduções de equações exatas e por meio de um processo normativo simplificado, será possível que haja uma rápida verificação (dimensionamento) de pilares mistos flexo-comprimidos e a avaliação da influência dos materiais nas curvas de interação M-N, por dois métodos distintos. A não existência de tais materiais auxiliares e a contribuição futura para a área de estudo, são os pontos-chaves para o início da pesquisa.

REVISÃO

Pilares mistos de aço e concreto são elementos compostos por um perfil de aço estrutural, que deve ser revestido ou preenchido por concreto. Garantindo a tais elementos diversos benefícios de caráter construtivo e estrutural. Para que o elemento seja caracterizado como misto, deve haver um comportamento conjunto entre os materiais. Sendo tal comportamento conjunto garantido por aderência natural ou pelo implemento de dispositivos mecânicos como conectores de cisalhamento, mossas, saliências, adesivos e atrito. (PEREIRA, 2017). Os pilares mistos podem ser nominalmente classificados de acordo com a composição da seção transversal, sendo subdivididos em pilares mistos revestidos, parcialmente revestidos e preenchidos, conforme Figura 2, respectivamente.

Figura 2: Tipos de pilares mistos



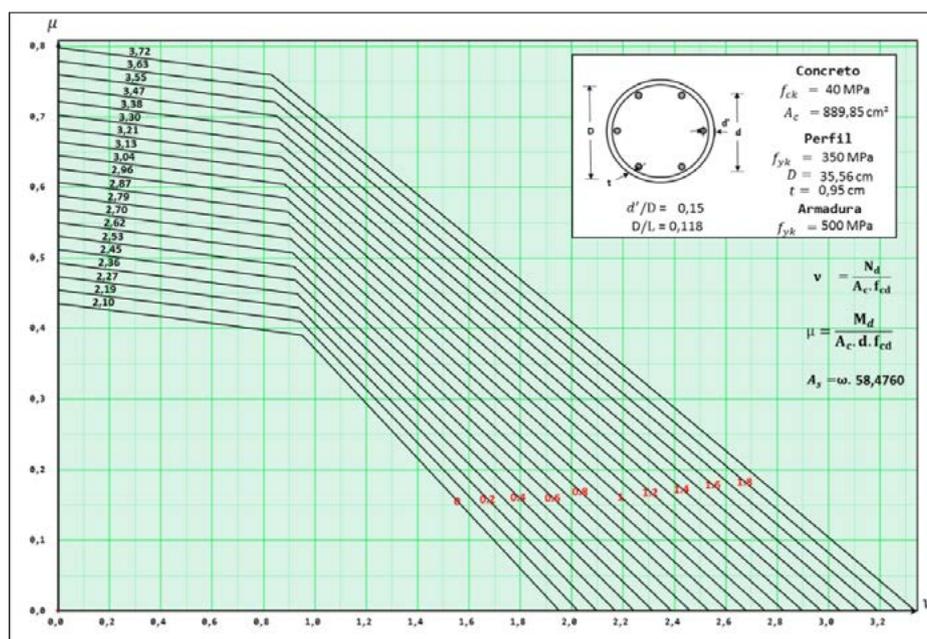
Fonte: Autor, 2019.

A capacidade resistente de um pilar misto é determinada a partir de formulações que consideram vários parâmetros, tais como a resistência a compressão do concreto, disposição geométrica das barras longitudinais na seção transversal, esbeltez do pilar, forma da seção transversal, tensão de escoamento do perfil de aço e armadura longitudinal, e outros. Tanto na análise geral como nas abordagens simplificadas da NBR 8800:2008, os parâmetros citados acima são influentes.

Chitawadagi et al. (2010) verificaram que a variação da espessura do tubo de um pilar misto preenchido e a variação da esbeltez influencia diretamente na capacidade resistente do pilar misto, alterando o valor de carga axial última.

Por meio de curvas de interação é possível visualizar o incremento de resistência que o acréscimo da taxa de armadura longitudinal gerará, conforme Figura 3. O eixo das abscissas se refere aos esforços resistentes de momento, e o eixo das ordenadas refere-se aos esforços normais resistentes, conforme simplificação da NBR 8800:2008.

Figura 3: Curvas de interação flexo-compressão



Fonte: Autor, 2019.

Na análise geral a determinação da resistência de uma seção consiste na variação da profundidade da linha neutra. A cada posição da linha neutra arbitrada será calculado um par de esforço resistente (normal e momento), em caso de flexo-compressão. O processo é semelhante ao que é comumente feito em uma seção de concreto armado, porém a diferenciação é a presença de um perfil metálico.

Para seções submetidas a flexão normal composta as equações de equilíbrio são definidas pelas Equações 1 e 2.

Eq. 1

Eq. 2

Sendo:

A_{cc} a área comprimida de concreto;

σ_c a tensão resistente de compressão do concreto;

σ_{si} a tensão em uma barra de aço qualquer;

σ_{pi} a tensão no perfil de aço;

A_{si} a área de uma barra de aço qualquer;

A_{pi} a área de aço do perfil;

y_i a distância do centro de gravidade de uma barra/perfil ao centro de gravidade da seção;

y a distância de um elemento infinitesimal de concreto ao baricentro da seção.

MÉTODO

Os objetivos da pesquisa serão alcançados mediante a execução das seguintes etapas: revisão bibliográfica, elaboração dos materiais propostos e análise de resultados obtidos por esses materiais. Por se tratar de materiais que serão oriundos de processos computacionais, é necessário que cada etapa seja cumprida de forma rigorosa.

A revisão bibliográfica abrangerá estudos sobre o comportamento de pilares mistos de aço e concreto flexo-comprimidos e sobre o dimensionamento de tais elementos conforme normas internacionais, mas com ênfase na NBR 8800:2008. Através da revisão bibliográfica serão apresentados aspectos que possibilitem uma boa compreensão sobre o tema, permitindo que seja traçado uma rotina que possibilitará a elaboração das curvas de interação para um pilar misto aço e concreto flexo-comprimido.

A segunda etapa consistirá na elaboração das ferramentas propostas com utilização da linguagem de programação *Visual Basic*. Mediante uma boa revisão bibliográfica será traçado um roteiro de etapas que facilitará a elaboração dos diagramas de interação. Pela análise geral serão deduzidas as equações exatas que relacionam o momento fletor ao esforço normal para seções revestidas, preenchidas e parcialmente revestidas. Através dessas equações será possível a elaboração de diagramas de interação na forma adimensional. Também serão implementados os diagramas de interação M-N produtos de uma análise simplificada proposta pela ABNT NBR 8800 (2008).

A terceira etapa é a referente a validação dos resultados obtidos pelas ferramentas elaboradas na etapa anterior. É necessário que haja uma validação rigorosa que envolva o número maior possível de possibilidades, para que não haja dúvidas quanto a eficiência de ambas as ferramentas. O processo consistirá na prática, de uma análise comparativa entre os resultados obtidos pelos diagramas de interação M-N elaborados a partir da dedução das equações de equilíbrio e os diagramas de interação M-N elaborados a partir da análise simplificada proposta pela ABNT NBR 8800 (2008).

Ao fim desta etapa será possível gerar conclusões quanto aos diagramas interação M-N obtidos pelas equações exatas em comparação ao que é proposto pela norma brasileira vigente. Sendo possível entender como os materiais, esbeltez do pilar e outros fatores influenciam na interação M-N em ambos os métodos.

RESULTADOS

Os resultados esperados da pesquisa serão materializados na forma de ábacos, por meio dos quais será possível uma comparação com modelo apresentado pela norma vigente.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A pesquisa contribuirá de forma significativa para um melhor entendimento sobre o dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto flexo-comprimidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estrutura de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

Chitawadagi, Manojkumar & Mattur, Narasimhan & Kulkarni, S.. (2010). Axial strength of circular concrete-filled steel tube columns — DOE approach. *Journal of Constructional Steel Research - J CONSTR STEEL RES.* 66. 1248-1260. 10.1016/j.jcsr.2010.04.006.

PEREIRA, M. F. **COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES MISTOS PARCIALMENTE REVESTIDOS SUBMETIDOS A FLEXO-COMPRESSÃO**. Tese de Doutorado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2017.

LIGAÇÃO ADESIVADA EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Adhesive connection in steel-concrete composite beams

Discente: **Paulo Eduardo Soares Andrade Filho**, Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Profa.Dra. Silvana De Nardin

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Desde a década de 1960, são realizados estudos para avaliar o comportamento de vigas mistas, tendo em conta o mecanismo usado para promover o comportamento conjunto entre os materiais. Mais precisamente, em vigas de aço e concreto é avaliado o uso de adesivos como possíveis substitutos a dispositivos mecânicos, como os conectores tipo pino com cabeça. Esse projeto busca investigar o uso de um adesivo à base de epóxi para promover a ligação aço-concreto de vigas mistas. A investigação será feita por meio de um estudo experimental e por simulação numérica; em ambos será avaliada a transferência de esforços de cisalhamento entre os componentes da viga mista. O uso de adesivos em vigas mistas de aço e concreto ainda é inexplorado no Brasil, porém a potencial utilização dessa técnica em pontes e edifícios de grandes solicitações, é crescente.

Palavras-Chave: Viga mista de aço e concreto, comportamento conjunto, ligação adesivada, adesivo à base de epóxi.

ABSTRACT

Since the 1960s, studies have been conducted to evaluate the behavior of composite beams, taking into account the mechanism used to promote conjoint behavior between materials. More specifically, in steel and concrete beams, the use of adhesives as possible substitutes for mechanical devices, like Stud-bolt connectors, is evaluated. This project investigates the use of an epoxy adhesive to promote steel-concrete bonding of composite beams. The investigation will be done through an experimental study and by numerical simulation; in both the shear stress transfer between the composite beam components will be evaluated. The use of adhesives on steel and concrete composite beams is still untapped in Brazil, however, the potential use of this technique in bridges and high-demand buildings is increasing.

Keywords: Steel and concrete composite beam, conjoint behavior, adhesive bond, epoxy adhesive.

INTRODUÇÃO

As estruturas mistas vêm sendo estudadas ao longo dos anos em diversas partes do mundo. Elementos mistos como lajes, vigas e pilares são soluções viáveis para execução de grandes pontes e edifícios. No caso das vigas mistas de aço e concreto, geralmente utiliza-se um perfil de aço conectado à laje por meio de algum dispositivo mecânico. A ligação entre os materiais é fundamental pois possibilita a transferência de esforços na interface sendo responsável pelo comportamento conjunto, imprescindível aos elementos mistos. No Brasil, se tratando de vigas mistas, há somente registros do uso de elementos mecânicos de ligação aço-concreto, como conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça. Contudo, o uso de adesivos em substituição aos conectores pino com cabeça pode ser bastante interessante porque pode solucionar alguns inconvenientes inerentes a tais conectores como a fadiga, a durabilidade e a produtividade no processo construtivo. Além desses fatores, a ligação por conectores tipo pino com cabeça traz pontos de concentração de tensões ao passo que a ligação adesivada promove uma distribuição mais uniforme de esforços.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo investigar o uso de adesivos em vigas mistas de aço e concreto, buscando entender os mecanismos desse tipo de ligação e fatores que influenciam na capacidade re-

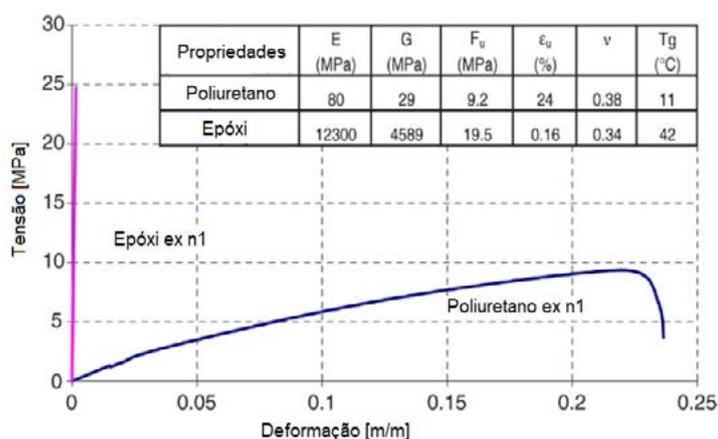
sistente. Procura-se ainda, avaliar o comportamento de um adesivo à base de epóxi, comercializado no Brasil, tendo como resultado, se o uso desse adesivo em vigas mistas, de aço e concreto, é adequado ou não para promover o comportamento conjunto indispensável há existência do elemento misto.

O comportamento de uma viga mista é diretamente afetado pela ligação entre o perfil de aço e a laje. Assim sendo, é importante investigar a ligação adesivada aço-concreto com o intuito de compreendê-la e melhorá-la. As ligações por dispositivos mecânicos, por serem não uniformes e discretas tem algumas características negativas como a concentração de tensões na região adjacente aos dispositivos. Assim, a sua substituição por uma ligação adesivada pode ser uma solução interessante e economicamente viável.

REVISÃO

O tipo de adesivo utilizado para conectar aço e concreto tem grande influência no comportamento da ligação entre esses materiais. Inicialmente, dois tipos principais de adesivos foram estudados para aplicação em vigas mistas: adesivos à base de epóxi e à base de poliuretano. De acordo com resultados de ensaios de tração realizados por Si Larbi *et al.* (2007), os adesivos à base de epóxi apresentam maior resistência que aqueles à base de poliuretano. Quanto ao comportamento, os adesivos à base de epóxi apresentam comportamento frágil ao passo que aqueles à base de poliuretano tem ruptura dúctil (Figura 1). Outro aspecto que merece destaque é o módulo de elasticidade longitudinal, que influencia diretamente na rigidez da ligação aço-concreto. O adesivo poliuretano apresenta módulo com valor significativamente menor que o anterior.

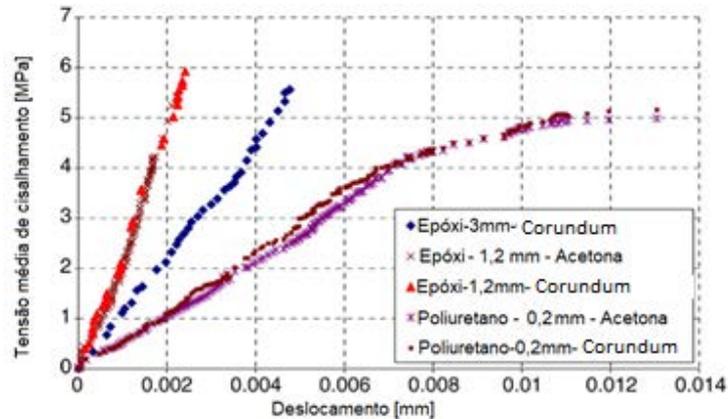
Figura 1: Comportamento a tração uniaxial de adesivos



Fonte: Si Larbi *et al.* (2007)

Ensaio de cisalhamento direto são o mecanismo usualmente empregado para avaliar a transferência de forças na interface aço-concreto. Em ensaios desse tipo, realizados por Si Larbi *et al.* (2007), foi avaliada a influência do tipo de adesivo usado, do tratamento superficial e da espessura da junta de adesiva, na transferência de forças. Os resultados (Figura 2), mostram que as ligações seguem o mesmo comportamento dos adesivos, ou seja, a ligação com o adesivo epóxi tem comportamento frágil e a ligação com poliuretano apresenta comportamento dúctil. Em relação a espessura da junta, percebeu-se que para o adesivo de epóxi, aumentar a espessura, de 1,2mm para 3mm, resultou em uma ligação igualmente resistente porém mais dúctil. No caso do adesivo de poliuretano, aumentar a espessura, nessa mesma medida, resultou em uma ligação incompleta, sendo que esse resultado não chegou a ser plotado no gráfico da Figura 2, porque a ligação foi rompida nos instantes iniciais do ensaio. Os autores associam essa ligação incompleta a uma alta fluidez da resina de poliuretano, combinada com uma espessura inadequada. Nas demais ligações a falha foi do tipo coesiva, localizada nos primeiros 10 mm de concreto, no caso do tratamento superficial com corundum, e na fina camada de calamina (1 mm) da mesa do perfil de aço, no caso do tratamento superficial com acetona. Nesse caso, a mudança no tratamento superficial não influenciou de tensão e deslizamento obtidos no ensaio.

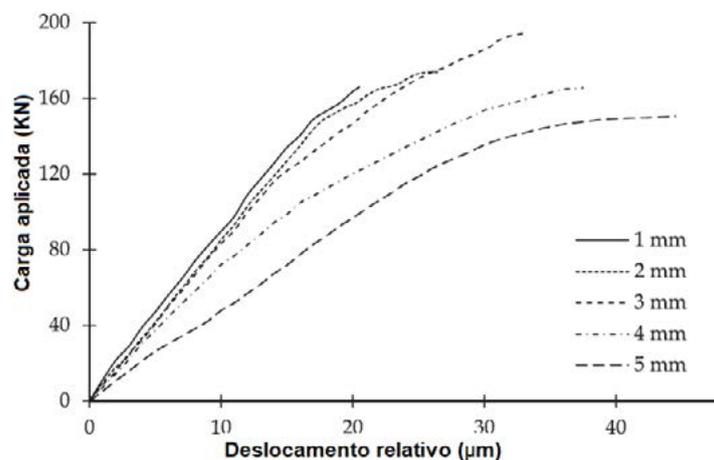
Figura 2: Tensão de cisalhamento vs. escorregamento



Fonte: Si Larbi *et al.* (2007)

Estudos mais recentes, avaliaram mais profundamente a influência da espessura da junta adesiva na transferência de tensões entre os materiais. Kumar *et al* (2018) realizaram ensaios em modelos físicos. Kumar *et al* (2018) realizaram 25 ensaios de cisalhamento direto, variando a espessura da camada de adesivo entre 1 e 5 mm. Os resultados (Figura 3) mostraram que ao aumentar a espessura de 1 mm para 2 e 3 mm, ocorre aumento na capacidade resistente da ligação, aumento no deslizamento último e leve redução na rigidez da ligação. Ao aumentar a espessura para 4 e 5 mm, ocorreu redução da capacidade resistente, aumento do deslizamento correspondente e redução considerável da rigidez. Portanto, esse estudo mostrou que espessuras de até 3mm resultam em ligações aço-concreto com capacidade resistente adequada, promovendo interação completa aço-concreto.

Figura 3: Relação entre espessura do adesivo, força resistente e deslizamento relativo



Fonte: Kumar *et al.* (2018)

Souici *et al* (2013) compararam o comportamento de vigas mistas com conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça e ligação por adesivo. Foram ensaiadas cinco vigas mistas sendo que as vigas B1, B2, B3, continham, respectivamente 18, 14 e 8, conectores tipo pino com cabeça, enquanto as vigas B4 e B5 eram ligadas com adesivos. A viga B4 continha adesivo em toda superfície de contato e a viga B5 somente em 8 pontos de ligação de 100 x 100 mm². Os resultados (Figura 4) mostram que a ligação adesivada é mecanicamente mais vantajosa do que a ligação com pinos com cabeça. A viga adesivada é capaz de suportar mais carregamento e com menores deflexões.

A escolha e definição do tipo de adesivo é importante porém, há muitos outros fatores relacionados à ligação adesivada que devem ser investigados como: espessura da ligação adesivada, resistência à compressão do concreto, resistência ao cisalhamento do adesivo e módulo de elasticidade.

MÉTODO

A ligação adesivada será primeiramente avaliada por meio de um ensaio de cisalhamento capaz de quantificar a resistência de cisalhamento da ligação que por sua vez, representa o esforço transmitido de um material para o outro, quantificando assim, a solidarização produzida pela ligação.

Para complementação do trabalho e buscando entender melhor o mecanismo da ligação, propõe-se ainda um modelo numérico em elementos finitos, utilizando o software Abaqus, para avaliar a influência, na ligação, dos parâmetros citados anteriormente.

RESULTADOS

Espera-se, por meio de ensaios físicos e análises numéricas, qualificar e quantificar a transferência de forças entre aço e concreto quando são utilizados adesivos à base de epóxi. Trata-se de um estudo pioneiro no Brasil e, por isso, aspira-se que esse trabalho abra portas para mais investigações e pesquisas nessa área.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Até o momento, baseado na revisão bibliográfica realizada, sabe-se que a ligação adesivada à base de epóxi mostra-se adequada para utilização em vigas mistas de aço e concreto porém, há diversos fatores que interferem na resposta dessa ligação e alguns desses fatores serão investigados no presente estudo.

REFERÊNCIAS

KUMAR, PANKAJ & PATNAIK, AMAR & CHAUDHARY, SANDEEP. Effect of Bond Layer Thickness on Behaviour of Steel-Concrete Composite Connections. *Engineering Structures*, 2018, 177. 268-282

SI LARBI A, FERRIER E, JURKIEWIEZ B, HAMELIN P. Static behaviour of a steel-concrete beam connected by bonding. *Engineering Structures* 2007;29: 1034-42.

SOUICI A, BERTHET JF, LI A, RAHAL N. Behaviour of both mechanically connected and bonded steel-concrete composite beams. *Engineering Structures* 2013;49:11-23;

ANÁLISE DE SISTEMAS DE REFORÇO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Analysis of Structural Masonry Restrengthening Systems

Discente: **Renato Baiochi Alves Veronese**, Engenheiro Civil, Especialista em Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Co-orientadora: Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A proposta do presente trabalho é avaliar a utilização de sistemas de reforço aplicados em painéis de Alvenaria Estrutural sob ações laterais. Para a pesquisa, foram escolhidos sistemas de reforço com polímero reforçado com fibra vidro e com revestimento argamassado, aproveitando experiências anteriores do grupo de pesquisa, os quais foram aplicados em paredes de alvenaria estrutural feitas com blocos de concreto. A primeira parte da metodologia consiste na revisão bibliográfica, com o intuito de analisar técnicas de dimensionamento e modelos para alvenaria estrutural sob cargas laterais, e ainda reunir informações referentes à utilização dos reforços de alvenaria. A segunda parte do trabalho consiste na modelagem numérica de ensaios já realizados pelo grupo de pesquisa, a fim de comparar-se os resultados obtidos. Por fim, pretende-se verificar a viabilidade técnica da utilização dos métodos de reparo estudados.

Palavras-Chave: Modelagem numérica; Alvenaria Estrutural; Reforço.

ABSTRACT

The purpose of this work is to evaluate the use of restrengthening systems applied to Structural Masonry panels under lateral actions. For the research, have been chosen restrengthening systems with reinforced polymeric fibers and coating reinforcements, taking advantage of previous experiences of the research group, which had applied in walls of structural masonry made with concrete blocks. The first part of the methodology consists in a bibliographical review, with the purpose of analyzing structural design techniques and models for structural masonry under lateral loads, as well as gathering information regarding the use of masonry reinforcements. The second part of the work consists in the numerical modeling of tests carried out by the research group, besides the execution of laboratory tests on a masonry panel restrengthened with composite grids, in order to compare the results obtained. Finally, the technical feasibility on the use of the studied methods will be verified. Keywords: Numerical modelling; Structural masonry; Restrengthening.

INTRODUÇÃO

Existem inúmeras técnicas relacionadas ao reforço e ao reparo de estruturas de alvenaria a fim de prevenir acidentes relacionados às ações laterais, dentre as quais podem ser citados os métodos de injeção de graute, fibras poliméricas, revestimento com diferentes tipos de argamassas (armadas ou não, executadas manualmente ou com equipamentos de projeção), dentre outros tipos. É importante ressaltar que a primeira técnica apresentada possui limitações quanto a sua execução. No caso dos sistemas de reforço aplicados em revestimentos e composto por fibras poliméricas, há uma possibilidade de redução dos custos. Contudo, tais sistemas geralmente não possuem boas características na visão ecológica, principalmente a argamassa de revestimento que demanda altos teores de cimento em sua composição (LI et al., 2017).

Com este trabalho, procura-se analisar o comportamento de paredes de Alvenaria Estrutural reforçadas, com

o uso de modelos analíticos e numéricos. A partir dessas análises, os resultados serão avaliados e comparados entre si, a fim de definir os tipos de sistemas de reforço que aplicam-se ao tema em questão.

REVISÃO

REFORÇO COM GRAUTE ARMADO

Já é de conhecimento que o aço, material presente em armaduras de concreto armado, possui boas características de resistência à tração, podendo chegar a valores de até 600 MPa para a tensão de escoamento, quando se trata de um CA-60 por exemplo, produto padronizado conforme NBR 6118 (ABNT, 2014). Além da elevada resistência à tração, as barras de aço produzidas para a construção civil possuem nervuras ao longo de seu comprimento, demonstrando também uma boa aderência com o concreto.

Para o caso da Alvenaria Estrutural, a armadura funciona muito bem em conjunto com o graute presente no interior da estrutura. Apenas o graute já leva à presença de melhorias nas características de compressão e tração da parede de alvenaria, porém com a utilização de armaduras ao longo dos vãos aumenta ainda mais esses valores de resistência do painel. Mohamad et al. (2015) afirma que é a técnica mais aplicada como reforço de alvenarias atualmente, sendo que a ideia é o desenvolvimento de pequenos pilares no interior da alvenaria, que além de resistirem a esforços de flexão, agem muito bem contra esforços de compressão e cisalhamento.

REVESTIMENTO REFORÇADO

Uma camada de revestimento em conjunto de armação serve também como reforço para alvenaria estrutural, sendo possível utilizar tanto argamassa de cimento e areia como concreto projetado, sendo comprovado por Jabarov et al. (1980) que o aumento de resistência varia entre 1,25 a 3 vezes. Este aumento de resistência pode variar, dependendo da armação utilizada e do tipo de revestimento.

Oliveira (2001) realizou um estudo relacionado ao uso de argamassa comum para reabilitação de paredes, utilizando ainda telas de aço em conjunto com o revestimento. Com isso, a autora realizou ensaios de resistência à compressão, à flexão e ao cisalhamento em paredes com e sem revestimento. Os resultados indicaram valores favoráveis em relação à compressão e ao cisalhamento, sendo que para o último tiveram casos de 2,4 vezes de acréscimo. A seguir serão mostrados alguns materiais que podem ser utilizados como reforço de revestimento.

Na Universidade de Calgary (UofC), foi realizado um estudo com pilares de Alvenaria Estrutural reforçados com revestimento composto por fibras discretas de vidro (projetado). Os pesquisadores Shaheen e Shrive (2005) encontraram valores satisfatórios em relação ao uso do revestimento, com valores de deslocamentos de 2 a 5 vezes maior nos pilares reforçados, mesmo que os valores de ruptura tenham sido similares. O SGFRP já foi utilizado pelos autores Parsekian et al. (2014), e resultados satisfatórios também foram obtidos.

Como o próprio nome já diz, a proposta do EDCC é que seja um material dúctil, ecológico e aplicado manualmente similarmente a uma argamassa de revestimento. Este material está em desenvolvimento na UofC e também pode-se observar resultados satisfatórios em alguns artigos, como Li et al. (2017).

Lunn e Rizkalla (2014) afirmam que paredes de alvenaria com enchimento de fibras poliméricas é considerado um sistema muito eficaz para a elevação da resistência no plano e fora do plano e ainda da ductilidade da estrutura, sendo que autores apresentam resultados de ensaios com barras de fibra de vidro (GALATI et al., 2006) e fibras poliméricas reforçadas de vidro e carbono (DALFRÉ, 2013), mostrando que é possível aumentar consideravelmente a ductilidade e resistência à flexão de alvenarias submetidas a esse tipo de reforço.

MÉTODO

A premissa para o desenvolvimento deste tema é o estudo numérico e experimental de paredes de Alvenaria Estrutural reforçadas, incluindo realização de modelagem numérica com o uso de elementos finitos dos resultados obtidos a partir dos ensaios de alvenarias reforçadas já realizados pelo grupo de pesquisa, com a utilização de EDCC e SGFRP, e comparação dos modelos com os que serão realizados posteriormente com as grelhas compósitas. Para a esta etapa, pretende-se fazer uso do *software* Abaqus/CAE, usualmente utilizado pelo grupo de pesquisa, buscando-se na literatura modelos que podem melhor descrever os casos estudados, onde são utilizados modelos em elementos finitos para análise de estruturas sujeitas a esforços laterais. Esses modelos, desenvolvidos especificamente para o caso, deverão ser estudados ao longo do projeto de mestrado, a fim de definir qual o modelo mais adequado para os ensaios realizados.

Os ensaios de flexão normal e paralela à junta de assentamento consistem num modelo isostático, com dimensões 0,8 x 1,0 m, apoiado nas duas extremidades, com a aplicação de duas cargas pontuais na face

superior. As aplicações de SGFRP e EDCC foram feitas na face apoiada das paredes. A Figura 1 apresenta os ensaios de flexão realizados com os dois tipos de reforços, sendo que a Figura 1b apresenta o *span test* (também realizado para determinar as tensões de flexão, regido pela norma ASTM E72-05 (ASTM, 2005)). O ensaio de cisalhamento consiste num modelo semelhante ao de flexão, com apenas uma face reforçada, e a realização do ensaio se dá nas duas direções. Porém, é utilizada uma parede de 0,8 x 0,8 m, com apenas uma carga pontual situada a 20 cm de um dos apoios. Na Figura 2 é possível visualizar o ensaio realizado para a alvenaria reforçada com EDCC, e o ensaio para determinação do cisalhamento para a alvenaria reforçada com SGFRP pode ser verificado na Figura 1b, sendo o mesmo ensaio para determinação da tensão de flexão.

Figura 1 – Ensaio de flexão em alvenaria reforçada.



(a) Reforço em EDCC

(b) Reforço em SGFRP

Fonte: PARSEKIAN; SHRIVE, 2019 (a); PARSEKIAN; FONSECA; SHRIVE, 2014 (b).

Figura 2 – Ensaio de cisalhamento em alvenaria reforçada com EDCC.



Fonte: PARSEKIAN; SHRIVE, 2019.

Por último, tem-se o ensaio realizado com paredes em escala real, medindo 3 x 6 m, e engastada nos quatro lados (Figura 3). Similar aos ensaios de flexão e cisalhamento, a camada de reforço foi aplicada na face oposta à face de aplicação da carga. Um detalhe importante deste ensaio está na distribuição da carga aplicada, que é realizada triangularmente, a fim de simular o empuxo na parede.

Figura 3 – Ensaio em paredes reais de alvenaria reforçada.



(a) Reforço em EDCC

(b) Reforço em SGFRP

Fonte: PARSEKIAN; SHRIVE, 2019.

RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se avaliar as diferenças entre os métodos existentes para o dimensionamento de Alvenaria Estrutural, entendendo-se cada um deles. Com base nesses métodos, será possível propor um procedimento adequado às condições nacionais e validando as teorias propostas.

Os resultados serão avaliados, e comparados entre si, analisando a consistência dos mesmos, além dos efeitos das potenciais variáveis e das eventuais necessidades de avaliar novas situações não previstas anteriormente. Além disso, os resultados serão organizados em tabelas e gráficos, sempre que possível, a fim de uma melhor visualização e compreensão dos mesmos.

A partir das conclusões geradas ao final da pesquisa, espera-se auxiliar projetistas e construtores a desenvolver projetos mais seguros e devidamente construídos, visando ainda a utilização de materiais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E72: **Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction**. West Conshohocken, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

DALFRÉ, G. M. **Flexural and shear strengthening of RC elements**. 2013. 400 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2013.

GALATI, N.; TUMIALAN, G.; NANNI, A. **Strengthening with FRP bars of URM walls subject to out-of-plane loads**. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 20, n. 1-2, p. 101-110, fev. 2006.

JABAROV, M., KOZHARINOV, S., LUNYOV, A., **1980, Strengthening of Damaged Masonry By Reinforced Mortar Layers**. In: WCEE, 7., 1980, Istanbul. *Proceedings...* Istanbul, 1980. v. 6, p. 73-80.

LI, R.; PARSEKIAN, G. A.; SHRIVE, N. C. **Properties of Eco-friendly Ductile Cementitious Composites (EDCC)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. *Proceedings...* Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

LUNN, D. S.; RIZKALLA, S. H. **Design of FRP-Strengthened Infill-Masonry Walls Subjected to Out-of-Plane Loading**. Journal Of Composites For Construction, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 1-8, jun. 2014.

MOHAMAD, G. *et al.* (Org.). **Construções em Alvenaria Estrutural: Materiais, Projeto e Desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015. 355 p.

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de Paredes de Alvenaria pela Aplicação de Revestimentos Resistentes de Argamassa Armada**. 2001. 203 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Escola De Engenharia De São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PARSEKIAN, G. A.; FONSECA, F. S.; SHRIVE, N. G. **Strength of Hollow Concrete Masonry Reinforced with Sprayed Glass-Fiber-Reinforced Polymer**. Journal Of Composites For Construction, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 04014017-1 – 04014017-14, dez. 2014.

PARSEKIAN, G. A.; SHRIVE, N. G. **Preliminary Results on Surface Coating Strengthening Concrete Block Masonry With Eco-Friendly Ductile Cementitious Composite**. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 13., 2019, Salt Lake City. *Proceedings...* Salt Lake City, 2019.

SHAHEEN, E.; SHRIVE, N. **Strengthening Of Masonry Columns With Sprayed Glass Fiber Reinforced Glass Polymer (SGFRP)**. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 10., 2005, Banff. *Proceedings...* Banff, 2005.

AVALIAÇÃO DA LARGURA EFETIVA DE PONTES E VIADUTOS EM SEÇÃO CAIXÃO MISTA DE AÇO E CONCRETO PARA O GRAU DE INTERAÇÃO TOTAL E PARCIAL

Evaluation of the effective width of bridges and viaducts in composite box section of steel and concrete for the degree of total and partial interaction

Discente: **Renato Silva Nicoletti**, Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

As pontes e viadutos são construções de vital importância para a infraestrutura viária de um país e, em consequência, para o desenvolvimento econômico do mesmo. Na busca de sistemas construtivos eficientes, despontam as estruturas mistas de aço e concreto, em especial, as pontes em seção caixão. Entretanto, para a construção de pontes, o potencial das estruturas mistas ainda é pouco explorado por diversos fatores, como, por exemplo, a inexistência de normas técnicas específicas, ferramentas de projeto e conhecimento técnico limitado. O presente trabalho busca analisar, via simulação numérica, a largura efetiva da laje e verificar se as expressões para seu cálculo em vigas mistas com perfis tipo “I” são válidas para seção caixão mista. Ademais, visa-se ainda estudar o comportamento da seção caixão, com ênfase no estudo da interface aço-concreto na situação de interação total e parcial entre a viga e o tabuleiro, visando analisar a viabilidade técnica desta última.

Palavras-Chave: Pontes mistas de aço e concreto; Seção caixão; Largura efetiva; Interação total e parcial.

ABSTRACT

Bridges and viaducts are very important constructions for a country's road infrastructure and, consequently, for its economic development. Searching for efficient building systems, the composite structures of steel and concrete, especially the bridges in box section, are emerging. However, for the construction of bridges, the potential of composite structures is still underexplored due to several factors, such as the lack of specific technical standards, design tools and limited technical knowledge. The present work intends to analyze, by numerical simulation, the effective width of the slab and to verify if the expressions for its calculation in composite beams with type “I” profiles are valid for composite box section. In addition, the objective is to study the behavior of the box section, focusing on the study of the steel-concrete interface in the situation of total and partial interaction between the beam and the board, analyzing the technical feasibility of the latter.

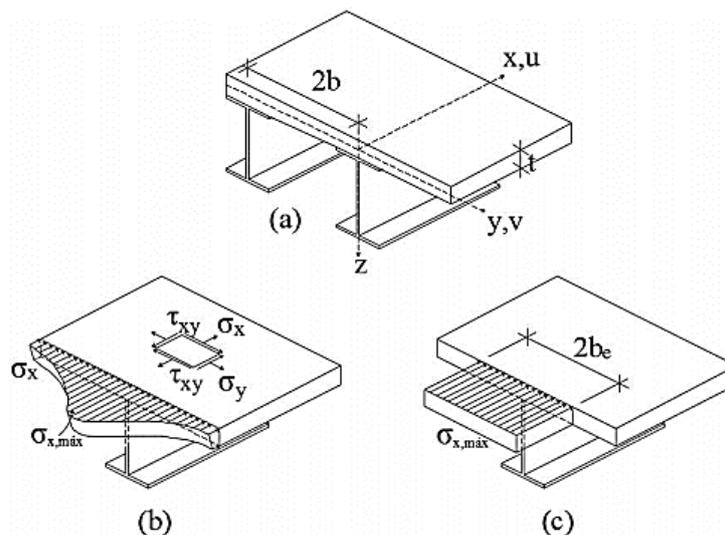
Keywords: Composite steel-concrete bridges; Box section; Effective width; Total and partial interaction.

INTRODUÇÃO

O emprego de elementos mistos de aço e concreto, para a construção de edifícios, já é consagrado e consolidado. Entretanto, para a construção de pontes e viadutos, o potencial das estruturas mistas ainda é pouco explorado, por diversos fatores, como, por exemplo, a inexistência de normas técnicas específicas, ferramentas de projeto e conhecimento técnico limitado.

Nas vigas mistas de aço e concreto, as tensões normais não laje não são uniformes, de forma que apresentam um pico de tensões junto a viga, produzindo uma seção não plana após o carregamento – efeito *shear lag*. Para considerar tal efeito, vem à tona o conceito de largura efetiva, realizando uma redução da largura da laje e permitindo que as hipóteses de seção planam sejam mantidas, levando a erros aceitáveis para rotinas de projeto. A Figura 1 sintetiza o conceito de largura efetiva.

Figura 1: Conceito de largura efetiva: (a) Geometria de vigas mistas; (b) Distribuição de tensões real; (c) Distribuição de tensões uniforme considerando a largura efetiva



Fonte: Reginato (2017) adaptado de Ahn *et al.* (2004)

Para vigas mistas de edifícios e pontes em vigas mistas com seção em alma cheia (tipo “I”), o cálculo da largura efetiva da laje já está estabelecido em normas. Porém, o mesmo não ocorre para vigas mistas de pontes em seção caixão.

Além disso, no caso das vigas mistas para edifícios, o trabalho conjunto pode ser dimensionado para promover uma ligação aço-concreto para resistir à totalidade do fluxo de cisalhamento na interface (interação total) ou no mínimo 40% do fluxo de cisalhamento na interface (interação parcial) – ABNT NBR 8800 (2008). Porém, nas pontes não se admite interação parcial.

É notória a necessidade de melhoria da infraestrutura viária do Brasil para o desenvolvimento econômico do país. Além de questões políticas e econômicas, as dificuldades em atender essa demanda também são afetadas por fatores técnicos. Indubitavelmente, as pontes mistas de aço e concreto estão entre as tecnologias construtivas mais promissoras, sendo necessário maior investimento em pesquisas científica e tecnológica, ferramentas de projeto e transferência de conhecimento ao meio técnico para viabilizar o uso desse sistema construtivo.

O presente trabalho possui o objetivo de analisar a largura efetiva da laje e verificar se as expressões para seu cálculo em vigas mistas com perfis tipo “I” são válidas para seção caixão mista. Além disso, intenta-se investigar o comportamento da seção caixão, com foco no estudo da interface aço-concreto na situação de interação total e parcial entre a viga e o tabuleiro.

REVISÃO

O comportamento e os critérios de análise e projeto de estruturas mistas têm sido amplamente estudados no Brasil. No entanto, as aplicações estão voltadas predominantemente para edifícios.

Especificamente para pontes, a bibliografia nacional é limitada e desatualizada. Merece destaque o trabalho de Pinho e Bellei (2007), que exhibe uma compilação acerca das principais tipologias e critérios de projeto para pontes de aço e mistas de aço e concreto com base em normas estrangeiras. Souza (2006), por sua vez, apresenta detalhes sobre o comportamento, a análise e o dimensionamento de pontes mistas de aço e concreto de pontes formadas por vigas retas em perfil “I”. Cita-se ainda Nicoletti e Souza (2019), que sintetizaram os procedimentos de projeto da norma americana AASHTO (2017) para pontes mistas na configuração em seção caixão e desenvolveram uma ferramenta de pré-dimensionamento.

Na literatura internacional, o volume de trabalhos é muito superior, havendo diversos trabalhos acerca do desenvolvimento de tecnologias construtivas e de projetos (PEDRO *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2018), na elaboração de manuais e procedimentos simplificados de análise e dimensionamento de projetos (PATEL, 2009) e também no estudo da distribuição de tensões na interface (GARA *et al.*, 2011; ZHU *et al.*, 2015).

Quanto à largura efetiva, a mesma tem sido foco de vários estudos nos últimos anos (SALAMA e NASSIF, 2011; YUAN *et al.*, 2016). Especificamente para pontes mistas em seção caixão, os estudos ficaram por conta de Abbu *et al.* (2014) que estudaram numericamente o comportamento da distribuição das tensões normais e propuseram expressões de cálculo para a largura efetiva.

MÉTODO

A fim de determinar a largura efetiva e avaliar o comportamento de pontes e viadutos mistos em seção caixão, serão simulados numericamente 240 modelos no *software* ABAQUS, nos quais será adotado uma seção transversal com largura de 12,80 metros, laje maciça e vinculação biapoiada. Previamente ao início das análises paramétricas, os modelos serão calibrados com base em ensaios experimentais realizados por Abbu *et al.* (2014) e Ryu *et al.* (2004) em pontes em viga caixão mistas de aço e concreto.

As variáveis de estudo da análise paramétrica dos modelos serão:

- A configuração da seção transversal:
 - Caixão simples;
 - Duplo caixão;
- A interface entre os materiais aço e o concreto:
 - Conectores *stud bolt* dimensionados para o grau de interação total entre os materiais;
 - Conectores *stud bolt* dimensionados para o grau de interação parcial entre os materiais;
 - Ferramenta *Tie constraint* no ABAQUS, que dispensa a modelagem de conectores e impede totalmente o escorregamento relativo entre as duas superfícies em contato.
- Altura da laje: entre 150 mm e 300 mm, variando 10 mm a cada modelo;
- Comprimento do vão: entre 10000 mm e 50000 mm, variando 5000 mm a cada modelo.

A análise da interface aço-concreto e o comportamento da seção transversal como um todo, para os diferentes graus de interação entre os materiais, será realizada com a seção plastificada, com foco no meio do vão e na região dos apoios.

Por sua vez, para o estudo da largura efetiva, a análise será realizada no início da plastificação da laje pelo fato de a largura efetiva não poder ser mensurada quando tal elemento está plastificado, já que isso causaria uma distribuição de tensões uniforme e não seria possível analisar o efeito *shear lag*.

REFERÊNCIAS

ABBU, M.; EKMEKYAPAR, T.; OZAKÇA, M. F. E. **Analysis of Stresses in Composite Box Girder Bridges**. Conference Paper, Gaziantep, Turkey, 2014.

AHN, I. S.; CHIEWANICHAKORN, M.; CHEN, S. S.; AREF, A. J. Effective flange width provisions for composite steel bridges. **Engineering Structures**, v. 26, n. 12, p. 1843–1851, 2004

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (AASHTO). **LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials**. Washington, DC, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

CHAVEL, B.; RIVERA, J. **Steel Bridge Design Handbook Design - Example 5: Three-Span Continuous Horizontally Curved Composite Steel Tub-Girder Bridge**. 2015.

GARA, F.; RANZI, G; LEONI, G. Partial interaction analysis with shear-lag effects of composite bridges: a finite element implementation for design applications. **Advanced Steel Construction**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2011.

NICOLETTI, R. S.; SOUZA, A. S. C. Desenvolvimento de ferramenta para o anteprojeto de pontes em seção caixão mista de aço e concreto. In: Congresso Latino Americano da Construção Metálica, 8, 2019, São Paulo/SP. **Anais do Construmetal 2019**. São Paulo: ABCEM, 2019. 249-267

PATEL, P. **LRFD design of double composite box girder bridges**. 2009. 122p. Thesis (Graduation in Civil Engineering) - University of South Florida, Florida.

PEDRO, R. L.; DEMARCHE J.; MIGUEL, L. F. F.; LOPEZ, R.H. An efficient approach for the optimization of simply supported steel-concrete composite I-girder bridges. **Advances in Engineering Software**, v. 112, p. 31-45, 2017.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

REGINATO, L. H. **Estudo da Largura Efetiva de Vigas Mistas de Aço-Concreto em Carregamento de Serviço: Método dos Elementos Finitos versus Códigos de Projeto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RYU, H. K.; SHIM, C. S.; CHANG, S. P. Testing a composite box-girder bridge with precast decks. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings**, v. 157, n. 4, p. 243-250, 2004.

SALAMA, T.; NASSIF, H. H. Effective flange width for composite steel beams. **Journal of Engineering Research**, v. 8, n. 1, p. 28–43, 2011.

SOUZA, V. J. L. **Contribuição ao projeto e dimensionamento da superestrutura de pontes rodoviárias em vigas mistas de aço e concreto**. 2006. 133p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

ZHU, L.; NIE, J. G.; LI, F. X.; JI, W. Y. Simplified analysis method accounting for shear-lag effect of steel-concrete composite decks. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 115, p. 62–80, 2015.

ANÁLISE NUMÉRICA DE PILARES TRELIÇADOS DE AÇO FORMADOS A FRIO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO CENTRADA E EXCÊNTRICA

Numerical analysis of laced columns in cold formed steel submitted to centered and eccentric compression

Discente: **Riterson Jacques Nunes**, Engenheiro Civil, Especialista em Docência no Ensino Superior

Orientador: Prof. Dr. Wanderson Fernando Maia

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Este trabalho analisará o comportamento estrutural de pilares treliçados, de perfis formados a frio, submetidos à compressão centrada e excêntrica. Devido aos poucos procedimentos normativos relativos ao seu dimensionamento, será realizada uma análise numérica, com o software ANSYS, a fim de simular resultados experimentais já publicados, mensurar a influência dos parâmetros estudados e extrapolar resultados para novas configurações geométricas, diferentes tipos de perfil, variando valores de esbeltez.

Palavras-Chave: Pilares treliçados de aço; perfis formados a frio; compressão centrada; compressão excêntrica.

ABSTRACT

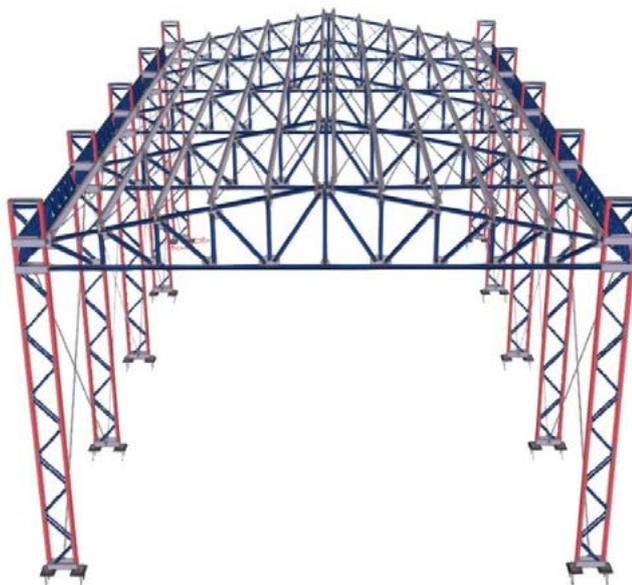
This paper will analyze the structural behavior of laced columns, of cold formed steel, submitted to centered and eccentric compression. Due to the few normative procedures related to the sizing, a numerical analysis will be performed with the ANSYS software, in order to simulate experimental results already published, to measure the influence of the studied parameters and to extrapolate results to new geometric configurations, different profile types, varying slenderness values.

Keywords: Laced columns; cold formed steel; centered compression; eccentric compression.

INTRODUÇÃO

Pilares são elementos estruturais básicos na composição de uma estrutura, sendo muitas vezes utilizados com o emprego do aço, uma opção muito adotada é o dimensionamento de treliças com perfis formados a frio, que proporcionam uma boa relação entre resistência e economia de material, admitindo peças mais esbeltas. Porém existem poucos estudos e, conseqüentemente, poucos procedimentos normativos que guiam o dimensionamento de pilares treliçados de aço. A ferramenta mais utilizada para análise e dimensionamento desses elementos é a simulação numérica em softwares de engenharia. A Figura 1 ilustra a modelagem em software de um galpão de aço que utiliza pilares treliçados.

Figura 1: Modelagem de galpão treliçado de aço



Fonte: <https://www.tutorialcursos.com/item/curso-modelagem-de-galpao-trelicado-com-tekla-structures-2017i> (2019)

A solicitação principal que um pilar recebe durante sua vida útil é a compressão, este trabalho analisará, numericamente, o comportamento estrutural para compressões centrada e excêntrica, de forma a aprofundar o conhecimento sobre o tema.

Os objetivos do estudo serão: 1) Reproduzir numericamente, utilizando o software ANSYS, os resultados experimentais existentes para pilares treliçados de aço, submetidas à compressão centrada e excêntrica e analisar se os procedimentos normativos vigentes são satisfatórios para o seu dimensionamento. 2) A partir do modelo numérico desenvolvido para os casos em que se dispõe de resultados experimentais, extrapolar o mesmo para outros casos e mensurar a influência de diferentes índices de esbeltez local e global e tipos de perfis nos banzos (perfis U e U enrijecido), assim como diferentes configurações geométricas do pilar. Para os montantes e diagonais serão utilizadas seções em dupla cantoneira. 3) Investigar o comportamento estrutural dos pilares para diferentes magnitudes de imperfeições.

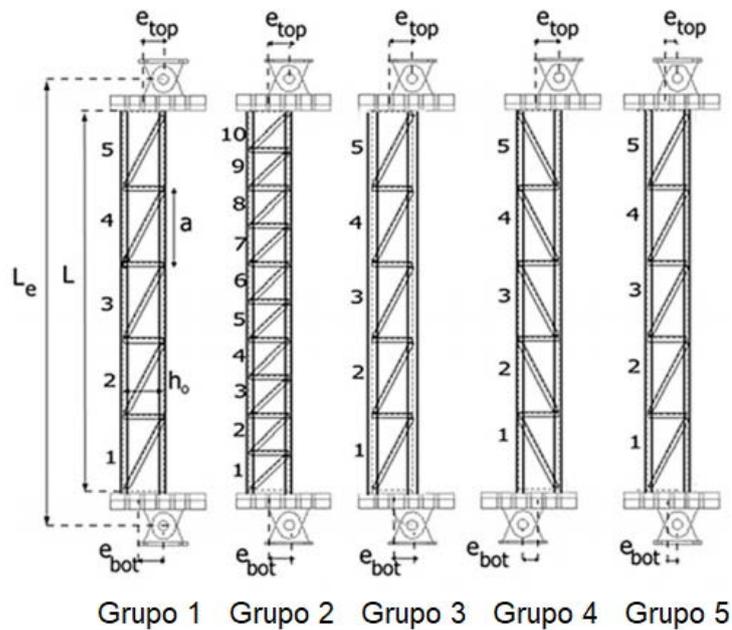
Justifica-se este estudo pelo fato de haver, relativamente, poucos estudos relacionados ao tema, o que produz uma ausência de procedimentos normativos para auxiliar a análise e dimensionamento de pilares treliçados submetidos à compressão centrada e excêntrica. Portanto a motivação é reproduzir numericamente resultados já publicados, observando os parâmetros investigados, para aprofundar o conhecimento do comportamento estrutural e extrapolar para outras configurações geométricas, diferentes aplicações das cargas e dos materiais, dando atenção especial aos perfis formados a frio, que atualmente são os mais utilizados nesse tipo de elemento estrutural.

REVISÃO

Kalochairetis et al (2014) avaliaram, experimental e numericamente, a resistência de pilares treliçados de aço, para aplicação de cargas com significantes excentricidades, variou-se a magnitude e direção da excentricidade nos ensaios, bem como o tipo de banzo e a quantidade de tramos diagonais do pilar. Foram produzidos cinco diferentes tipos de pilares, conforme a Figura 2, os pilares foram produzidos com banzos

em perfis U e cantoneiras atuando como montantes e diagonais, sendo que para o grupo 3 foram adotados perfis I para os banzos.

Figura 2: Grupos de pilares ensaiados



Fonte: Adaptado de Kalochairetis et al (2014)

O estudo concluiu que o comportamento global e a carga crítica foram afetados, principalmente, pela área da seção transversal dos banzos e pela magnitude e direção da excentricidade.

MÉTODO

A primeira etapa da análise numérica do presente trabalho consistirá em simular, via elementos finitos, com o software ANSYS, os modelos analisados por Kalochairetis et al (2014). Os autores realizaram os ensaios experimentais em laboratório e as simulações numéricas no software ADINA, portanto os conceitos e aplicações básicas serão, a priori, definidos como proposto por eles.

A aplicação de imperfeições geométricas iniciais é importantíssima para o êxito das simulações, inicialmente a estratégia acompanhará a mesma adotada pelos autores, no entanto, outras serão testadas. Vale ressaltar os trabalhos desenvolvidos por Maia (2012), Rocha e Maia (2019) e Coelho e Maia (2019) que analisaram a influência de imperfeições geométricas iniciais em barras compostas constituídas por perfis formados a frio.

Na sequência do trabalho, será realizada uma análise paramétrica utilizando perfis formados a frio, variando as seções utilizadas nos banzos (perfis U e U enrijecido), a distância entre elas, bem como a espessura dos perfis, buscando avaliar diferentes índices de esbeltez local e global. Para os montante e diagonais serão utilizadas dupla cantoneira. Serão analisadas ainda diferentes configurações de montantes e diagonais, bem como o comprimento dos painéis.

REFERÊNCIAS

ADINA System 8.3. **Release Notes**. 2005.

ANSYS. **Structural nonlinearities**. v.13.0, Houston, USA, 2011.

Bonab, A. P; Hashemi, B. H; Hosseini, M. **Experimental evaluation of the elastic buckling and compressive capacity of laced columns**. Journal of Constructional Steel Research. 2013; 86:66-73.

Coelho, G. C.; Maia, W. F. "**Análise numérica de barras em dupla cantoneira de aço formadas a frio com travejamento em quadro submetidas à compressão**". São Paulo EXPO; Cidade: São Paulo; 8º Construmetal, ABCEM – Associação Brasileira da Construção Metálica.

DIN 50125. **Test pieces for the tensile testing of metallic materials**. 1991.

Eurocode 3: **Design of Steel Structures. Part 1.1: General structural rules**. Brussels: CEN-European Committee for Standardisation. 2005 [EN1993–1–1].

European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). **Ultimate limit state calculation of sway frames with rigid joints. Technical Working Group 8.2**. Systems, Publication No. 33. 1983.

Gantes, C. J; Kalochairetis, K. E. **Axially and transversely loaded Timoshenko and laced built-up columns with arbitrary supports**. Journal of Constructional Steel Research. 2012.77:95-106.

Kalochairetis, K. E; Gantes, C. J. **Experimental and numerical investigation of collapse load of laced built-up columns**. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium. 2013. p. 23-7.

Kalochairetis, K. E; Gantes, C. J. **Experimental and numerical investigation of eccentrically loaded laced built-up steel columns**. Computers and Structures. 2014. 101:66-81.

Kalochairetis, K. E; Gantes, C. J. **Numerical and analytical investigation of collapse loads of laced built-up columns**. Computers and Structures. 2011. 89:1166-76.

Maia, W. F. **Análise teórica e experimental de barras em dupla cantoneira de aço formadas a frio submetidas à compressão**. Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

Maia, W. F; Vieira Jr, L. C. M; Schafer, B. W; Malite, M. **Experimental and numerical investigation of cold-formed steel double angle members under compression**. Journal of Constructional Steel Research. 2016. 121:398-412.

Paul, M. **Buckling loads for built-up columns with stay plates**. Journal of Engineering Mechanics. 1995. 121:1200-8.

Rocha, M. S; Maia, W. F. "**Estudo do comportamento de perfis de aço formados a frio em seção duplo "u" costa a costa submetidos à compressão**". São Paulo EXPO; Cidade: São Paulo; 8º Construmetal, ABCEM – Associação Brasileira da Construção Metálica.

Schafer, B. W; Peköz, T. **Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses**. Journal of Constructional Steel Research. 1998. 47:193-210.

ESTUDO DOS MECANISMOS RESISTENTES DE JUNTA COM CHAVES DE CISALHAMENTO EM VIGA-PILAR EM CONSOLOS PRÉ-FABRICADOS COM A UTILIZAÇÃO DE CHAPA METÁLICA NO APOIO DA VIGA

Study of the strength of joining mechanisms with beam-pillar shear switches in prefabricated brackets using sheet metal to support the beam

Discente: **Rogério José Solidario Chaves**, Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Dr. Marcelo de Araújo Ferreira

Co-Orientador: Dr. Roberto Chust de Carvalho

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo teórico-experimental do mecanismo resistente de junta com chave de cisalhamento em ligações de pilar-viga, em consolos pré-fabricados com a utilização de chapa metálica no apoio da viga. Para este estudo serão realizados ensaios experimentais de um modelo de cisalhamento direto, afim de validar o ensaio experimental do modelo completo da ligação pilar-viga com o mecanismo de chave de cisalhamento na viga e no pilar e preenchido posteriormente com graute. O principal objetivo será avaliar o comportamento da ligação pilar-viga e quantificar a parcela do esforço que o sistema com chave de cisalhamento absorve e alivia do consolo, afim de implementar os parâmetros definidos neste estudo à NBR9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Os resultados serão comparados aos resultados obtidos por Faleiros (2018) que ensaiou o mesmo modelo, porém com a utilização de almofada elastomérica, ao invés de chapa metálica conforme será exposto neste trabalho. E por fim será realizada uma análise numérica utilizando o método dos elementos finitos para parametrizar os resultados de forma que possam ser extrapolados com variação das dimensões do modelo.

Palavras-Chave: Chave Cisalhamento; Consolos; Pré-Moldado; Ligação

ABSTRACT

This work consists of a theoretical and experimental study of the shear-resistant joint mechanism in shear-beam connections, in prefabricated consoles using a sheet metal to support the beam. For this study will be performed experimental tests of a direct shear model in order to validate the experimental test of the complete model of the column-beam connection with the beam and column shear switch mechanism and later filled with grout. The main objective will be to evaluate the behavior of the pillar-beam connection and to quantify the portion of the effort that the shear key system absorbs and relieves from the console, in order to implement the parameters defined in this study to NBR9062: Design and execution of precast concrete structures. -molded. The results will be compared to the results obtained by Faleiros (2018) who tested the same model, but with the use of elastomeric pad, instead of sheet metal as will be exposed in this work. Finally, a numerical analysis will be performed using the finite element method to parameterize the results so that they can be extrapolated with varying model dimensions.

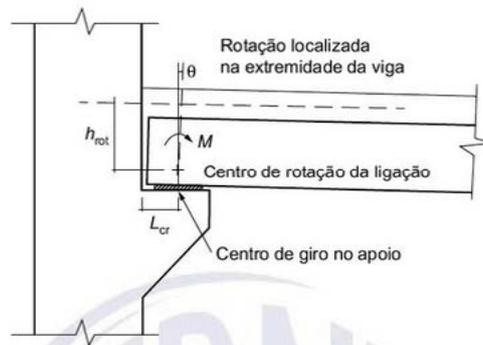
Keywords: Shear Wrench; Consolations; Precast; Joint

INTRODUÇÃO

Quando comparamos o sistema de concreto pré-moldado ao concreto moldado in loco, não é difícil identificar que o que diferencia o sistema estrutural dos dois modelos é a ligação entre os elementos estruturais, que no primeiro sistema construtivo as peças chegam até a obra de forma individual e na montagem dos elementos é necessário realizar a ligação. Já nas estruturas de concreto armado moldadas in loco é comum concretar os elementos como um

todo, fazendo com que a estrutura seja monolítica. Essa diferença faz com que em sistemas pré-moldados na maioria dos casos tenham uma ligação mais simples de executar, que facilita a montagem, havendo ganho de tempo na execução, e em termos estruturais a ligação mais simples é a ligação bi-apoiada, que em termos práticos não transmite momentos fletores aos pilares, fazendo com que a viga absorva esse momento fletor e consequentemente os pilares recebam apenas esforços de compressão, uma ilustração desse tipo de ligação é apresentada na figura 01.

Figura 3: Exemplo de uma Ligação Pilar-viga



Fonte: NBR 9062:2017

Portanto o estudo da ligação em sistemas pré-moldados se torna essencial para o entendimento global da estrutura que é afetada diretamente pela vinculação entre os elementos.

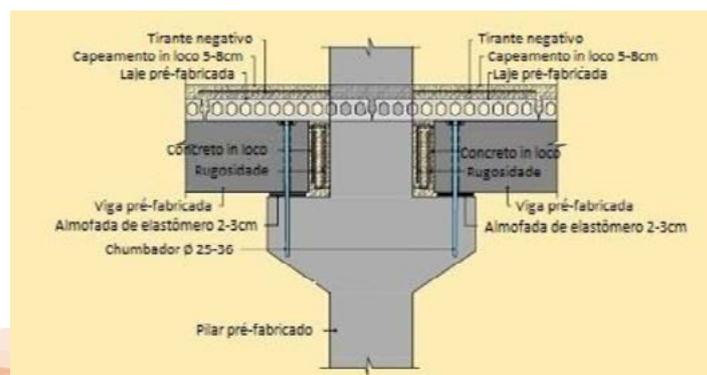
REVISÃO

Os trabalhos apresentados neste estudo possuem temas que se relacionam com o objeto de pesquisa, e complementam as informações necessárias para a base teórica deste trabalho.

As ligações do ponto de vista estrutural é basicamente o que diferencia as estruturas pré-moldadas das estruturas moldadas in loco, por esse motivo surge a necessidade de realizar o estudo das ligações para entender seu comportamento. E então surgiu no Brasil em meados de 2002 os estudos referentes as ligações semicontínuas avaliando o comportamento dessas ligações

Ferreira (2002) um dos pioneiros do estudo das ligações semicontínuas para estruturas pré-moldadas no Brasil cita que é possível utilizar esse tipo de ligação sem a utilização de armaduras negativas, conforme ilustrada na figura 01, ou então é possível realizar a mesma ligação adicionando armaduras na parte superior configurando uma ligação do tipo semicontínuas, com a ligação suportando momento fletores, e que essa configuração pode trazer benefícios a estrutura principalmente com relação a estabilidade global desta. Uma ilustração da ligação com a armadura negativa é apresentada na figura 02.

Figura 4: Exemplo de Ligação chave de cisalhamento com adição de armaduras



Fonte: Ferreira (2002) adaptado ao português.

Tendo em vista a continuidade do estudos das ligações pré-moldadas em pilar-viga Faleiros Junior (2018), realizou uma pesquisa teórica experimental, sobre as ligações de estruturas pré-moldadas, entre pilar e viga, investigando a efetividade da utilização do sistema de chave de cisalhamento, que é um recurso bastante utilizado e difundido no meio técnico para os cálices de fundação, com o objetivo de entender o real comportamento da ligação pilar-viga de tal forma que os resultados possam ser normatizados. Uma ilustração do modelo de chave de cisalhamento estudado, é apresentada na figura 03.

Figura 03: Posicionamento da almofada de elastómetro.



Fonte: Faleiros Junior (2018).

MÉTODO

Esse trabalho será realizado seguindo uma metodologia de pesquisa, para que os objetivos propostos sejam alcançados, e é apresentada abaixo de forma resumida:

- Pesquisa detalhada dos trabalhos já realizados sobre os temas relacionados às ligações pilar-viga em consolos utilizando o sistema com chave de cisalhamento com chapas metálicas.
- Entender o real problema, através de pesquisa junto aos fabricantes, projetistas e construtoras de estruturas pré-moldadas.
- Preparação dos modelos para a realização dos ensaios experimentais, como a instalação da chapa metálica no modelo em escala real e a preparação do modelo em escala menor para o ensaio de cisalhamento direto no laboratório da NETPre – UFSCar.
- Realização do ensaio do modelo de cisalhamento direto e do modelo cruciforme, em escala real, de ligações pilar-viga com consolos com chapas metálicas com o sistema de chave de cisalhamento, investigando através de sensores instalados nos modelos ensaiados qual a parcela de esforço transmitida da viga para o pilar através da ligação é aliviada pelo mecanismo de chave de cisalhamento em um consolo com a utilização de chapas metálicas.
- Análise dos resultados experimentais do modelo de cisalhamento direto da tensão cisalhante última, e implementar os dados na análise numérica e calibrar o modelo completo e a análise das deformações obtidas nas armaduras através de medidores instalados nestes modelos, e com os resultados tratados estaticamente compará-los aos resultados obtidos por Faleiros (2018), para que possam ser implementados em um coeficiente que quantifica o esforço a ser transmitido diretamente para o mecanismo de chave de cisalhamento aliviando os consolos da ligação pilar-viga de acordo com o modelo utilizado em acordo com a NBR 9062 (2017).

- Elaboração do modelo numérico simulando o modelo real ensaiado por Faleiros (2018), utilizando o método de elementos finitos e do modelo ensaiado nesta pesquisa, calibrando os resultados obtidos na análise numérica com os obtidos experimentalmente, utilizando como ferramenta o software ABAQUS, versão estudante disponível para realização de trabalhos acadêmicos.
- Comparação dos resultados encontrados experimentalmente do trabalho de Faleiros (2018) e desta pesquisa com os resultados obtidos numericamente.
- Apresentação dos resultados obtidos através de gráficos e apresentação das considerações finais, e sugestão de novos trabalhos.

RESULTADOS

Os resultados obtidos experimentalmente serão comparados com os resultados obtidos numericamente através da análise em elementos finitos utilizando a ferramenta de análise o software ABAQUS, dos modelos ensaiados por Faleiros (2018) e os destas pesquisas e os resultados apresentados em gráficos e tabelas

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sendo assim a análise criteriosa dos resultados obtidos numericamente através do método dos elementos finitos calibrados com o modelo experimental poderão definir parâmetros adequados e contribuir para uso de novas técnicas de análise com relação ao tema, até então pouco exploradas e que trarão respostas mais rápidas, confiáveis e com menor custo aos projetos, sem a necessidade de ensaios experimentais, que na maioria das vezes não são acessíveis a todos os profissionais de estruturas pré-moldadas

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9062: **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017. 94p.

BARROS, L. S. P. **Verificação do comportamento de ligações viga-pilar com continuidade de armadura negativa por meio de luvas rosqueadas**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2018, 143p. Dissertação (Mestrado).

FALEIROS JR, A. C., **Estudo experimental dos mecanismos resistentes de juntas com chave de cisalhamento em ligações pilar-viga**. 2018, 196 p., Dissertação (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, 2018.

FERREIRA, M. A. ELLIOTT, K. S. (2002). **Strength-Stiffness Requirement Approach for Semi-Rigid connections in Precast Concrete Structures**. School of Civil Engineering, University of Nottingham, United Kingdom.

FERREIRA, M. A; CARVALHO, R C; ELLIOTT, K. S. (2002). **Avanços para análise e projeto de estruturas pré-moldadas com ligações semi-rígidas**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.1 p. 74 – 81.

JEREMIAS JR, A. C., **Análise da estabilidade de estruturas pré-moldadas de concreto: influência das ligações semirrígidas**. 2007, 193 p., Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2007.

ROCHA, A. L., **Comparação de métodos para contraventamento de edifícios multi-pavimentos em pré-moldado de concreto**. 2016, 200 p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

ESTUDO SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DE ARMADURA METÁLICA POR BARRAS DE GFRP EM VIGAS DE CONCRETO ARMADAS À FLEXÃO

Study on the replacement of steel reinforcement by GFRP bars in reinforced concrete beams subjected to bending

Discente: **Amanda Duarte Escobal Mazzú**, Engenheira Civil

Orientadora / Co-orientadora: Profa. Dra. Gláucia Maria Dalfré / Profa. Dra. Fernanda Giannotti da Silva Ferreira

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificada (13/06/2019, Prof. Dr. Daniel Veras Ribeiro e Prof. Dr. José Manuel de Sena-Cruz)

RESUMO

O sistema estrutural composto por elementos de concreto armado com barras de aço é usualmente aplicado na indústria da construção civil no Brasil. Contudo, devido à existência de problemas relacionados principalmente à corrosão das armaduras de aço, novos materiais, tais como os Polímeros Reforçados com Fibras (FRP – Fiber Reinforced Polymer), vem sendo estudados. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar, comparativamente, o comportamento mecânico e a durabilidade de vigas de concreto, armadas com barras de aço e de GFRP, quanto ao ataque de íons cloro. Para isso, 6 vigas foram armadas com aço convencional, enquanto as demais foram armadas com barras de GFRP. As vigas serão expostas a dois ambientes distintos: laboratorial (protegido, com temperatura monitorada) e as demais serão mantidas em um tanque, com solução de NaCl e temperatura de 50°C, exposto a um protocolo de degradação acelerada. Posteriormente, as vigas serão submetidas à ensaio de flexão em três pontos de modo a se obter sua capacidade resistente, deslocamento vertical e modo de ruptura frente a exposição aos ambientes apresentados desta pesquisa.

Palavras-Chave: Aço, GFRP, concreto, cloretos, ensaios acelerados.

ABSTRACT

The structural system composed of reinforced concrete elements composed of steel bars is currently applied in the Brazilian construction industry. However, due to the presence of problems mainly related to corrosion of the steel reinforcement, new materials, such as the Fiber Reinforced Polymers (FRP), is being studied. Thus, this work aims to analyze, comparatively, the mechanical behavior and the durability of the concrete beams, reinforced with steel or GFRP bars, under chlorine attack. For this, 6 beams were reinforced with conventional steel, while the others were reinforced with GFRP bars. The beams will be exposed to two different scenarios: laboratory (protected, with monitored temperature) and the rest will be kept in a tank, in a NaCl solution with a temperature of 50°C, exposed to an accelerated degradation protocol. Subsequently, the beams will be subjected to a three-point bending test in order to evaluate their load carrying capacity, vertical displacement and rupture mode against exposure to the environments presented in this research.

Keywords: Steel, GFRP, concrete, chlorides, accelerated testing.

INTRODUÇÃO

Ao contrário do que outrora se acreditava, as estruturas de concreto armadas com barras de aço não são eternas e frequentemente apresentam manifestações patológicas que podem comprometer sua vida útil caso não sejam periodicamente submetidas a avaliação, manutenção e reparo. Este cenário é agravado quando tais estruturas permanecem expostas a ambientes de grande agressividade, possibilitando a ocorrência da corrosão das armaduras e o deslocamento do concreto de cobertura, expondo diretamente as armaduras aos agentes de agressividade ambiental.

Assim, visando a melhoria do desempenho, materiais alternativos começaram a ser estudados. Dentre estes materiais, destacam-se os polímeros (ou compósitos) reforçados com fibras (de sigla internacional FRP – *Fiber Reinforced Polymer*), materiais não metálicos com elevada resistência mecânica e boa resistência a agentes de agressividade ambiental, capazes de substituir os materiais convencionais utilizados nas técnicas tradicionais de reforço estrutural e o aço utilizado como armadura em estruturas de concreto armado. Os tipos de fibra mais utilizados são as fibras de carbono (CFRP – *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), vidro (GFRP – *Glass Fiber Reinforced Polymer*) e aramida (AFRP – *Aramid Fiber Reinforced Polymer*).

Desta maneira, este trabalho visa estudar o comportamento mecânico e a durabilidade de vigas de concreto armadas com barras de aço e barras de GFRP expostas a ambiente laboratorial e ao ataque de íons cloro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme apresentado pelo ACI 440.1R (ACI, 2015), as barras de FRP atingem sua resistência última sem apresentar patamar de escoamento, apresentando comportamento elástico linear e ruptura brusca. Pilakoutas et al. (2011) afirma que o FRP pode desenvolver uma resistência à tração muito maior do que o aço, embora seja um material menos rígido, com reduzido módulo de elasticidade. Segundo o fabricante, barras de GFRP com diâmetros entre 6 e 32 mm apresentam tensão nominal de tração variando entre 1070 e 727 MPa, dependendo do diâmetro da barra, e módulo de elasticidade entre 48 e 46 GPa, enquanto uma barra de aço CA-50 convencional apresenta tensão de tração por volta de 500 MPa e módulo de elasticidade de 210 GPa (STRATUS, 2015). A Figura 1 apresenta a barra de GFRP utilizada nesta pesquisa.

Figura 5 – Barra de GFRP com diâmetro de 10 mm

Fonte: Próprio autor.

De acordo com Wang e Belarbi (2005), tendo em vista o comportamento elástico linear das barras de FRP, elementos armados à flexão com este tipo de material não apresentem ductilidade como os elementos armados com barras de aço convencionais. Esta diferença de rigidez entre elementos armados com aço e FRP faz com que o comportamento em serviço de cada um seja diferente. Assim, a deformação e a abertura de fissuras serão maiores em elementos armados com barras de FRP (TAVARES, 2006), conforme pode ser visto na Figura 2 que compara vigas de concreto armadas com barras de aço e GFRP após serem submetidas a ensaio de flexão de três pontos.

Figura 2 – Vigas de concreto armado com barras de aço (a) e barras de GFRP (b) após ensaio de flexão de três pontos



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor.

METODOLOGIA

Esta pesquisa tem por objetivo a avaliação experimental do comportamento de vigas de concreto, armadas com barras de aço convencionais ou de GFRP, frente ao ingresso de íons cloro.

Com o objetivo de analisar, comparativamente, o comportamento mecânico e a durabilidade quanto ao ataque de cloretos de vigas de concreto armado com barras de aço e barras de GFRP, 12 vigas de concreto, com dimensões 12x20x250cm³, foram moldadas, das quais 6 possuem armadura longitudinal composta por duas barras de aço CA-50 com diâmetro de 10mm e 6 por duas barras de GFRP com diâmetro de 10mm. Todas as vigas foram moldadas com concreto de resistência à compressão igual a 30MPa, possuem armadura transversal composta por estribos de aço CA-60 com diâmetro de 5mm, espaçados a cada 10cm, e cobertura igual a 15mm, de modo a simular uma viga com cobertura reduzido e facilitar a penetração de íons cloro no concreto.

Dentre as 6 vigas armadas com barras de aço, 2 foram ensaiadas aos 28 dias após a concretagem (e servirão como referência às demais) e 4 serão ensaiadas após um protocolo de degradação acelerada de 1000 horas, onde 2 vigas permanecerão em ambiente laboratorial (interno e protegido) e 2 serão imersas em tanque com solução de NaCl. As 6 vigas armadas com barras de GFRP seguirão a mesma distribuição das vigas armadas com barras de aço. Posteriormente, todas as vigas serão submetidas a ensaio de flexão em três pontos, de forma a se obter parâmetros como a capacidade resistente, ductilidade, rigidez, modos de ruptura e deformações no concreto e na armadura longitudinal frente a aplicação de carregamento. A Figura 3 apresenta as seções transversais e o esquema de ensaio das vigas, enquanto a Tabela 1 apresenta um resumo do programa experimental.

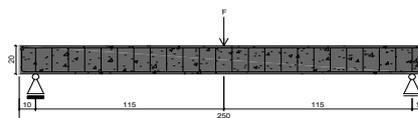
Figura 3 – Seção transversal das vigas armadas com barras de aço (a) e GFRP (b) e esquema de ensaio das vigas (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprio autor

Tabela 1 - Programação dos ensaios

Tipo de ensaio	Idade de ensaio	Quantidade de corpos de prova				
		Vigas		Concreto (Cilindro Ø10x20cm)	Barras de aço	Barras de GFRP
		Aço	GFRP			
Referência	28 dias	2	2	5	3	3
Ambiente laboratorial	1000h	2	2	5	3	3
Exposição ao ataque de cloretos	1000h	2	2	5	3	3

Fonte: Próprio autor

Corpos de prova de concreto, bem como amostras de barra de aço e de GFRP, serão mantidos nos ambientes de exposição das vigas e serão submetidos a ensaios para determinação e acompanhamento de suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, nomeadamente, resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto e comportamento tensão-deformação e módulo de elasticidade das barras de aço e de GFRP.

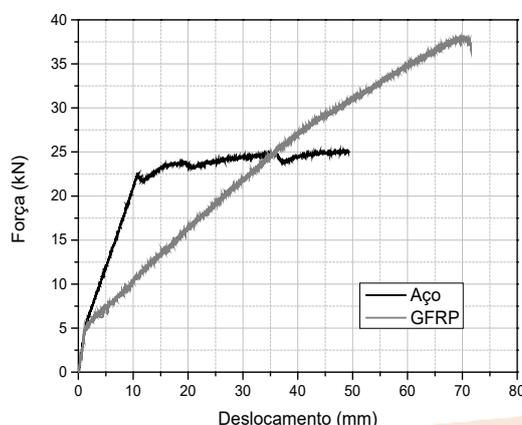
O protocolo de degradação acelerada seguirá as recomendações da ACI 440.9R (ACI, 2015), a qual recomenda a imersão de elementos em uma solução de NaCl em uma concentração de 3,5%, mantida a uma temperatura de 50°C, por períodos de 1000h, 3000h e 10000h. Note-se que nesta pesquisa somente serão apresentados os resultados de degradação obtidos para o período de 1000h.

RESULTADOS

As vigas de concreto armado foram recentemente moldadas e estão sendo posicionadas em seus respectivos ambientes de exposição. Até o momento foram realizados ensaios de flexão em três pontos nas vigas de aço e de GFRP que servirão como referência às vigas a serem ensaiadas após 1000h de exposição a ambiente laboratorial e ao ataque de íons cloro.

A Figura 4 apresenta o diagrama força versus deslocamento e a comparação de comportamento obtido para a viga com barras de aço convencional e a viga com barras de GFRP. É possível observar que a viga armada com barras de GFRP suportou, na ruptura, carga superior à viga armada com barras de aço. Entretanto, o deslocamento vertical registrado a meio vão também foi superior ao obtido para a viga com armadura convencional.

Figura 4 – Diagrama Força versus Deslocamento das vigas referência armadas com barras de aço e GFRP



Fonte: Próprio autor

Os resultados obtidos no programa experimental serão avaliados comparativamente, de forma a se verificar ou não a

viabilidade da substituição das armaduras de aço por armaduras de GFRP em vigas de concreto armado expostas ao ataque de íons cloro. Pretende-se, ainda, identificar a influência da corrosão no comportamento mecânico das vigas e a existência de diferenças no processo corrosivo eventualmente desencadeado nos diferentes tipos de armadura.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Após a realização dos ensaios e análise dos resultados obtidos, espera-se obter um melhor entendimento acerca do comportamento mecânico de vigas de concreto armadas com barras de aço e de GFRP sob a exposição ao ataque de cloretos. Pretende-se, com este trabalho, justificar a utilização de armadura de GFRP em estruturas de concreto armado como forma de minimizar ou até evitar problemas relacionados à corrosão das armaduras.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.1R. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. 2015.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.9R. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement. 2015.

PILAKOUTAS, K.; NEOCLEOUS, K.; GUADAGNINI, M.; MATTHYS, S. Design guidelines for FRP reinforced concrete structures. Structures and buildings, v. 164, p. 255 - 263, agosto/2011.

STRATUS. Rebar Stratus – Especificações e características de vergalhões em fibra de vidro, estribos e estruturas armadas. Setembro/2015.

TAVARES, D. H. Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP. São Carlos, 2006. 128p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

WANG, H.; BELARBI, A. Flexural Behavior of Fiber-Reinforced-Concrete Beams Reinforced with FRP Rebars. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FIBER-REINFORCED POLYMER REINFORCEMENT FOR CONCRETE STRUCTURES, 7., v. 230, p. 895-914, 2005, Kansas. Anais... Kansas, 2005.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO MOLDADO *IN LOCO* SOB EFEITO DO COLAPSO PROGRESSIVO

Analysis of Cast-in-place Reinforced Concrete Structures Subject to Progressive Collapse

Discente: **Heloiza Candeia Ruthes**, Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificação (02/07/2019– Banca: Prof. Dra Ana Lúcia Homce El Debs e Prof. Dr. André Luis Christoforo)

RESUMO

Este trabalho busca identificar e avaliar o comportamento de estruturas de concreto armado *in loco* sujeitas ao colapso progressivo proveniente da perda de elementos primários, com aplicação de métodos de verificação e prevenção ao colapso progressivo. Esta simulação será realizada através da retirada de pilares em diferentes posições de uma estrutura com cinco pavimentos. A análise linear-estática será feita em quatro diferentes modelos, sendo uma para cada método abordado na revisão bibliográfica. Em cada modelo serão verificados quatro cenários de perda de pilar. Por fim, os resultados de momentos fletores e deslocamentos nodais serão analisados e comparados, verificando-se o comportamento da estrutura e a redistribuição dos esforços.

Palavras-Chave: Colapso progressivo, Concreto armado, Análise linear-estática, Falha.

ABSTRACT

This work aims to identify and evaluate the behavior of cast-in-place reinforced concrete structures subject to progressive collapse resulting from the loss of primary elements, through the application of verification and prevention methods for the progressive collapse of international standards and its response will be investigated. For this, a linear-static analysis is applied to a five-story reinforced concrete building under four different damage scenarios for each investigated method. The response of the structure for each initial damage scenario is investigated and load redistribution is characterized. As well as the results of bending moment and nodal displacements

Keywords: Progressive collapse, Reinforced concrete, Linear-static analysis, Damage.

INTRODUÇÃO

O colapso progressivo ocorre, em uma estrutura, devido à desproporcionalidade entre a causa inicial e as consequências de um dano à um elemento de sustentação primário, como um pilar, por exemplo. A norma brasileira de projeto de estruturas em concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2014) menciona que deve ser feita a verificação no estado limite último (ELU) de colapso progressivo, mas não deixa claro os procedimentos que devem ser adotados nesse processo. Dessa forma, há a necessidade do estudo de referências normativas existentes e dos métodos de prevenção ao colapso progressivo visando aplicá-los às estruturas usuais em concreto armado. Portanto, os objetivos deste trabalho são: analisar o estado da arte do assunto e também, verificar o comportamento de um edifício convencional com cinco pavimentos de concreto moldado *in loco*, pré-dimensionado com as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2014), na ocorrência da falha ou perda de pilares, em vista de simular o colapso progressivo, aplicando os métodos direto e indireto, comparando os resultados obtidos, avaliando a redistribuição de esforços e a resposta da estrutura nos elementos adjacentes ao danificado.

REVISÃO

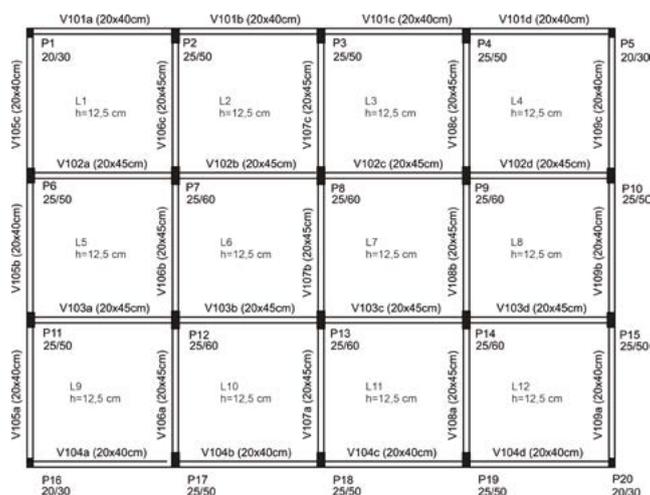
Conforme o ASCE 7 (2005) e o GSA (2003), o colapso progressivo é definido como a propagação de uma falha local de um elemento a outro, resultando, eventualmente, no colapso de toda a estrutura ou de parte da mesma, de forma desproporcional à causa inicial. (ASCE, 2005). Não é usual que a mesma seja projetada para resistir a esse fenômeno, visto que esse dimensionamento pode exigir abordagens minuciosas que acrescentam tempo e recursos ao projeto. (NISTIR, 2007). Com isso, a resistência ao colapso progressivo pode ser definida como a habilidade da estrutura de se realocar, com falha local apenas, após a perda de um único elemento essencial à sua estabilidade.

Devido à alguns incidentes, foram desenvolvidos dois métodos de prevenção e verificação quanto ao colapso progressivo: o método indireto, também conhecido como método das amarrações (*tie forces*) e o direto subdividido em: método dos caminhos alternativos de carga (*alternate path*) e método da resistência local específica (*specific local resistance method*). O método indireto consiste em aumentar a robustez e ductilidade da estrutura através da inclusão de medidas gerais ao longo do processo de seleção e dimensionamento do sistema estrutural. (NISTIR, 2007). As diretrizes aplicadas a estrutura modelo deste trabalho serão do UFC 4-023-03 (2009). Já no método da resistência local específica, os membros considerados de grande relevância à estabilidade da estrutura são projetados para serem mais robustos e resistentes ao carregamento anormal, desenvolvendo sua capacidade máxima em relação ao cisalhamento, à flexão e a carga axial. (NISTIR, 2007). A metodologia abordada no UFC 4-023-03 (2009) será utilizada para aplicar este processo à estrutura analisada. Segundo o NISTIR 7396 (2007) o método dos caminhos alternativos de carga método faz uma verificação da capacidade do sistema estrutural para resistir à remoção de elementos específicos. Para esse método serão utilizadas as recomendações do GSA (2016).

MÉTODO

Após a realização da revisão bibliográfica, a fim de alcançar os objetivos propostos, os métodos de prevenção e verificação ao colapso progressivo serão aplicados a uma estrutura de concreto armado moldado *in loco*, de 5 pavimentos, de um edifício comercial e de escritórios, pré-dimensionado segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme mostra a Figura 1. No pré-dimensionamento, algumas características da estrutura foram definidas, tais como a resistência a compressão do concreto f_{ck} , igual a 30 MPa e aço CA – 50 com f_{yk} igual à 500 MPa. Além disso, o cobrimento nominal das armaduras é de 30 mm para vigas e pilares.

Figura 6 – Planta baixa dos pavimentos do edifício modelo



Fonte: Autoria Própria, (2019).

Desse modo, as Tabelas 1 e 2 mostram as características dos pilares e vigas, respectivamente. Já as lajes tem espessura de 12,5 cm, e suas armaduras longitudinal e transversal são de barras com diâmetro de 6,3 mm a cada 20 cm e as armaduras negativas variam entre barras de 10 mm a cada 20 cm e barras de 8 mm a cada 15 cm. A análise realizada será linear estática no *software* SAP 2000 e as cargas aplicadas aos modelos serão as

seguintes: o peso próprio dos elementos estruturais (vigas, pilares e lajes); a sobrecarga de utilização na laje, de 2 kN/m², conforme a NBR 6120 (ABNT, 1980); a resultante das cargas dos revestimentos de piso e teto nas lajes, de 1,57 kN/m²; e, por fim, a carga da alvenaria de vedação nas vigas, de 9,04 kN/m².

As simulações serão realizadas em 4 modelos tridimensionais da mesma estrutura, sendo que um destes não receberá nenhuma recomendação quanto ao colapso progressivo, visando a comparação com as demais e os outros três receberão, cada um, as recomendações de um dos métodos estudados. Para cada modelo haverá 4 casos a serem simulados representando o colapso progressivo.

- Caso 0: Sem a retirada de nenhum pilar;
- Caso 1: Retirada do primeiro pilar externo, o P15;
- Caso 2: Retirada do segundo pilar externo, o P3;
- Caso 3: Retirada de um pilar de canto, o P1;

Tabela 2 – Dimensão e armadura dos pilares

Pilares	Base - b (m)	Altura - h (m)	Armadura longitudinal	Armadura transversal	Comprimento L (m)
P2, P3, P4, P6, P10, P11, P15, P17, P18, P19	0,25	0,50	6φ16 mm	φ 8 mm a cada 20 cm	3
P1, P5, P16, P20	0,20	0,30	6φ20 mm	φ 8 mm a cada 20 cm	3
P7, P8, P9, P12, P13, P14	0,25	0,60	10φ20 mm	φ 8 mm a cada 20 cm	3

Fonte: Autoria Própria, (2019).

Tabela 3 – Dimensão e armadura dos pilares

Vigas	Seção transversal			Armadura			Comprimento L (m)
	Área (m ²)	bw (m)	h (m)	Long. Positiva	Long. Negativa	Transversal	
V102, V103, V106, V107, V108	0,09	0,20	0,45	4φ16mm	2φ20mm	φ 8mm c/ 15cm	5
V101, V104, V105, V109	0,08	0,20	0,40	4φ16mm	2φ20mm	φ 8mm c/ 20cm	5

Fonte: Autoria Própria, (2019).

Após a realização de todas as simulações, a resposta da estrutura ao colapso progressivo será analisada através dos resultados dos esforços internos e deslocamentos nos elementos e juntas adjacentes aos pilares removidos e nos pavimentos superiores a esses locais.

RESULTADOS PARCIAIS

Quanto às simulações, já foram realizadas para os casos 0 e 1 do modelo 1, sem aplicação de nenhum método

e do modelo 2, em que o método indireto é aplicado à estrutura. Dessa forma, somente as amarrações transversais e longitudinais foram adicionadas, aumentando-se a armadura positiva (longitudinal e transversal) já existente nas lajes para barras de 8 mm a cada 17 cm, segundo as diretrizes utilizadas. Os resultados de deslocamento no nó superior do pilar retirado no caso 1, o P15, são apresentados na Tabela 3, em que: u_1 , u_2 e u_3 , são os deslocamentos translacionais no nó, na direção dos eixos x, y e z, respectivamente e, r_1 , r_2 e r_3 são os deslocamentos rotacionais no mesmo nó.

Tabela 4 - Deslocamentos na ligação superior do pilar retirado, o P15

Deslocamentos	Modelo 1		Modelo 2 – Método Indireto	
	Caso 1.0	Caso 1.1	Caso 2.0	Caso 2.1
u_1	$-1,567 \times 10^{-6}$ m	$-7,3 \times 10^{-5}$ m	$-1,571 \times 10^{-6}$ m	$-7,3 \times 10^{-5}$ m
u_2	$-3,998 \times 10^{-6}$ m	$-8,8 \times 10^{-5}$ m	$-3,958 \times 10^{-6}$ m	$-8,8 \times 10^{-5}$ m
u_3	$-9,404 \times 10^{-4}$ m	$-0,015466$ m	$-0,000942$ m	$-0,015488$ m
r_1	$-5,961 \times 10^{-4}$ rad	$0,001895$ rad	$-0,000598$ rad	$0,001897$ rad
r_2	$-4,101 \times 10^{-5}$ rad	$-0,000264$ rad	$-4,1 \times 10^{-5}$ rad	$-0,000265$ rad
r_3	$9,320 \times 10^{-6}$ rad	$2,3 \times 10^{-5}$ rad	$9,33 \times 10^{-6}$ rad	$2,3 \times 10^{-5}$ rad

Fonte: Autoria Própria, (2019).

Já os resultados apresentados na Tabela 4 são dos momentos fletores das extremidades esquerda e direita, respectivamente, das vigas V109a e V109b que são ligadas ao pilar P15 retirado no caso 1 de cada modelo.

Tabela 5 – Momentos fletores das vigas ligadas ao pilar P15

Momentos fletores (kNm)	V109a (esquerda)	V109a (direita)	V109b (esquerda)	V109b(direita)
Modelo 1 – Caso 1.0	-15,5142	-33,2576	-27,3583	-27,3583
Modelo 1 – Caso 1.1	-85,8457	62,3111	79,5173	-134,6896
Modelo 2 – Caso 2.0	-15,5274	-33,302	-27,3906	-27,3906
Modelo 2 – Caso 2.1	-85,9561	62,4018	79,635	-134,8732

Fonte: Autoria Própria, (2019).

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Na análise das normas, observou-se que os métodos e as suas recomendações foram desenvolvidas para estruturas com finalidades específicas, tais como órgãos federais ou limitares e aquelas que são essenciais em situações de crise, como hospitais, por exemplo. Dessa forma, as orientações verificam-se mais conservadoras do que seriam para estruturas com finalidades convencionais, como moradias.

Por isso torna-se necessária a classificação dessas estruturas entre as que necessitam ou não da consideração do colapso progressivo na fase de projeto e dimensionamento. Percebeu-se que essa classificação está presente em todas as normas internacionais consultadas, mas não na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Com relação aos resultados das simulações preliminares desenvolvidas, observou-se que os momentos fletores dos casos sem a retirada do pilar mantêm-se, mesmo com a aplicação do método indireto no modelo 2, assim como os momentos fletores dos modelos com a retirada do pilar. Isso ocorre provavelmente pois esse método requer somente o acréscimo de armadura positiva na laje, segundo a carga calculada por suas recomendações. Comparando-se os modelos sem a retirada do pilar com aqueles em que o colapso progressivo foi simulado, observa-se um aumento substancial dos valores de momentos fletores, bem como a inversão de momento negativo para positivo no local de retirada do pilar. Com os demais resultados das simulações

outros parâmetros poderão ser avaliados, tais como: a tendência de comportamento da estrutura frente ao colapso progressivo, a eficácia dos métodos aplicados e se ocorre a redistribuição dos esforços entre os elementos na ocasião de um colapso progressivo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de. Rio de Janeiro, 1980.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **ASCE 7**: *Minimum design loads for buildings and other structures*. Reston, VA, 2005.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **UFC 4-023-03**: *Design of Buildings to Resist Progressive Collapse*. Washington, DC, 2009.

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA**: *General Services Administration Alternate Path Analysis and Design Guidelines for Progressive Collapse Resistance*. Washington, DC, 2016.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDART AND TECHNOLOGY. **NISTIR 7396**: *Best Practice for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings*. Gaithersburg, MD, 2007

THE EUROPEAN UNION PER REGULATION. **Eurocode 2**: *Design of Concrete Structures*. União Europeia, 2004.

USO DE CONCRETO COM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONCRETO EM PILARES MISTOS PREENCHIDOS

The use of recycled aggregates concrete in concrete filled steel tubes

Discente: **Mayara Turi Gerin**, Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia Civil

Orientador: Profa. Dra. Silvana De Nardin

Co-orientador: Prof. Dr. Almir Sales

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificada (22/03/2019, Banca: Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior, Profa. Dra. Ana Elisabete Paganelli G De Avila Jacintho.)

RESUMO

O pilar misto preenchido com concreto de agregados de resíduos de concreto (PPCARC) surge como uma alternativa para o emprego de agregados de resíduos de concreto (ARC). Sabe-se que, em geral, o concreto com ARC apresenta propriedades mecânicas inferiores ao concreto com agregados naturais, principalmente quanto a deformabilidade. No entanto, o efeito de confinamento proporcionado pelo tubo de aço ao núcleo de concreto pode melhorar ainda mais as características mecânicas do concreto quanto maior for a sua deformabilidade. Dessa forma, este trabalho tem o objetivo de analisar experimentalmente a utilização do concreto com ARC em pilares mistos preenchidos. Ensaios preliminares foram realizados para caracterização dos materiais e posteriormente serão ensaiados modelos de PPCARC sob compressão. De acordo com os ensaios de caracterização, os traços de concreto de ARC resultaram em resistências a compressão e tração próximas e módulos de elasticidade inferiores para maiores teores de substituição, demonstrando potencial para aplicação nos PPCARC.

Palavras-Chave: concreto reciclado, agregados de resíduos de concreto, pilares preenchidos, efeito de confinamento.

ABSTRACT

The recycled aggregates concrete filled steel tube (RACFST) appears as an alternative to the use of recycled concrete aggregates (RCA). It is known that, in general, recycled aggregates concrete (RAC) has lower mechanical properties than natural aggregates concrete, especially regarding deformability. However, the confinement effect provided by the steel tube to the concrete core can further improve the mechanical characteristics of the concrete the greater its deformability. Thus, this work aims to experimentally analyze the use of RAC in concrete filled steel tubes (CFST). Preliminary tests were performed to characterize the materials and then PPCARC models under compression will be tested. According to characterization tests, ARC concrete mixtures resulted in close compressive and tensile strengths and lower elastic modulus for higher substitution contents, demonstrating potential for application in PPCARC.

Keywords: recycled concrete, recycled concrete aggregates, concrete filled steel tube, confinement.

INTRODUÇÃO

O pilar misto preenchido é definido pelo preenchimento de um perfil tubular de aço por concreto estrutural garantindo o comportamento conjunto entre os dois componentes. Esse comportamento conjunto entre os materiais aço e concreto contribui para o aumento da capacidade resistente do elemento misto e permite suprir insuficiências dos materiais aproveitando as melhores características de cada um deles. Além da contribuição das resistências dos elementos de aço e de concreto na capacidade resistente, característica de todos os elementos mistos, o pilar misto preenchido tem como peculiaridade um acréscimo da capacidade resistente devido a tensão gerada pelo confinamento.

O efeito de confinamento é desenvolvido a partir das tensões laterais provocadas pelo tubo de aço ao núcleo de concreto após a seção mista ser carregada axialmente. No entanto, esse efeito é mais intenso se o concreto for mais deformável pois é preciso que haja deformação transversal para que tal efeito seja mobilizado.

Em contrapartida, a maior deformabilidade é uma característica do concreto com agregados de resíduos de concreto (ARC), que é reconhecida como uma desvantagem para aplicação em outras estruturas, mas se adequa às necessidades do pilar preenchido para um melhor efeito de confinamento. Acredita-se que a utilização do confinamento do concreto possa melhorar o comportamento do concreto com ARC e, por isso, o objetivo desse trabalho é analisar experimentalmente a utilização do concreto de resíduos de concreto para preenchimento dos pilares mistos preenchidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O concreto com agregados de resíduos de concreto é caracterizado pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por ARC. É sabido que algumas características do concreto são modificadas pelo uso de agregados reciclados, sobretudo as propriedades de resistência mecânica; absorção de água, porosidade e permeabilidade; retração por secagem; módulo de elasticidade; fluência e massa específica.

Com base em resultados experimentais de outras 121 publicações divulgadas entre 1973 e 2015, (SILVA et al., 2016) identificaram diversos aspectos da produção do concreto de ARC que influenciam, com diferentes intensidades, nas características finais do concreto. Segundo os autores, alguns dos fatores que afetam o módulo de elasticidade e a resistência à compressão do concreto são: teor de substituição do agregado natural pelo agregado de resíduo de concreto, tamanho do agregado de resíduo, origem e características do concreto antigo, processo de produção do concreto, aditivos químicos, aditivos minerais e idade do concreto.

A influência do teor de substituição foi avaliada por Andreu e Miren (2014) para resíduos de concretos originalmente com resistências de 40MPa, 60 MPa e 100MPa. A redução da resistência à compressão foi observada apenas na substituição de agregados naturais por agregados de resíduo de concreto de resistência de 40 MPa, com reduções de 10,6% e 5,1% para 100% e 50% de substituição, respectivamente. Na substituição por ARC vindos de concretos originais com resistência 40MPa e 60 MPa; foi verificado aumento na resistência à compressão do concreto final de até 6,3%. No entanto, o mesmo não ocorreu com o módulo de elasticidade. Independente da resistência do concreto original, todas as substituições geraram redução do módulo de elasticidade, sendo estas reduções mais significativas para os maiores teores de substituição. Enquanto o valor do módulo de elasticidade do concreto com agregados naturais foi de 50,41 GPa, os concretos com 100% de substituição apresentam reduções de 8,5%, 20,5% e 26,3% quando utilizado ARC de concretos originais com 40, 60 e 100MPa, respectivamente.

Gholampour et al. (2017) também verificaram que os valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à flexão e resistência a tração por compressão diametral diminuem com o aumento do teor de ARC para um dado fator água/cimento.

Silva et al. (2016) relacionou resultados de 36 estudos para observar a influência do teor de substituição no módulo de elasticidade. O uso de cerca de 30% de agregados de resíduos de concreto tem sido considerado um teor ótimo para que resultem os mínimos efeitos no módulo de elasticidade a flexão. Quando esse teor é de 100%, o módulo de elasticidade decai de 20 a 40% (SILVA et al., 2016).

Da revisão bibliográfica foi possível observar que, de maneira geral, há um decréscimo do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do concreto com o aumento do teor de substituição de agregados naturais por agregados de resíduo de concreto (ARC). No entanto, esse decréscimo não segue uma relação linear, sendo que outras propriedades dos ARC's podem torná-lo mais ou menos significativo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção do concreto de preenchimento dos pilares, foram utilizados os seguintes materiais: cimento CP-V ARI, água, agregados miúdos naturais, agregados graúdos naturais e de resíduos de concreto (ARC). Com a finalidade de diminuir a heterogeneidade dos agregados reciclados utilizados no presente estudo, os ARC's

foram obtidos a partir da britagem de corpos de prova de concreto descartados. Ao utilizar apenas agregados de resíduos de concreto (ARC) é possível agrupar agregados reciclados em um grupo de porosidade semelhante. Com isso espera-se obter concretos com comportamento mecânico e absorção de água similares. Isso minimiza uma das grandes dificuldades de utilizar os agregados reciclados no concreto que é a sua heterogeneidade. Segundo a NBR 8800:2008, as propriedades do concreto devem respeitar alguns limites para aplicação em pilares preenchidos. Dentre esses limites, a resistência característica à compressão desse tipo de concreto deve situar-se entre 20MPa e 50MPa. Dado que a dosagem do concreto não é objetivo desta pesquisa, foi adotado um traço para o concreto convencional com resistência alvo de 40 MPa desenvolvido por Pereira (2017).

Partindo do mesmo traço desenvolvido por Pereira (2017) para o concreto de referência, outras três misturas de concreto foram produzidas com a substituição em 30%, 50% e 100% do agregado graúdo natural pelo agregado de resíduos de concreto. Neste trabalho não foi realizado nenhum procedimento de pré-molhagem ou compensação para os agregados de resíduo.

O método de mistura utilizado foi o "T SMA", desenvolvido por Tam e Tam (2008), em que os agregados graúdos e miúdos são misturados por 60 segundos, em seguida é adicionada metade da água da mistura e misturados por mais 60 segundos, então é adicionado o cimento e por último, após 30 segundos de mistura, é acionada a água e misturada por mais 120 segundos.

Os corpos de prova cilíndricos de com diâmetro de 100mm e altura de 200mm corpos de prova foram moldados e curados conforme diretrizes da ABNT NBR 5738:2015 no que couber, aos índices automatizados."author":{"dropping-particle":"","family":"ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,"-given":"","non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":""},"id":"ITEM-1","issued":{"date-parts":[["2015"]]},"publisher-place":"Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova","title":"NBR 5738","type":"report"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=de8ffa-13-007d-4e5d-9542-98ce6502b34c"]},"mendeley":{"formattedCitation":"(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2015. O método de adensamento foi manual. Após o adensamento, os corpos de prova foram cobertos com plástico filme para impedir a perda de água. Após a cura inicial de 24 horas a partir da moldagem, a desforma foi realizada e os corpos de provas foram armazenados até o momento do ensaio em um tanque com solução saturada de hidróxido de cálcio.

Após a produção de cada traço de concreto, este foi caracterizado no estado fresco quanto à trabalhabilidade. Esta foi determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a (ABNT NBR NM 67:1998). A caracterização do concreto no estado endurecido foi realizada por ensaio de compressão axial (ABNT NBR 5739:2018) no que couber, aos índices automatizados."author":{"dropping-particle":"","family":"ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,"given":"","non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":""},"container-title":"Associação Brasileira de Normas Técnicas","id":"ITEM-1","issued":{"date-parts":[["2018"]]},"number-of-pages":"8","publisher-place":"Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos","title":"ABNT NBR 5739","type":"report"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=79b0ee61-7ccb-4402-84fb-c36c845aa912"]},"mendeley":{"formattedCitation":"(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2018, tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011) no que couber, aos índices automatizados."author":{"dropping-particle":"","family":"ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,"given":"","non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":""},"container-title":"Associação Brasileira de Normas Técnicas","id":"ITEM-1","issued":{"date-parts":[["2011"]]},"number-of-pages":"8","publisher-place":"Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos","title":"ABNT NBR 7222","type":"report"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=76bcfee-539f-4ffd-a2f2-eea360eec00c"]},"mendeley":{"formattedCitation":"(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2011, módulo de elasticidade (ABNT NBR 8522:2017) no que couber, aos índices automatizados."author":{"dropping-particle":"","family":"ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,"given":"","non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":""},"id":"ITEM-1","issued":{"date-parts":[["2017"]]},"number-of-pages":"8","publisher-place":"Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão","title":"ABNT NBR 8522","type":"report"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=c8c0e7bc-ff39-4cb7-bc-04-af5a7d8daa35"]},"mendeley":{"formattedCitation":"(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2017 e absorção de água (ABNT NBR 9778:2005) no que couber, aos índices automatizados."author":{"-

dropping-particle": "", "family": "ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.", "given": "", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}, {"id": "ITEM-1", "issued": {"date-parts": [{"2005"}]}, "number-of-pages": "8", "publisher-place": "Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica", "title": "ABNT NBR 9778", "type": "report", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=26435816-54a6-4af3-a8ee-6a611c44171f"}]}, "mendeley": {"formattedCitation": "(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2005."}

RESULTADOS

No estado fresco, o valor de abatimento no ensaio de tronco de cone do concreto com 100% de ARC foi inferior ao registrado para o concreto de referência (CREF). No entanto, a trabalhabilidade se manteve alta não demonstrando dificuldade no seu emprego em pilares preenchidos. Dessa forma, acredita-se que o procedimento de pré-molhagem ou compensação de água, indicados para melhoria da trabalhabilidade desse tipo de concreto, não seja necessário para o traço considerando e que possui alta relação água/cimento. Essa diferença entre os valores de abatimento dos concretos pode ser atribuída à alta absorção dos agregados reciclados em relação aos agregados naturais que, devido à ausência de qualquer processo de pré-molhagem ou compensação de água na mistura foi responsável por absorver parte da água total da mistura. A maior absorção do ARC em relação ao agregado natural também teve influência nos valores médios de capacidade de absorção de água, que aumentaram moderadamente para os traços com maior proporção de ARC.

Aos 28 dias, os ensaios de resistência à compressão foram realizados para cinco corpos de prova de cada tipo concreto. O concreto de referência apresentou a menor resistência à compressão. De acordo com o teste de Tukey, estatisticamente os traços CREF e CARC-50 não possuem diferenças significativas, assim como ocorreu entre os traços CARC-30 e CARC-50 e também entre os traços CARC-30 e CARC-100. A substituição de agregados naturais por reciclados não demonstrou interferência na resistência à tração do concreto, sendo considerados estatisticamente iguais no teste de análise de variância com significância de 0,05. As médias dos valores de módulo de elasticidade decrescem com o aumento do teor de substituição. Essa diminuição já era prevista de acordo com as revisões bibliográficas.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados do ensaio de caracterização, a substituição de agregado natural por agregados de resíduo de concreto (ARC) não exerceram grandes efeitos nas resistências à tração e à compressão do concreto. No entanto, as médias dos valores de módulo de elasticidade decrescem com o aumento do teor de substituição. Esses resultados demonstram o potencial de aplicação em pilares mistos preenchidos já que, sem perder a resistência, o concreto com ARC se apresentou mais deformável. Essas características são benéficas ao efeito de confinamento proporcionando ao concreto pelo tubo de aço. Portanto, espera-se que a substituição de agregados naturais por agregados de resíduo de concreto contribua para o aumento da capacidade resistente dos pilares mistos preenchidos a serem analisados.

AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS

ANDREU, G.; MIREN, E. Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 52, p. 227–235, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**. Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522**. Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2018.

GHOLAMPOUR, A.; GANDOMI, A. H.; OZBAKKALOGLU, T. New formulations for mechanical properties of recycled aggregate concrete using gene expression programming. **Construction and Building Materials**, v. 130, p. 122–145, 2017. Elsevier Ltd.

PEREIRA, M. F. **Comportamento estrutural de pilares mistos parcialmente revestidos submetidos a flexo - compressão**, 2017. Universidade de São Paulo.

SILVA, R. V.; BRITO, J. DE; DHIR, R. K. Establishing a relationship between modulus of elasticity and compressive strength of recycled aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2171–2186, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.064>>. .

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA sand TSMA sc. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 10, p. 2068–2077, 2008.

VERIFICAÇÃO À FADIGA DE VIGAS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO TREM-TIPO NORMATIVO E AS CARGAS REAIS NAS RODOVIAS BRASILEIRAS

Fatigue Verification in Reinforced Concrete Bridge Beams: A Comparative Study between the Normative Load-Train and Real Loads on Brazilian Roads

Discente: **Fernando Júnior Resende Mascarenhas**, Bacharel em Engenharia Civil, Mestrando em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luis Christoforo

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Defesa

RESUMO

Este trabalho analisa a vida útil à fadiga da armadura longitudinal em vigas de pontes de concreto armado considerando-se o número real de veículos pesados de 2 a 6 eixos em um trecho rodoviário do estado de São Paulo, Brasil. Utilizou-se modelos teóricos com um sistema estrutural com pontes com duas vigas biapoiadas com vãos de 10, 15 e 20 metros. Para determinação dos esforços emprega-se o software Ftool e na estimativa da vida útil à fadiga o método do dano acumulado. Ao fim, verifica-se que o tempo de vida útil à fadiga da armadura longitudinal varia de acordo com o tamanho do vão e são tempos reduzidos.

Palavras-Chave: Pontes; Concreto Armado; Fadiga; Vida útil; Vigas.

ABSTRACT

This paper analyzes the fatigue service life of longitudinal reinforcement in reinforced concrete bridge beams by considering the actual number of heavy vehicles from 2 to 6 axes in a railway in the state of São Paulo, Brazil. Theoretical models with a structural system composed by bridges with two simply supported beams and spans of 10, 15 and 20 meters are used. Ftool is used to determine the internal stresses, and the cumulative damage method in the estimation of the fatigue life. At the end, it is verified that the fatigue service life of the longitudinal reinforcement varies according to the size of the span, and they are reduced.

Keywords: Bridges; Reinforced Concrete; Fatigue; Service Life; Beams.

INTRODUÇÃO

Os fluxos de pessoas, mercadorias e bens são possíveis graças à existência de uma infraestrutura de transportes. Logo, as dinâmicas sociais e econômicas dos países estão intimamente ligadas aos modais de transporte. De acordo com Nowak e Fischer, (2016, p. 297), a infraestrutura de tráfego “não apenas garante a performance e eficiência econômica, mas também provém mobilidade e qualidade de vida para a população, contribuindo decisivamente, portanto, com a riqueza de um país”.

Atualmente o Brasil apresenta o modal rodoviário como o predominante. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019), o transporte rodoviário de cargas corresponde a 61,1% e o transporte de passageiros a 82,8% do total, segundo dados de fevereiro de 2019.

Das diversas ações sob as quais pontes e viadutos estão submetidos citam-se as cargas permanentes, como o peso próprio, e as cargas móveis representadas pelos veículos que neles trafegam. O volume anual e o peso dos veículos de cargas têm crescido nas rodovias brasileiras (CNT, 2017; SINDIPEÇAS, 2018) e ao redor do mundo (PIRCHER et al., 2011; HAN et al., 2015; DENG; WANG; YU, 2016; HAN et al., 2017).

Esse crescimento tem gerado diversos problemas nos elementos constituintes de pontes e viadutos. Dentre os problemas estruturais aos quais as OAEs estão susceptíveis, a fadiga merece destaque (PIMENTAL; BRUHWILER; FIGUEIRAS, 2008; BARONI; GASTAL; SILVA FILHO, 2009).

De acordo com a Norma Brasileira NBR 6118:2014, intitulada “Projeto de estruturas de concreto: Procedimento”, “a fadiga é um fenômeno associado a ações dinâmicas repetidas, que pode ser entendido como um processo de modificações progressivas e permanentes da estrutura interna de um material submetido a oscilação de tensões decorrentes dessas ações” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, 2014, p. 193).

Liu e Zhou (2018) explicam que “a pesquisa acerca do problema de fadiga em vigas de concreto armado é de grande importância para o projeto, a manutenção e o reforço de pontes”, sobretudo levando-se em consideração a sobrecarga nos veículos que trafegam nas rodovias (LIU; ZHOU, 2018, p. 3512).

Pimental, Bruhwiler e Figueiras (2008, p. 215) ressaltam que o aumento das cargas móveis, que em termos práticos significa o aumento e a variabilidade dos veículos pesados que trafegam nas rodovias, acarretam uma amplificação no número de ciclos de cargas repetidas aplicadas a pontes e viadutos, de forma a reduzir “a resistência dos materiais estruturais”.

Frente ao exposto, é de suma importância que averigüe os impactos gerados por esses aumentos do número de veículos pesados na vida útil à fadiga das pontes e dos viadutos na questão de segurança e durabilidade da armadura longitudinal. Portanto, este trabalho tem como objetivo estimar o tempo de vida útil à fadiga da armadura longitudinal de vigas de três pontes teóricas de concreto armado, frente ao fluxo real de veículos pesados de 2 a 6 eixos, medidos em três postos de pedágios diferentes.

REVISÃO

No que tange à verificação dos danos causados por veículos pesados em vigas de pontes de concreto armado, Pircher et al. (2011) investigaram experimentalmente os danos relativos à fadiga em três pontes, por meio das deformações medidas. A análise se concentrou na análise da fadiga na armação utilizando-se o princípio do Dano Acumulado (PIRCHER et al., 2011).

Os autores monitoraram as três pontes por 8 semanas, sendo uma das pontes em laje, a outra com duas vigas contínuas e a terceira também em laje, mas com três vãos. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que:

Os danos causados por eventos singulares, como a passagem de veículo pesado, em relação aos efeitos nocivos do tráfego cotidiano diferiram significativamente entre as pontes consideradas. Para uma das pontes, o maior dano de eventos de tráfego singular foi computado para passagens de veículos especiais de transporte. A mesma ponte também foi encontrada para exibir o maior dano por uma única passagem em relação ao tráfego médio diário. Passagens de caminhões curtos e pesados com quatro e cinco eixos foram identificados como os eventos de tráfego mais prejudiciais nas outras duas pontes (PIRCHER et al., 2011, p. 3555).

Rossigali et al. (2015, p. 124) relatam que é crescente a preocupação e a busca por modelos de cargas mais compatíveis com a realidade “para o projeto de pontes rodoviárias no Brasil” e tais modelos “estão em desenvolvimento com a montagem de um banco de dados de tráfego real, simulações de tráfego, modelagem analítico-numérica da interação dinâmica veículo-estrutura e extrapolações”. Considerando tal fato, os autores analisam pontes de concreto armado de pequenos vãos, de 10 a 40 m, com pistas simples e duas faixas sob diferentes cenários de tráfego.

Os autores empregaram técnicas de confiabilidade estrutural e distribuições de probabilidade para se analisar o fluxo de veículos. Ao fim, eles concluíram que o modelo de cargas atual proposto pela NBR 7188:2013, “não é adequado para representar as solicitações reais e pode estar, em alguns casos, contra a segurança” (ROSSIGALI et al., 2015, p. 124).

Almeida e Fortes (2016) monitoraram um viaduto na cidade de Salvador, construído entre 1989 e 1992 e fizeram análises utilizando-se os diferentes carregamentos recomendados pelas Normas de pontes brasileiras até o período atual. Além disso, “as considerações dos efeitos do carregamento móvel são analisadas por meio de modelos que têm como base o processo estocástico, para simulação estatística do tráfego ou na simulação do

tráfego real” (ALMEIDA; FORTES, 2016, p. 4).

Os autores concluíram que há uma necessidade eminente de se avaliar a condição estrutural de pontes e viadutos projetados com normas anteriores à norma em vigência atualmente, “com o intuito de verificação da segurança estrutural” delas (ALMEIDA; FORTES, 2016, p. 10).

Deng e Yang (2018) trataram da formulação de métodos para determinação da permissão e dos limites legais de pesos dos veículos pesados levando-se em consideração o dano acumulado de fadiga nas pontes. Os autores obtiveram resultados relativos ao dano por fadiga para diferentes variações de tensões em seus estudos e informam que tais resultados “podem ser usados para determinar a carga limite para pontes novas e antigas” (DENG; YAN, 2018, p. 7).

MÉTODO

Neste trabalho será utilizado o princípio do Dano Acumulado, ou regra de Palmgren-Miner para análise da fadiga. Essa abordagem será adotada devido ao fato de que na fadiga de pontes ocorrerem variações não uniformes de tensões (SANTOS; PFEIL, 2014). Segundo Pimentel, Bruhwiler e Figueiras (2008) e Wang, Zhai e Wang (2015), o dano acumulado D relaciona linearmente o número de ciclos experimentados n com o número de ciclos necessários para levar à estrutura à ruptura N .

Pontes com duas vigas biapoiadas com vãos L de 10 m, 15 m e 20 m, respectivamente denominados 2L 1T CA 10, 2L 2T CA 15, 2L 3T CA 20. A distância de 7,0 m adotada entre os eixos das vigas segue o recomendado pelo “Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais” (DNER, 1996), que indica que o espaçamento máximo para esse tipo de estrutura com duas viga esteja entre 7,0 e 8,0 m.

São assumidas 2 faixas de tráfego para todas as pontes analisadas. Ademais, seguindo as diretrizes do “Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais” (DNER, 1996), cada faixa terá dimensão adotada de 3,60 m, totalizando 7,20 m de largura da pista, e 2,40 m cada um dos acostamentos.

Utilizando-se dados reais coletados de três postos de pedágios de rodovias do estado de São Paulo, entre os anos de 2009 e 2017, portanto, 9 anos, é estimado o tempo de vida útil à fadiga da armadura longitudinal das vigas dessas pontes. Os momentos fletores foram calculados no meio das vigas utilizando o software gratuito Ftool.

RESULTADOS

Considerando-se as cargas devido aos veículos reais de carga e as cargas distribuídas de acordo com a NBR 7188:2013, representando os veículos de pequeno porte que podem acompanhar a passagem do veículo de carga, tem-se a tabela 1 que apresenta os valores calculados para os momentos fletores das cargas móveis majorados pelo coeficiente de impacto (CI) e devido ao peso próprio da ponte.

Tabela 1 – Momentos fletores

Ponte	Momentos fletores no meio do vão da viga (kN.m)							
	CI	Peso próprio	TB 450	Comercial de 2 eixos	Comercial de 3 eixos	Comercial de 4 eixos	Comercial de 5 eixos	Comercial de 6 eixos
2L 1T CA 10	1,35	1251,3	482,3	563,70	576,1	635,5	608,6	1251,3
2L 2T CA 15	1,33	2269	459,8	671,80	834,5	1012	966,5	2269
2L 3T CA 20	1,27	3487,8	1683,9	1896,7	1978	2123,1	2040,6	3487,8

Para melhor visualização, leitura e compreensão dos resultados obtidos para os diferentes cenários, modelos e situações, apresenta-se a tabela 2 com os resultados.

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos

Dados		Posto de pedágio 1	Posto de pedágio 2	Posto de pedágio 3	
Pontes	2L 1T CA 10	Dano nos 9 anos (%)	30,39%	5,57%	76,61%
		Consumo em 100 anos (%)	337,65%	61,84%	851,23%
		Tempo de vida útil à fadiga (anos)	29,62	161,70	11,75
	2L 2T CA 15	Dano nos 9 anos (%)	20,35%	3,84%	51,96%
		Consumo em 100 anos (%)	226,07%	42,67%	577,32%
		Tempo de vida útil à fadiga (anos)	44,23	234,34	17,32
	2L 1T CA 20	Dano nos 9 anos (%)	13,91%	2,64%	35,51%
		Consumo em 100 anos (%)	154,54%	29,29%	394,60%
		Tempo de vida útil à fadiga (anos)	64,71	341,44	25,34

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Baseado no exposto anteriormente, é possível se estabelecer algumas conclusões sobre os modelos teóricos de pontes com duas longarinas biapoiadas:

- Quanto menor o vão, menor o tempo de vida útil à fadiga da armadura longitudinal;
- O pior caso, isto é, o que apresentou menor tempo de vida útil à fadiga foi a ponte de 10 metros de vão, para o posto de pedágio 3, que apresenta um volume médio anual de cerca de 16 milhões de veículos pesados de 2 a 6 eixos;
- Apenas em duas situações o tempo de vida útil foi superior a 100 anos, indicando uma necessidade de se reavaliar pontes antigas e com alto fluxo médio anual de veículos pesados.

AGRADECIMENTOS

Faz-se especial agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ligada ao Ministério da Educação do Brasil, pelo apoio através da bolsa de estudos concedida ao estudante, permitindo o mais benéfico desenvolvimento deste trabalho. Agradece-se também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv), da UFSCar, por todo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Else Pereira de; FORTES, Adriano Silva. Análise da Carga Móvel em Pontes e Viadutos Rodoviários. In: Congresso Brasileiro De Pontes E Estruturas, 10, Rio de Janeiro: ABECE, 2016, p. 1-10.

BARONI, Henriette Justina Manfredini; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da; GASTAL, Francisco de Paula Simões Lopes. Vida Útil de Fadiga de Elementos Estruturais de Concreto Armado de Pontes Rodoviária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. Anais... Curitiba: Ibracon, 2009, p. 1-16.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Boletim Estatístico - CNT - Fevereiro 2019. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/boletins>>. Acesso em: 18 de abr. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias 2017: Relatório Geral. Brasília: CNT, 2017. Disponível em: < <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 13 de jun. 2018.

DENG, L.; YAN, W. Vehicle Weight Limits and Overload Permit Checking Considering the Cumulative Fatigue Damage of Bridges. Journal of Bridge Engineering, v. 23, n. 7, p. 1–8, 2018.

DENG, Lu; WANG, Wei; YU, Yang. State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE*, v. 30, n. 2, p. 1-13, 2016.

AN, Wanshui *et al.* Characteristics and Dynamic Impact of Overloaded Extra Heavy Trucks on Typical Highway Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, v. 20, n. 2, p. 1-11, 2015.

HAN, Wanshui *et al.* Dynamic Impact of Heavy Traffic Load on Typical T-Beam Bridges Based on WIM Data. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 31, n. 3, p. 1-14, 2017. LIU, Fangping; ZHOU, Jianting. Experimental Research on Fatigue Damage of Reinforced Concrete Rectangular Beam. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 22, n. 9, p. 3512–3523, 2018.

NOWAK, Marcel; FISCHER, Oliver. Traffic Parameter Sensitivity in the Development of Site-specific Load Models. *Procedia Engineering*, v. 156, p. 296–303, 2016.

PIMENTEL, Mário. BRUHWILER, Eugen; FIGUEIRAS, Joaquim. Fatigue life of short-span reinforced concrete railway bridges. *Structural Concrete*, v. 9, n. 4, p. 215-222, mar. 2008.

PIRCHER, Martin *et al.* Damage due to heavy traffic on three RC road bridges. *Engineering Structures*, v. 33, n. 12, p. 3755–3761, 2011.

ROSSIGALI, C. E. *et al.* Towards actual Brazilian traffic load models for short span highway bridges. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 8, n. 2, p. 124-139, abr. 2015.

Santos, L. F., Pfeil, M. S. (2014), *Desenvolvimento de Modelo de Cargas Móveis para Verificação de Fadiga em Pontes Rodoviárias*. *Engenharia Estudo e Pesquisa*, 14(1):40-47.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA E COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES (Sindipecas). Frota Circulante. Relatório da Frota Circulante. 2018. Disponível em: < <https://www.sindipecas.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frota-circulante>>. Acesso em: 13 de jan. 2019.

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DA ESTABILIDADE DISTORCIONAL EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM REGIÃO DE MOMENTO NEGATIVO

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF DISTORTIONAL STABILITY IN STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS UNDER NEGATIVE MOMENT

Discente: Alexandre Rossi, Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil

Orientador/Co-orientador: Prof. Dr. Alex Sander Clemente de Souza/Prof.Dr. Carlos Humberto Martins

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início.

RESUMO

As pesquisas em vigas mistas de aço e concreto, na sua maioria, tem se dedicado a investigação desses elementos sob a ação de momento fletor positivo ou a ação de esforços cortantes. Entretanto, poucos estudos são realizados com o objetivo de explorar o comportamento das vigas mistas de aço e concreto sob a ação de momento fletor negativo. Esses elementos quando submetidos a esse tipo de ação estão sujeitos a um modo de falha caracterizado por uma instabilidade distorcional, chamada de Flambagem Lateral com Distorção (FLD). O presente estudo tem como objetivo a investigação da FLD em vigas mistas de aço e concreto. Será analisado a influência de diversos parâmetros geométricos, como por exemplo parâmetros de esbeltez do perfil de aço. Para isso, serão utilizados, modelos físicos e modelos numéricos. Espera-se fornecer subsídios para o melhor entendimento desse mecanismo de falha e contribuir para o desenvolvimento da construção civil brasileira.

Palavras-Chave: Vigas mistas de aço e concreto; Momento fletor negativo; Flambagem Lateral com Distorção.

ABSTRACT

The researchs in steel and concrete composit beams, for the most part, has been dedicated to the investigation of these elements under the action of positive bending moment or the action of shear forces. However, few studies are conducted to explore the behavior of steel and concrete composite beams under negative bending moment action. These elements when subjected to this type of action are subject to a failure mode characterized by a distortion instability, called Lateral distortional Buckling (LDB). The present study has as objective the investigation of LDB in steel and concrete composit beams. The influence of several geometric parameters will be analyzed, such as the steel profile slenderness parameters. For this, physical models and numerical models will be used. It is expected to provide subsidies for a better understanding of this failure mechanism and contribute to the development of Brazilian civil construction.

Keywords: Steel and concrete composit beams; Negative bending moment; Lateral distortional buckling

INTRODUÇÃO

As primeiras vigas mistas de aço e concreto surgiram da associação desses dois materiais no intuito de aumentar a resistência desse tipo de elemento estrutural a ação do fogo. Nos moldes atuais uma viga mista de aço e concreto é constituída pela caracterização do funcionamento em conjunto entre esses dois materiais o qual é galgado por meio dos conectores de cisalhamento. O funcionamento em conjunto entre o aço e o concreto garante o aproveitamento das melhores características de cada material na condição de momento fletor positivo. Entretanto, em vigas mistas contínuas e semicontínuas verifica-se regiões solicitadas a mo-

mento fletor negativo. Nessas regiões ocorre uma inversão de tensões no elemento misto. Tem-se agora que a laje de concreto se encontra tracionada e o perfil de aço comprimido. Assim, têm-se a suscetibilidade da ocorrência de perda de estabilidade por parte do perfil de aço comprimido. O modo de estabilidade global associado a esse tipo de elemento é caracterizado por uma distorção da seção transversal das vigas mistas de aço e concreto, chamada de Flambagem Lateral com Distorção (FLD).

A FLD trata-se de um fenômeno de complexa investigação e experimentação. Logo, os estudos que buscam o entendimento desse fenômeno de instabilidade em vigas mistas de aço e concreto são escassos. Devido a essa condição, os procedimentos normativos estrangeiros (AISC 360:2016, EN 1994-1-1:2004) e nacional (ABNT NBR 8800:2008) utilizam-se das mesmas curvas de dimensionamento de elementos unicamente de aço, as quais são dependentes da determinação de um momento crítico elástico. Além disso, os estudos existentes não investigaram todos as variáveis que podem influenciar o momento resistente último a FLD. No Brasil os estudos se limitam apenas a investigações numéricas de análise do momento crítico elástico, não havendo registros do desenvolvimento de análises numéricas não lineares e tão pouco de estudos experimentais. Tais fatos instigam o desenvolvimento de mais estudos sobre o tema e justificam o desenvolvimento desse trabalho.

A fim de contribuir para o entendimento da FLD e para o desenvolvimento procedimentos analíticos práticos esse trabalho tem como objetivo investigar o comportamento de vigas mistas de aço e concreto sob a ação de momento fletor negativo. Avaliar-se-á a capacidade resistente desses elementos à FLD analisando a influência de diversos parâmetros geométricos.

REVISÃO

Os estudos que investigam a FLD em vigas mistas sob a ação de momento fletor negativo podem ser divididos em duas vertentes: os que desenvolveram análises de estabilidade elástica para determinação do momento crítico à FLD, e os que desenvolveram estudos experimentais ou análises numéricas não lineares para determinação da resistência última à FLD.

Considerando a primeira vertente, um dos primeiros estudos a investigar o momento crítico elástico à FLD em vigas mistas foi desenvolvido por Johnson e Bradford (1983). Os autores mostraram uma necessidade de melhoria dos métodos de projeto existentes na época. Assim sendo, Svensson (1985) determinou o momento crítico elástico a FLD em vigas mistas considerando que apenas a mesa inferior do perfil encontrava-se submetida a esforços de compressão. Posteriormente, Goltermann e Svensson (1988) consideraram que além da mesa inferior cerca de 15% da altura total da alma também se encontrava comprimida. Contudo, trabalhos como de Zhou *et al.* (2016), Wangbao *et al.* (2014), Ye e Chen (2013) mostraram divergências entre resultados de análises numéricas e os valores obtidos com os modelos de Svensson (1985) Goltermann Svensson (1988). Roik *et al.* (1990) propuseram por meio do método da energia, um modelo analítico para determinação do momento crítico elástico à FLD. Posteriormente, a equação proposta pelos autores foi adotada pela antiga norma europeia de projeto de estruturas mistas, EN 1994-1-1:1991, e também pela norma brasileira (ABNT NBR 8800:2008). Entretanto, trabalhos como os de Oliveira *et al.* (2016), Amaral (2016), Dias (2019), desenvolvidos para a análise do momento crítico elástico em vigas mistas, mostraram desvios entre resultados numéricos de elementos finitos e os da equação proposta por Roik *et al.* (1990). Outro trabalho que merece destaque é o de Hanswille *et al.* (1998) que também propôs um modelo para a determinação do momento crítico elástico à FLD. Hanswille *et al.* (1998) destacaram que os resultados obtidos pela equação de Roik *et al.* (1990) podem ser até 37% inseguros na determinação do momento crítico elástico à FLD de vigas mistas contínuas sob a ação de momento negativo. Contudo, Dias (2019) demonstrou, com desenvolvimento de análises numérica com o *software* Ansys, que o desvio médio dos valores obtidos com a proposta de Roik *et al.* (1990) e Hanswille *et al.* (1998), quando comparado com resultados de análises numéricas, é de 12,41% e 15,51%, respectivamente.

Com relação a segunda vertente de estudos, tem-se que Fan (1990) obteve evidências de que a flambagem local e a FLD podem ocorrer de forma simultânea e que as combinações desses modos de instabilidade são responsáveis pelo declínio da resistência a flexão desses elementos. Ainda na mesma década, Chen (1992) observou que a presença de enrijecedores na região de momento negativo aumentaram a resistência à FLD. Uns dos mais recentes estudos experimentais sob os fenômenos de instabilidade em vigas mistas de aço e

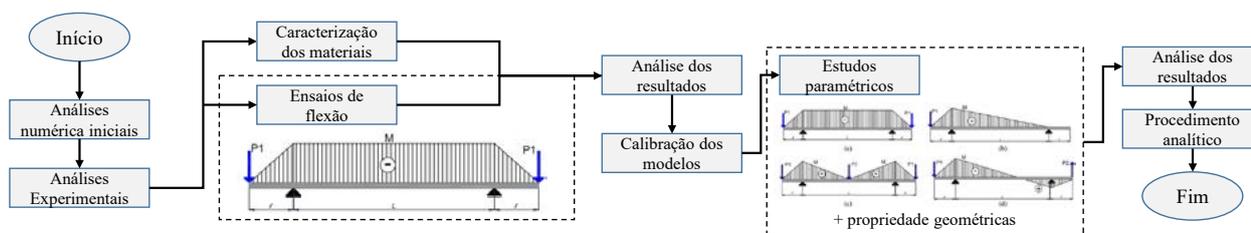
concreto sob a ação de momento negativo foi desenvolvido por Tong *et al.* (2014). Tong *et al.* (2014) analisaram oito vigas mistas com distribuição constante e linear de momento fletor. O estudo avaliou a influência do grau de interação aço concreto, o qual foi pouco significativo, e da presença de enrijecedores transversais no perfil de aço. Tong *et al.* (2014) concluíram que a FLD pode ocorrer de forma simultânea ou não com modos de instabilidade locais, e são responsáveis pela redução da capacidade resistente desses elementos. Destacando-se os trabalhos desenvolvidos por meio de análises numéricas não lineares pode-se enfatizar o trabalho de Chen e Wang (2012) os quais realizaram uma investigação numérica para análise do comportamento estrutural de vigas mistas sob a ação de momento negativo. Foram estudados os efeitos da presença de enrijecedores transversais na alma do perfil e a variação da espessura da laje de concreto. Foi observado que a presença dos enrijecedores aumenta significativamente a resistência das vigas mistas sob a ação de momento negativo, e que o procedimento normativo do EC4 fornece resultados conservadores. Recentemente, Zhou e Yan (2017) também realizaram análises numéricas não lineares para a investigação do comportamento de vigas mistas de aço e concreto sob a ação de momento negativo. As análises de Zhou e Yan (2017) foram desenvolvidas considerando apenas a distribuição uniforme de momento fletor, também foi verificada situação conservadora do EC4.

Da exposição realizada, verifica-se a ausência de estudos nacionais (experimentais e/ou de análises numéricas não lineares) que investigaram os efeitos dos modos de instabilidade em vigas mistas contínuas na região de momento negativo. Com relação aos estudos estrangeiros verifica-se que existem alguns trabalhos que desenvolveram ensaios experimentais e outros que realizaram análises não lineares para a investigação da FLD em viga mista de aço e concreto. Entretanto, alguns parâmetros como a taxa de armadura longitudinal, a altura da laje de concreto e parâmetros de esbeltez do perfil de aço, ainda necessitam de maiores investigações.

MÉTODO

O procedimento metodológico a ser utilizado para o desenvolvimento da pesquisa pode ser apresentado de forma sucinta conforme **Figura 1**.

Figura 01: Fluxograma do processo metodológico



CONSIDERAÇÕES GERAIS

Espera-se que o presente trabalho forneça subsídios para o melhor entendimento da FLD em vigas mistas de aço e concreto sob a ação de momento fletor negativo. Pretende-se contribuir para o desenvolvimento de modelos analíticos que represente o mecanismo da FLD e descreva a influência de todos os parâmetros analisados. Fornecendo assim uma ferramenta prática e de grande precisão para o meio profissional.

REFERÊNCIAS

AISC, Specifications for Structural Steel Buildings, **ANSI/AISC 360-16**, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2016.

AMARAL, T. V. **Avaliação da Influência da Distribuição de Momentos Fletores no Momento Crítico Elástico à Flambagem Lateral com Distorção de Vigas Mistas Contínuas**. 2016. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 8800**. Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

CHEN, S. **Instability of composite beams in hogging bending**. Thesis (Doctor of Philosophy) – Department of Engineering, University of Warwick, U.K., 1992.

CHEN, S.; WANG, X. Finite Element Analysis of Distortional Lateral Buckling of Continuous Composite Beams with Transverse Web Stiffeners. **Advances in Structural Engineering**, v. 15, n. 9, p. 1607–1616, 7 set. 2012.

DIAS, J. V. F. et al. Elastic Critical Moment of Lateral-Distortional Buckling of Steel-Concrete Composite Beams under Uniform Hogging Moment. **International Journal of Structural Stability and Dynamics**, v. 19, n. 07, p. 1950079, 26 jul. 2019.

EUROCODE 4. **EN 1994-1-1:2004** – Design of composite steel and concrete structures. Parte 1.1 General rules and rules for buildings. CEN – European Committee for Standardization, 2004.

FAN, C.K.R. **Buckling in continuous composite beams**. Thesis (Doctor of Philosophy) – Department of Engineering, University of Warwick, U.K., 1990.

GOLTERMANN, P., SVENSSON, S. E. Lateral Distortional Buckling: Predicting Elastic Critical Stress. **Journal of Structural Engineering**, v. 114, pp. 1606-1625, 1988.

HANSWILLE, G., LINDNER, J., MÜNICH, D. Lateral Torsional Buckling of Composite Beams (em alemão). **Stahlbau**, v. 67, pp. 525-535, 1998.

JOHNSON, R. P., BRADFORD, M. A. Distortional Lateral Buckling of Unstiffened Composite Bridge Girders. **Proceedings of the International Conference on Instability and Plastic Collapse of Steel Structures**, pp. 569-580, 1983.

OLIVEIRA, J.P.S. **Determinação do momento crítico de flambagem lateral com distorção em vigas mistas contínuas de aço e concreto com perfis de alma senoidal**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória, 2014.

ROIK, K., HANSWILLE, G., KINA, J. Solution for the Lateral Torsional Buckling Problem of Composite Beams (em alemão). **Stahlbau**, v. 59, pp. 327-332, 1990.

SVENSSON, S. E. Lateral Buckling of Beams Analysed as Elastically Supported Columns Subject to a Varying Axial Force. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 5, pp. 179-193, 1985.

TONG, L.; LIU, Y.; SUN, B.; ET AL., Experimental investigation on mechanical behavior of steel-concrete composite beams under negative bending, **J. Build. Struct.** 35 (10) (2014) 1–9 (in Chinese).

WANGBAO, Z. et al. Distortional Buckling Analysis of Steel-Concrete Composite Girders in Negative Moment Area. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, p. 1–10, 2014.

YE, J.-H.; CHEN, W. Elastic restrained distortional buckling of steel-concrete composite beams based on elastically supported column method. **International Journal of Structural Stability and Dynamics**, v. 13, n. 01, p. 1350001, 6 fev. 2013.

ZHOU, W.-B.; LI, S.-J.; YAN, W.-J. Practical formulas towards distortional buckling failure analysis for steel concrete composite beams. **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, v. 25, n. 18, p. 1055–1072, 25 dez. 2016.

ZHOU, W.-B.; YAN, W.-J. Refined nonlinear finite element modelling towards ultimate bending moment calculation for concrete composite beams under negative moment. **Thin-Walled Structures**, v. 116, p. 201–211, jul. 2017.

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA PARA AVALIAÇÃO DO EDIFÍCIO HISTÓRICO DO MUSEU PAULISTA UTILIZANDO TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS

Experimental and Numerical Characterization for Evaluation of Museu Paulista Historical Building using Non-Destructive Techniques

Discente: Daniele Melo Santos Paulino, Engenheira Civil, Mestre em Engenharia de Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Lopes de Oliveira

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Os edifícios históricos são bens materiais que compõem o patrimônio urbano, sendo sua preservação e conservação de importância e interesse social pelo valor histórico e cultural atribuídos a estas construções. O desenvolvimento de técnicas de reabilitação e manutenção é de fundamental importância devido as ações de degradação às quais estão sujeitas ao longo dos anos. Um dos principais desafios no processo de preservação de estruturas históricas é a limitação de informação a respeito das características físicas e mecânicas dos materiais empregados. Em se tratando de construções históricas no Brasil, é evidente a necessidade de desenvolvimento de estudos visando preservação do patrimônio edificado. Desta maneira, este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma metodologia de caracterização numérica e experimental de construções históricas em alvenaria, considerando o contexto de construções na região do Estado de São Paulo. Para tal, utilizará como objeto de estudo o Museu Paulista, cujo valor histórico refere-se ao período de independência do país.

Palavras-Chave: Construções Históricas; Museu Paulista; Caracterização Estrutural; Modelagem Numérica; Ensaio Não Destrutivo.

ABSTRACT

Historical buildings are material assets that compose the urban heritage, which the process of preservation and conservation represents a social interest due to the historical and cultural value attributed to these buildings. The development of rehabilitation and maintenance techniques is of fundamental importance due to the degradation actions to which they are subjected over the years. One of the main challenges in the preservation process of historical structures is the limitation about the physical and mechanical properties of the materials employed. In the case of historical buildings in Brazil, it is evident the need to develop studies aiming to preserve the architectural heritage. Thus, this work aims to develop a methodology to characterization of historical buildings in masonry in the region of São Paulo, using both numerical and experimental approaches. Therefore, the object of study will be the Museu Paulista (or Museum of Ipiranga), whose historical value refers to the period of Brazil's independence.

Keywords: Historical Constructions; Museu Paulista; Structural Characterization; Numerical Modeling; Non Destructive Tests.

INTRODUÇÃO

Históricas (CH) podem ser entendidas como estruturas que apresentam uma importância artística, cultural, religiosa, documental ou estética para a sociedade. A conservação de estruturas do patrimônio arquitetônico tem se tornado um assunto muito importante no âmbito da engenharia e construção civil.

Segundo a ISO 13822:2012, conservação envolve as ações e processos que visam salvaguardar os elementos definidores de caráter de um recurso cultural, de modo a manter o seu valor patrimonial e prolongar sua vida física.

Estruturas históricas estão sujeitas ao processo de degradação ao longo do tempo, o que leva a situação a qual estas se tornam incapazes de atender as condições de trabalhabilidade para quais foram projetadas. Também existe a necessidade de melhorar as condições de serviço destas estruturas e adaptá-las à novas funções (ASTERIS *et al.*, 2015).

Neste contexto, o desenvolvimento de técnicas de reabilitação e manutenção é de fundamental importância devido às ações de degradação às quais estas estruturas estão submetidas. Para melhor conservação e reparação do patrimônio histórico é necessário identificar suas deficiências (MARTINI, 2019). Desta maneira, a busca por ferramentas que auxiliem no processo de caracterização de estruturas tradicionais é de fundamental importância, visto que uma das principais dificuldades em se tratando de CH é a limitação de informação a respeito da estrutura analisada, como propriedades físicas e mecânicas dos materiais utilizados.

Em se tratando da etapa de análise estrutural, esta é particularmente necessária para caracterizar a performance da estrutura quando esta está sujeita a diferentes ações, como forças gravitacionais, recalques do solo, vento e ações extremas, como terremotos. Nesta etapa é comum a utilização de métodos numéricos e modelagem computacional, visando a caracterização e representação das complexidades geométricas e de material presentes na estrutura analisada.

Destaca-se que poucos estudos têm sido desenvolvidos no âmbito de caracterização do comportamento estrutural de edificações históricas no Brasil, representando um campo de pesquisa amplo e relevante, principalmente pela quantidade excepcional de bens culturais presentes no país.

Neste contexto, uma das construções históricas mais emblemáticas do estado de São Paulo refere-se ao edifício do Museu Paulista. O edifício foi inaugurado no fim do século XIX e ao longo dos anos sofreu diversas intervenções, encontrando-se fechado desde 2013 por problemas estruturais. Desta maneira, destaca-se como um possível objeto de estudo no que se refere às técnicas de conservação do patrimônio. Assim, este projeto tem como objetivo o estudo e caracterização estrutural do edifício histórico do Museu Paulista, visando a compreensão do seu sistema estrutural como meio de desenvolver um plano de conservação coerente e direcionar possíveis intervenções futuras na estrutura.

Figura 1 – Museu Paulista



Fonte: Wikipedia

Em suma, pode-se destacar como objetivo geral desta pesquisa a caracterização estrutural dos componentes do edifício histórico do Museu Paulista. Para tal, serão utilizadas técnicas não destrutivas e ensaios em laboratório, visando caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da estrutura analisada. A partir dessa caracterização, serão propostos modelos numéricos para determinar a capacidade de carga das construções, permitindo definir o nível de segurança e o plano de conservação e uso dessas ou eventualmente direcionar medidas de recuperação e possíveis intervenções, bem como estudo dos possíveis mecanismos de falhas.

REVISÃO

Conforme destacado por MARTINI (2019), o processo de conservação, reforço e restauro do patrimônio edificado apresentam etapas que se repetem, sendo estas: análise da informação histórica, reconhecimento da geometria, materiais e técnicas construtivas, identificação dos danos e degradações e suas causas, ações de consolidação e controle de qualidade das intervenções. Dentre estas etapas, é possível verificar que a caracterização da edificação analisada e o processo de diagnóstico representa uma etapa essencial para a compreensão da estrutura analisada, bem como das ações que devem ser tomadas de maneira a realizar uma reabilitação correta, preservando suas características originais.

VICENTE (2008) reforça que o diagnóstico pode ser útil tanto na fase de planejamento da reabilitação quanto no auxílio ao longo do desenvolvimento de soluções concretas por parte do projetista. Desta maneira, evidencia-se a importância do desenvolvimento de modelos, metodologias e ferramentas de registro e diagnóstico que possam auxiliar os profissionais envolvidos durante o processo de reabilitação e conservação do patrimônio edificado, considerando as especificidades inerentes as construções históricas.

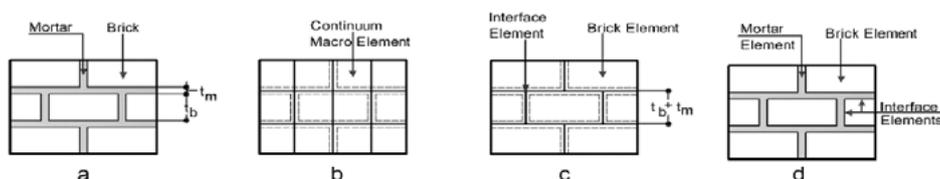
Em se tratando da etapa de análise estrutural, principalmente voltada a estruturas históricas em alvenaria, o trabalho de ROCA *et al.* (2010) reúne uma revisão dos métodos clássicos e avançados existentes na literatura. As principais estratégias incluem análise de estado limite, macro e micro modelagem utilizando o método dos elementos finitos (MEF), além de estudos utilizando o método dos elementos discretos (MED).

Dentre estes métodos, destaca-se que a modelagem utilizando o MEF é uma das principais abordagens utilizadas para análise estrutural. De acordo com LOURENÇO (2002), usualmente pode-se representar numericamente o comportamento da alvenaria utilizando a micromodelagem, focando na modelagem de seus componentes individuais, ou macromodelagem, modelando a alvenaria como um compósito. Pode-se verificar os tipos de modelagem baseadas no MEF conforme apresentado na Figura 2.

Na macromodelagem o elemento de alvenaria pode ser representado como um modelo contínuo homogêneo, usualmente utilizando o método dos elementos finitos, considerando implicitamente o efeito das ligações de argamassa.

Em se tratando da micromodelagem, esta pode ser classificada em simplificada e detalhada. A detalhada descreve as unidades e argamassa nas juntas usando elementos finitos contínuos, enquanto a interface unidade-argamassa é representada por elementos descontínuos, considerando o potencial de fissuração ou deslizamento do plano. Já na micromodelagem simplificada as unidades expandidas, representadas por elementos contínuos, são usadas para modelar tanto o bloco de alvenaria quanto a argamassa, enquanto o comportamento das juntas da argamassa e interface unidade-argamassa são agrupados com elementos descontínuos.

Figura 2 – Estratégias de Modelagem para Alvenaria: (a) Esquemático da Alvenaria; (b) Macromodelagem monofásica; (c) Micromodelagem Simplificada; (d) Micromodelagem Detalhada.



Fonte: ASTERIS *et al.* (2015)

MÉTODOS

Visando apresentar a metodologia para desenvolvimento desta pesquisa, as atividades que serão desenvolvidas podem ser divididas em três grupos principais, conforme apresentados a seguir:

- Metodologia de inspeção e identificação de danos em construções de alvenaria histórica

Revisão bibliográfica sobre as principais manifestações patológicas e danos em estruturas de alvenaria histórica. Desenvolvimento de uma metodologia de classificação do nível de dano estrutural em construções históricas, aplicadas a construções históricas relevantes da região de São Paulo. Investigação in situ das construções históricas da região de São Paulo, buscando aplicar a metodologia de análise desenvolvida. Determinar as possíveis causas dos problemas identificados, direcionando as possíveis intervenções estruturais adequadas.

- Caracterização experimental de estruturas históricas em alvenaria

Levantamento bibliográfico das técnicas de monitoramento e ensaios não destrutivos aplicados a caracterização de alvenaria histórica. Aplicação da rotina experimental desenvolvida em um estudo de caso localizado na cidade de São Paulo, sendo a construção escolhida com relevância como patrimônio histórico nacional. Estudo analítico para determinação de um fator de correlação entre parâmetros obtidos por meio dos ensaios, como frequência e velocidade de propagação de onda, e as propriedades mecânicas dos materiais, como módulo de elasticidade e resistência à compressão.

- Modelo Numérico

Estudo das técnicas de modelagem numérica aplicadas à alvenaria histórica, permitindo identificar a abordagem mais adequada para desenvolvimento do modelo estrutural proposto. Desenvolvimento de algoritmos para geração geométrica automática dos elementos construtivos da estrutura analisada, a partir das nuvens de pontos geradas durante a etapa de ensaios experimentais. Desenvolvimento dos modelos numéricos, considerando a complexidade da estrutura analisada, como não linearidade física dos materiais de alvenaria, consideração de danos nos elementos e intervenções realizadas, visando a geração de um modelo confiável para compreensão do comportamento estrutural da construção analisada. Análise do comportamento estrutural, como verificação dos níveis de tensões e deformações presentes na construção, bem como concentração de danos e propagação de fissuras, visando auxiliar no direcionamento das técnicas empregadas em etapas de conservação e intervenção estrutural.

RESULTADOS

Por este trabalho encontrar-se em fase inicial, ainda não foram obtidos resultados. No entanto, espera-se que a partir da metodologia proposta seja desenvolvida a caracterização estrutural do Museu Paulista, bem como a compreensão de mecanismos de falhas aos quais a estrutura está sujeita, considerando as intervenções realizadas no edifício ao longo dos anos. Assim, um plano de conservação e preservação mais eficiente pode ser concebido, possibilitando análises mais precisas e intervenções mais eficazes na estrutura.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

A pesquisa proposta terá um grande impacto e contribuição ao estudo de estruturas históricas no âmbito nacional, visto que ainda há uma escassez de pesquisa nesta área, principalmente em se tratando de análises estruturais utilizando modelos numéricos que representem o comportamento de alvenarias históricas.

REFERÊNCIAS

ASTERIS, P. G.; SARHOSIS, V.; MOHEBKHAH, A.; PLEVRIS, V. *Numerical modeling of historic masonry structures*. In: ASTERIS, P. G.; PLEVERIS, V. (org.). *Handbook of research on seismic assessment and rehabilitation of historic structures*. 3. ed. United States of America: Engineering Science Reference, 2015. p. 27–68.

ICOMOS. *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage. Paris, 2003.

LOURENÇO, P. B. *Computations on historic masonry structures*. Progress in Structural Engineering and Materials, v. 4, p. 301–319, 2002.

MARTINE, R. J. *Caracterização de Alvenarias de Granito Baseada em Técnicas Geofísicas, Mecânicas e Redes Neurais*. 2019. 203 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, Portugal.

VINCENTE, R. da S. *Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana*. 2008. 471 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, Portugal.

ROCA, P.; CERVERA, M.; GARIUP, G. *Structural analysis of masonry historical constructions: classical and advanced approaches*. Architectural Computational Methods in Engineering, v. 17, p. 299–325, 2010.

METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO PROJETO DE VIADUTOS DE MÚLTIPLAS LONGARINAS CONSIDERANDO CRITÉRIOS SOCIAIS-AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

METHODOLOGY FOR DESIGN OPTIMIZATION OF MULTIPLE GIRDERS VIADUCTS CONSIDERING SOCIAL-ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC CRITERIA

Discente: Eduardo Vicente Wolf Trentini, Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Nível: Mestrado ou Doutorado

Estágio da pesquisa: Início.

RESUMO

O projeto viadutos e pontes é realizado por um processo de tentativa e erro que praticamente não mais se justifica frente os recursos computacionais e metodologias de otimização disponíveis. Tradicionalmente, o objetivo principal do projeto de estruturas tem sido minimizar os custos de construção, garantindo a eficiência estrutural. No entanto, as preocupações com a construção de um futuro sustentável mudaram as prioridades da sociedade. Estruturas ecológicas e duráveis são cada vez mais exigidas. Sob esta perspectiva, os métodos de otimização heurística fornecem uma alternativa aos pré-dimensionamentos com base na experiência. O desenvolvimento de novos materiais de construção, técnicas de projeto e critérios sustentáveis motivam a necessidade de criação de uma metodologia para projeto automático e preciso que considere todos estes aspectos. Esta pesquisa propõe a elaboração de uma metodologia para projeto eficiente de viadutos rodoviários de múltiplas longarinas pré-moldadas e pós-tensionadas como um todo (supra, meso e infraestrutura) considerando critérios de eficiência estrutural e sustentabilidade.

Palavras-Chave: CAD, CUAD, otimização multiobjetivo, Pontes e viadutos.

ABSTRACT

The design of bridges is performed by a trial and error process that is practically no longer justified due to the available computational resources and optimization methodologies. Traditionally, the main goal of structural design has been to minimize construction costs while ensuring structural efficiency. However, concerns about building a more sustainable future have changed society's priorities. Eco-friendly and durable structures are increasingly required. From this perspective, heuristic optimization methods provide an alternative to experience-based pre-dimensioning. The development of new building materials, design techniques and sustainable criteria motivates the need to create a methodology for automatic and accurate design that considers all these aspects. This research proposes the elaboration of a methodology for efficient design of precast and post-tensioned multi-girder road viaducts as a whole (super, meso and infrastructure) considering structural efficiency and sustainability criteria.

Keywords: HPC, UHPC, multiobjective optimization, bridges and viaducts.

INTRODUÇÃO

Este trabalho se propõe a elaboração de uma metodologia de otimização multiobjetivo, considerando critérios de eficiência e de sustentabilidade, para viadutos com tabuleiros em concreto pré-moldado e pós tensionados de múltiplas longarinas I considerando inclusive a utilização de Concreto de Alto Desempenho (CAD) e de Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD).

De acordo com Eller (2011), mais da metade do volume de cargas transportado no Brasil é pelo modal rodoviário. As condições insatisfatórias do sistema têm onerado os produtos brasileiros com custos elevados de frete e manutenção de veículos, reduzindo sua competitividade. Portanto, a necessidade constante de

investimentos em conservação das rodovias faz com que os recursos públicos nunca pareçam suficientes para manter a qualidade do sistema (Eller, 2011, p. 2).

Viadutos de múltiplas longarinas de seção I, pós tensionadas e pré-moldadas são amplamente difundidas no Brasil, uma vez que são ideais para viadutos de vãos curtos a médios (20 a 60 m) devido ao seu peso próprio moderado, eficiência estrutural, facilidade de fabricação, rápida construção e facilidade de manutenção (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (PCI), 2003 apud AHSAN et al, 2012).

O projeto deste tipo de estrutura requer um processo de tentativa e erro até que se obtenha uma estrutura aceitável. O engenheiro adota uma configuração inicial, ou conjunto de variáveis independentes e verifica se esta solução cumpre os estados limites e especificações mínimas das normas. Como existem outras opções de configurações iniciais, provavelmente existem outras soluções que atendam aos requisitos, havendo, entre essas, soluções melhores no sentido de apresentarem: um menor custo, um menor tempo de execução, um menor impacto ambiental ou até tenham uma vida útil maior.

É possível também analisar o problema de otimização de viadutos por uma ótica multiobjetiva, desta forma é possível otimizar outras características do objeto de estudo, não apenas o custo inicial da solução estrutural, mas também questões de sustentabilidade, otimizando a potencial emissão de CO_2 , e também visando uma maior durabilidade com mínima manutenção. A preocupação com a redução das emissões de CO_2 é relevante pois as normas prescritivas atuais, muitas vezes, não consideram os objetivos e prioridades da questão ambiental em seus textos. O desenvolvimento sustentável de acordo com García-Segura. (2016) requer uma visão tripla que equilibra desenvolvimento econômico, necessidades ambientais e sociais. Portanto, quando se deseja construir obras sustentáveis é necessário decisões que envolvam critérios de custo, impacto ambiental e durabilidade.

Afim de maximizar os resultados da otimização é interessante ampliar o número de variáveis independentes incluindo na análise a utilização de tecnologias emergentes e novos processos construtivos. Segundo Dal Morin (1995) em meados da década de 90, o Concreto de Alto Desempenho (CAD) combinado com protensão foi amplamente empregado em viadutos com vãos médios e longos, no intuito de limitar as flechas, diminuir o peso próprio e reduzir a fluência.

O concreto de alto desempenhado possui materiais nobres, como aditivos superplastificantes e materiais cimentícios suplementares, sílica ativa, cinza de volante, escória de alto forno e outros, que resultam em um material de maior custo por volume quando comparados ao concreto convencional. Por outro lado, a melhoria de suas propriedades mecânicas traz benefícios diretos, como a redução da taxa de armadura e redução da seção, com conseqüente redução do volume de concreto.

Já o Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) é definido pela The Association Française de Génie Civil (2012) pela resistência a compressão maior que 150 MPa e segundo Perry, Parsekian e Shrive (2017) é composto usualmente por cimento Portland, areia muito fina (menor que 400 micrometros), sílica ativa, pó de quartzo, aditivos e até 2% de fibras sintéticas ou metálicas.

Ngo (2016) diz que o uso do CUAD nas últimas décadas tem mostrado resultados promissores tanto em laboratório quanto na prática. Devido à alta resistência a compressão, tração e conseqüentemente ao cisalhamento do material, tem-se o potencial de realizar pontes com longa vida útil, vãos longos sem pilares intermediários e ainda assim obter um menor consumo de concreto quando comparadas com soluções em concreto convencional. Entretanto o alto custo do material, que chega a ser mais de oito vezes o custo do concreto convencional, propõe um grande desafio ao engenheiro.

REVISÃO

Existem muitos trabalhos sobre otimização de custos de estruturas na literatura. Cohn e Dinovitzer (1994) estimam que até o ano de 1994 existiam cerca de 150 livros e 2500 artigos publicados sobre o tema. Já quando se aborda o assunto de otimização de viadutos de longarinas com seção I, são encontrados alguns poucos trabalhos na literatura internacional e apenas três trabalhos na literatura nacional. Hassasain e Loov (2003)

apresentam um estado da arte sobre otimização de custo de pontes em concreto e cita dezesseis trabalhos internacionais.

Torres et al. (1966) realizaram no M.I.T. (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) um estudo pioneiro nesta área, utilizando o método da programação linear, desenvolveram um software para procurar o projeto ótimo em relação a custo de tabuleiro de pontes com um único vão, protendidas e pré-moldadas utilizando em seu banco de dados as vigas AASHO (The American Association of State Highway Officials). Os autores utilizaram como variáveis independentes o número de longarinas, a altura da longarina, o nível de protensão e a excentricidade da protensão. Os autores então utilizam esta metodologia para desenvolver uma série de ábacos apresentando os resultados encontrados. As principais conclusões dos autores foram que o espaçamento ótimo entre as longarinas é cerca de 2,75 metros e utilizando um veículo tipo mais leve, a faixa de soluções em que cada altura de longarina apresenta o resultado ótimo é maior.

Olivieri (2004) na Universidade Federal do Rio de Janeiro é o primeiro trabalho da literatura nacional que aborda o tema de otimização de custo de tabuleiro de pontes em concreto protendido. O autor elabora um programa em Visual Basic, no qual procura a solução ótima utilizando o método dos algoritmos genéticos para minimizar o custo de tabuleiros de pontes compostos por longarinas com seção I, pré-moldadas, pré-tensionadas e bi-apoiadas. Segundo o autor, são utilizadas como graus de liberdade: número de longarinas; altura da seção da longarina, variando entre 0,50 a 1,90 m com demais dimensões previamente disponíveis no banco de dados do programa; número de cordoalhas e espessura da laje. Afim de aferir a capacidade de encontrar soluções econômicas com seu algoritmo, o autor selecionou três tabuleiros e comparou os custos entre a solução executada e a ótima. Nesse caso, as economias obtidas variaram de 2,57% a 13,13% em relação aos projetos originais.

O segundo trabalho nacional foi desenvolvido por Cortes (2010) na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este trabalho, assim como Olivieri (2004), propôs uma metodologia para otimização em relação a custo de tabuleiros de pontes de múltiplas longarinas, pré-moldadas e pré-tensionadas pelo método do algoritmo genético. Os graus de liberdade do processo de otimização de Cortes (2010) foram os mesmos de Olivieri (2004) com a adição de: espaçamento entre longarinas; altura e espessura da alma da longarina.

Cortes (2010) apresentou estudo de caso onde aplicou sua metodologia para otimizar três tabuleiros já executados com características similares e obteve redução no custo dos projetos originais que variaram de 13,6% a 26,8%. O autor ainda recomenda que para trabalhos futuros se desenvolvam trabalhos para longarinas pós-tracionadas e ainda procedimentos de otimização multiobjetivo.

Em trabalho anterior, este autor Trentini (2016) na Universidade Estadual de Maringá desenvolveu uma metodologia para otimização em relação a custo de seções transversais de tabuleiros de múltiplas longarinas com seção transversal I pré-moldadas e pós-tensionadas em *MATLAB*. A rotina desenvolvida permite a otimização, por meio de força bruta, com cinco graus de liberdade, sendo eles: número de longarinas; altura da longarina; comprimento do enrijecimento da alma da longarina e resistência característica do concreto. As principais contribuições deste trabalho foram a incorporação do cálculo dos esforços de maneira automática, a utilização de concreto com resistência até 90 MPa e a utilização de pós-tensão com cabos parabólicos. O autor, no intuito de aferir a possível economia com o processo de otimização, utilizou para comparação um tabuleiro hipotético com pré-projeto concebido de maneira tradicional, e o comparou com um tabuleiro otimizado pela rotina desenvolvida, com isso obteve uma economia de 16,42% no custo do tabuleiro.

MÉTODO

Este projeto propõe uma metodologia para projeto automatizado de viadutos como um todo (supra meso e infraestrutura), considerando critérios custo, sustentabilidade e durabilidade, fornecendo assim vários conjuntos de soluções de múltiplos compromissos de alto desempenho. O tipo de estrutura estudada será de longarinas I, pós-tensionadas e pré-moldadas, vigas travessas retangulares, pilares circulares e fundação profunda do tipo tubulão.

Propõem-se desenvolver metodologia para cálculo dos esforços por análise matricial, utilizando o processo de Fauchart e considerando a iteração solo estrutura em um modelo integrado tridimensional.

É proposto ainda o desenvolvimento de metodologia para dimensionamento dos elementos considerando a não linearidade física dos materiais e a não continuidade de deformações na interface do conjunto longarina-laje, devida as duas etapas de concretagem.

Existem diversos métodos de otimização metaheurísticos: otimização de colônia de formigas, pesquisa de dispersão, recozimento simulado, procura harmônica, otimização de enxame de partículas, entre outros. Dentre os algoritmos mais populares, serão pré-selecionados cinco considerados viáveis a análise do problema em questão e então serão realizadas comparações a fim de testar a qualidade das soluções e o tempo de processamento.

RESULTADOS

Posteriormente serão selecionados viadutos existentes que se enquadram na descrição do problema de otimização aqui descrito. Em sequência as configurações geométricas destes tais viadutos serão levantadas. De posse destas configurações geométricas estes viadutos terão seus custos, tempo de vida útil e quantidade emissões calculados pela metodologia aqui descrita. Então a rotina de otimização será executada e os valores ótimos serão comparados com os executados afim de se aferir a efetividade da metodologia proposta.

REFERÊNCIAS

ELLER, R. A. G.; SOUSA JUNIOR, W. C.; Curi, M. L. C. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário. *Journal of Transport Literature*, v. 5, n. 1, p. 50-64, jan. 2011.

AHSAN R.; RANA S.; GHANI S. N. Cost Optimum Design of Posttensioned I-Girder Bridge Using Global Optimization Algorithm. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 138: 273–284. 2012.

GARCÍA SEGURA, T. Efficient design of post-tensioned concrete box-girder road bridges based on sustainable multi-objective criteria. 197 f. Tese de D. Sc – Universitat Politècnica de València, Valencia, Espanha, 2016.

DAL MOLIN, D. C. Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de lata resistência com e sem adição de sílica ativa. São Paulo. 286 f. Tese de D. Sc. – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1995.

AFGC. Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes – Interim Recommendations. Association Francaise de Génie Civil. 2002.

PERRY, V. H.; PARSEKIAN, G. A.; SHRIVE, N. G. Inovação em estruturas com concreto de ultra-alto desempenho na América do Norte. *Concreto & Construções*, São Paulo, n. 87, p. 50-56, jul./set. 2017.

NGO, T. Application of UHPC in Long Span Bridge Design. 167 f. Dissertação de M. Sc. - Delft University of Technology, Delft, Holanda, 2016.

COHN, M. Z.; DINOVTZER, A. S. Application of structural optimization. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 120(2): 617–650. 1994.

HASSANAIN, M. A.; LOOV, R. E. Cost optimization of concrete bridge infrastructure. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30: 841-849. 2003.

TORRES, G. G. B.; Brotchie, J. F.; Cornell, C. A. A program for the optimum design of prestressed concrete highway bridges. *PCI Journal*, 11(3): 63–71, 1965.

OLIVIERI, B. P. Otimização do projeto de pontes protendidas pré-moldadas pelo método dos algoritmos genéticos. 145 f. Dissertação de M. Sc. - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

CORTÊS, C. F. M. Otimização do projeto da superestrutura de pontes pré-fabricadas pelo método dos algoritmos genéticos, Tese de Dr. Sc. - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

TRENTINI, E. V. W. Otimização de seções de viadutos e pontes de múltiplas longarinas pré-moldadas e protendidas. Dissertação de M. Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2016.

COMPORTAMENTO DE VIGAS MISTAS CELULARES FORMADAS POR PERFIS I DUPLAMENTE SIMÉTRICOS E LAJES ALVEOLARES PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

BEHAVIOR OF COMPOSITE CELLULAR BEAMS FORMED BY DOUBLE-SYMMETRICAL STEEL I-PROFILES AND PRECAST CONCRETE HOLLOW CORE SLABS

Discente: Felipe Piana Vendramell Ferreira, Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil

Orientador(a)/Co-orientador(a): Profa.Dra. Silvana De Nardin/Prof. Dr. Carlos Humberto Martins

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Os estudos estrangeiros têm contemplado a investigação de modos de falha e comportamento à flexão em vigas celulares mistas constituídas, usualmente, por lajes mistas de aço e concreto. As vigas celulares mistas são pouco estudadas no Brasil e os estudos já realizados se restringiram à modelagem numérica. O presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento de vigas celulares mistas formadas por perfis de aço com aberturas na alma e lajes pré-fabricadas de concreto submetidas à flexão em quatro pontos. Será avaliado a viabilidade estrutural desse elemento estrutural, os mecanismos de transferência de forças com ênfase no comportamento dos conectores de cisalhamento e nos modos de falha. Espera-se fornecer subsídios para avaliar a viabilidade, em termos de comportamento estrutural, da viga celular mista com laje alveolar pré-fabricada, a partir da avaliação do seu comportamento a flexão. Espera-se também contribuir para ampliar o grau de industrialização da construção civil brasileira.

Palavras-Chave: Vigas celulares mistas; Lajes Alveolares; Conectores de cisalhamento; Análise numérica.

ABSTRACT

International studies have contemplated the investigation of failure modes and flexural behavior in composite cellular beams constituted by steel-concrete composite slabs. Composite cellular beams are little studied in Brazil, and the studies already done were restricted to numerical modeling. The present study aims to evaluate the behavior of composite cellular beams, which are formed by double-symmetrical steel I-profiles and precast concrete hollow core slabs, subjected to two points loads symmetrically spaced. The structural viability of this structural element, the force transfer mechanisms with emphasis on shear connector behavior and failure modes will be evaluated. It is expected to provide subsidies to evaluate the viability, in terms of structural behavior, of the composite cellular beam with precast concrete hollow core slabs, from the evaluation of its flexural behavior. It is also expected to contribute to increase the degree of industrialization of Brazilian civil construction.

Keywords: Composite cellular beams; Hollow core slabs; Shear connector; Numerical analysis.

INTRODUÇÃO

No sentido de reduzir o consumo de aço e concreto surgem os perfis celulares e as lajes alveolares pré-fabricadas de concreto. Contudo, não é uma associação que vem sendo investigada pela comunidade científica. Além disso, em comparação com outros elementos mistos, a utilização de vigas celulares mistas tem sido limitada em muitos países pela falta de especificações de projeto e procedimentos práticos de análises (CHEN; LIMAZIE; TAN, 2015). As pesquisas desenvolvidas no Brasil voltadas para as vigas mistas com aberturas na alma se restringiram à modelagem numérica. Em nível internacional, embora as vigas celulares mistas venham sendo mais amplamente estudadas, não há registro de estudos envolvendo esse tipo de viga mista com

a utilização de lajes alveolares pré-fabricadas de concreto sobre a mesa superior.

O objetivo geral é avaliar o comportamento de vigas celulares mistas submetidas à flexão, formadas por perfis de aço duplamente simétricos e lajes alveolares pré-fabricadas de concreto.

REVISÃO DE LITERATURA

Em Granade (1968), foram realizados ensaios experimentais em vigas mistas com abertura retangular na alma formadas por lajes maciças. Todd e Cooper (1980) negligenciaram a contribuição da laje na resistência ao cisalhamento para estimarem a capacidade resistente de vigas mistas. Nesse mesmo cenário, Donoghue (1982) sugeriu a utilização de reforços para contribuírem na resistência ao cisalhamento. Posteriormente, Clawson e Darwin (1982) observaram a influência da laje na resistência ao cisalhamento. Cho (1982) sustentou o trabalho anterior, verificando tal contribuição. Clawson e Darwin (1982b) propuseram um método para estimar a resistência desse elemento estrutural sem a utilização de reforço, considerando a contribuição da laje de concreto na resistência ao cisalhamento. Em Gizejowski e Khalil (2010) foi verificada a influência da distorção da alma em vigas celulares mistas.

Sobre as vigas mistas com aberturas na alma formadas por lajes nervuradas, em Redwood e Wong (1982) foi avaliado o parâmetro momento-cortante. Redwood e Poubouras (1983) W18 × 45 and W18 × 46 sections were used. Opening sizes were fixed, with depths equal to 60 percent of the steel beam depth and lengths equal to twice the opening depth. Concrete slab dimensions were held constant. Opening locations were varied to investigate moment-shear ratios ranging from 3 to 33 feet (0.9 to 10 m) investigaram a necessidade de conectores no comprimento de abertura. Posteriormente, Redwood e Poubouras (1984) apresentaram um método para o cálculo da resistência, considerando o aumento das tensões de compressão devido ao efeito do deslizamento causado pela deformação dos conectores de cisalhamento. Redwood e Cho (1993) apresentaram um método de cálculo simplificado, considerando vigas mistas com aberturas na alma reforçadas. Donahey e Darwin (1988) observaram a disposição da laje nervurada em relação ao perfil de aço. Complementando esse trabalho, Darwin e Donahey (1988) determinaram a resistência de vigas mistas com aberturas na alma, sem a utilização do reforço. Chung e Lawson (2001) apresentaram procedimentos de projeto de vigas mistas com aberturas para a aplicação no EN 1994-1-1 (2004). Benitez, Darwin e Donahey (1998) e Djebli, Kerdal e Abidelah (2019) descreveram procedimentos para a determinação da máxima deflexão em vigas mistas com aberturas na alma. Em Lawson, Chung e Price (1992) comprising one control composite beam (i.e. without opening) foi observado a influência de enrijecedores longitudinais na ação de flexão global e local, transferência de cisalhamento por meio da laje de concreto, resistência à formação do mecanismo Vierendeel e o aumento de deflexões decorrentes das aberturas. Cho e Redwood (1992) apresentaram uma metodologia capaz de estimar a resistência de vigas mistas com aberturas na alma. Posteriormente, em Cho e Redwood (1992b) verificaram o método de cálculo utilizando a analogia a treliça em que os conectores de cisalhamento são considerados elementos tracionados.

Nos últimos anos, a viga celular mista de aço-concreto assimétrica tem sido amplamente utilizada na construção. Hechler, Müller e Sedlacek (2006) realizaram ensaios experimentais em vigas mistas celulares com seção de dupla simetria e assimétrica. Em Nadjai (2005) foi observado que a capacidade resistente foi definida pela flambagem no montante da alma. Sheehan et al. (2016) combining the composite action between the steel and concrete with the increased section depth, compared with more commonly used solid-web I sections. Openings in the steel web also reduce the self-weight and can accommodate the passage of service ducts. Eurocode 4 recommends a high degree of shear connection for asymmetric composite beams despite the practical difficulties in achieving this. Recent research suggests that the required degree of shear connection could be reduced, particularly for beams that are unpropped during construction. However, little test data exists to verify the behaviour of unpropped composite cellular beams. Therefore two series of tests were conducted on a 5.26m long asymmetric composite cellular beam with regular circular openings and an elongated opening at the mid-span. The degree of shear connection was 36%, less than half of that recommended in Eurocode 4, and the beam was unpropped during construction. The beam was subjected to uniformly distributed loading and shear load during the tests. The end-slip, mid-span vertical deflection, shear connector capacity and strain distribution were examined. The beam failed at an applied uniform load of 17.2 kN/m² (3.4 design working load 5.0 kN/m²) investigaram o efeito da construção não escorada em vigas celulares mistas de grandes vãos.

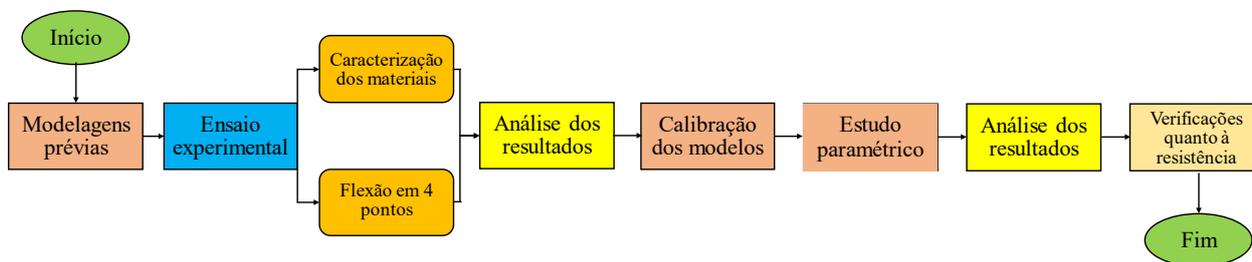
cle":"","parse-names":false,"suffix":"","dropping-particle":"","family":"Nethercot","given":"D. A.,"non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":"","container-title":"Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings","id":"ITEM-4","issue":"2","issued":{"date-parts":[["2000"]]},"page":"127-138","title":"Experiments on composite steel beams with precast concrete hollow core floor slabs","type":"article-journal","volume":"140"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=7cea17d-3-278a-469f-bc2c-06806835e3de"],"id":"ITEM-5","itemData":{"DOI":"10.1016/S0143-974X(99. Em 2003, o *Steel Construction Institute* (SCI) publica um manual contendo critérios de projeto para vigas mistas com lajes pré-fabricadas de concreto (HICKS; LAWSON, 2003).

No Brasil, o estudo de Araújo et al. (2016) which is usually achieved by means of shear connectors. In this case, the joint behaviour of the two materials depends on the strength and stiffness of the interface connector. Headed stud connectors for solid concrete slabs are the most common solution to achieve the composite behaviour. However, there is little information on shear connectors associated with precast concrete hollow-core slabs. This study aims to determine, through push-out tests, the shear strength of headed stud connectors associated with precast hollow-core slabs with a structural concrete topping. The analysed hollow-core slabs have two different heights and a minimum structural concrete topping of 40. mm. The strength of the in situ concrete infill joints and the rate of transverse reinforcement were varied in the present study. The results were compared to code prescriptions, and a proposition to modify an existing design equation for the ultimate shear capacity of headed studs in composite precast hollow-core slab beams is presented, focusing on the influence of the structural concrete topping."author":[{"dropping-particle":"","family":"Araújo","given":"D. L.,"non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":"","dropping-particle":"","family":"Sales","given":"M. W. R.,"non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":"","dropping-particle":"","family":"Paulo","given":"S. M.,"non-dropping-particle":"","parse-names":false,"suffix":"","dropping-particle":"","family":"Debs","given":"A. L. H. C.,"non-dropping-particle":"El","parse-names":false,"suffix":"","container-title":"Engineering Structures","id":"ITEM-1","issued":{"date-parts":[["2016"]]},"page":"135-150","title":"Headed steel stud connectors for composite steel beams with precast hollow-core slabs with structural topping","type":"article-journal","volume":"107"},"uris":["http://www.mendeley.com/documents/?uid=214ac6b2-5c1c-4dce-9a5a-556900185254"],"mendeley":{"formattedCitation":"(ARAÚJO et al., 2016 é nacionalmente pioneiro no estudo das vigas mistas com lajes alveolares pré-fabricadas de concreto. Os autores realizaram ensaios de cisalhamento direto para avaliar o comportamento de conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça em vigas mistas com lajes de concreto alveolares pré-fabricadas em função da capa de concreto.

MÉTODO

A **Figura 1** ilustra o fluxograma para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma para a aplicação da metodologia



CONSIDERAÇÕES GERAIS

Espera-se com a presente pesquisa fornecer subsídios para avaliar a viabilidade, em termos de comportamento estrutural, da viga celular mista com laje alveolar pré-fabricada, a partir da avaliação do seu comportamento a flexão. Espera-se também contribuir para ampliar o grau de industrialização da construção civil brasileira.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº2018/22803-1, pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. L. et al. Headed steel stud connectors for composite steel beams with precast hollow-core slabs with structural topping. **Engineering Structures**, v. 107, p. 135–150, 2016.
- BADKE-NETO, A.; CALENZANI, A. F. G.; FERREIRA, W. G. Estudo de metodologias para o dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto com perfil celular. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 6, p. 843–859, 2015.
- BENITEZ, M. A.; DARWIN, D.; DONAHEY, R. C. Deflections of Composite Beams with Web Openings. **Journal of Structural Engineering**, v. 124, n. 10, p. 1139–1147, out. 1998.
- BRINKHUS, R. N. **Análise de vigas casteladas e vigas casteladas mistas**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- CHEN, S.; LIMAIE, T.; TAN, J. Flexural behavior of shallow cellular composite floor beams with innovative shear connections. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 106, p. 329–346, 2015.
- CHO, S. H. **An investigation on the strength of composite beams with web openings**. 1982. M.Sc. thesis. Hanyang University, 1982.
- CHO, S. H.; REDWOOD, R. G. Slab behavior in composite beams at openings. I: analysis. **Journal of Structural Engineering**, v. 118, n. 9, p. 2287–2303, 1992a.
- CHO, S. H.; REDWOOD, R. G. Slab behavior in composite beams at openings. II: tests and verification. **Journal of Structural Engineering**, v. 118, n. 9, p. 2304–2322, 1992b.
- CHUNG, K. F.; LAWSON, R. M. Simplified design of composite beams with large web openings to Eurocode 4. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 57, n. 2, p. 135–164, 2001.
- CLAWSON, W. C.; DARWIN, D. Tests of composite beams with web openings. **ASCE Journal of the Structural Division**, v. 108, n. ST1, p. 145–162, 1982a.
- CLAWSON, W. C.; DARWIN, D. Strength of composite beams at web openings. **ASCE Journal of the Structural Division**, v. 108, n. ST3, p. 623–641, 1982b.
- DARWIN, D.; DONAHEY, R. C. LRFD for Composite Beams with Unreinforced Web Openings. **Journal of Structural Engineering**, v. 114, n. 3, p. 535–552, mar. 1988.
- DJEBLI, B.; KERDAL, D. E.; ABIDELAH, A. Additional and total deflection of composite symmetric cellular beams. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 158, p. 99–106, 2019.
- DONAHEY, R. C.; DARWIN, D. Web openings in composite beams with ribbed slabs. **Journal of Structural Engineering**, v. 114, n. 3, p. 518–534, mar. 1988.
- DONOGHUE, C. M. Strength of composite beams with web openings. **ASCE Journal of the Structural Division**, v. 108, n. ST12, p. 2652–2667, 1982.
- ELLOBODY, E.; LAM, D. Modelling of headed stud in steel-precast composite beams. **Steel and Composite Structures**, v. 2, n. 5, p. 355–378, 25 out. 2002.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1994-1-1: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules for buildings. Bruxelas, Bélgica, 2004.
- FAHMY, E. H. Analysis of composite beams with rectangular web openings. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 37, n. 1, p. 47–62, mar. 1996.

- FERRARI, G. A. **Simulação numérica do comportamento estrutural de vigas alveolares mistas de aço e concreto**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2013.
- GIZEJOWSKI, M. A.; KHALIL, W. A. S. Stability and ductility of castellated composite beams subjected to hogging bending. (E. Batista, P. Vellasco, L. de Lima, Eds.) SDSS'Rio 2010 STABILITY AND DUCTILITY OF STEEL STRUCTURES. Anais...Rio de Janeiro: 2010
- GONÇALVES, A. B. **Modelo analítico para o dimensionamento de vigas alveolares mistas de aço e concreto**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- GRANADE, C. J. **An investigation of composite beams having large rectangular openings in their webs**. 1968. Partial M.Sc. thesis. University of Alabama, 1968.
- HECHLER, O.; MÜLLER, C.; SEDLACEK, G. Investigations on beams with multiple regular web openings. s.n.
- HICKS, S. J.; LAWSON, R. M. Design of composite beams using precast concrete slabs. The Steel Construction Institute, 2003.
- LAM, D. **Composite steel beams using precast concrete hollow core floor slabs**. 1998. Ph.D. thesis. University of Nottingham, 1998.
- LAM, D. Designing composite beams with precast hollowcore slabs to Eurocode 4. **Advanced Steel Construction**, v. 3, n. 2, p. 594–606, 2007a.
- LAM, D. Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollowcore slabs. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 63, n. 9, p. 1160–1174, set. 2007b.
- LAM, D.; ELLIOTT, K. S.; NETHERCOT, D. A. Experiments on composite steel beams with precast concrete hollow core floor slabs. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings, v. 140, n. 2, p. 127–138, 2000a.
- LAM, D.; ELLIOTT, K. S.; NETHERCOT, D. A. Parametric study on composite steel beams with precast concrete hollow core floor slabs. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 54, n. 2, p. 283–304, 2000b.
- LAWSON, R. M.; CHUNG, K. F.; PRICE, A. M. Tests on composite beams with large web openings to justify existing design methods. **The Structural Engineer**, v. 70, n. 1, p. 1–7, 1992.
- NADJAI, A. **Performance of cellular composite floor beams at ambient temperature**. Ulster University, 2005.
- PIASSI, A. D. et al. Lateral distortional buckling of cellular composite-beams. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 2, p. 331–356, 2018.
- REDWOOD, R.; CHO, S. H. Design of steel and composite beams with web openings. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 25, n. 1–2, p. 23–41, jan. 1993.
- REDWOOD, R. G.; POUMBOURAS, G. Tests of composite beams with web holes. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 10, n. 4, p. 713–721, dez. 1983.
- REDWOOD, R. G.; POURNBORAS, G. Analysis of Composite Beams with Web Openings. **Journal of Structural Engineering**, v. 110, n. 9, p. 1949–1958, set. 1984.
- REDWOOD, R. G.; WONG, P. K. **Web holes in composite beams with steel deck**, 1982.
- SHEEHAN, T. et al. Experimental study on long spanning composite cellular beam under flexure and shear. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 116, p. 40–54, 2016.
- TODD, D. M.; COOPER, P. B. Strength of composite beams with web openings. **ASCE Journal of the Structural Division**, v. 106, n. ST2, p. 431–444, 1980.
- VERÍSSIMO, G. ; FAKURY, R. . Design of steel and composite beams with web openings. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 46, n. 1–3, p. 207, abr. 1998.

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE ADERÊNCIA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM BAIXO CONSUMO DE CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

Contribution to the study of bond and mechanical properties of steel fiber reinforced self-compacting concrete with low cement consumption

Discente: Izabella Sant'Ana Storch, Mestre em Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Artur Lenz Sartorti

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Utilizar concreto autoadensável com baixo consumo de cimento busca maior sustentabilidade no setor construtivo. Introduzir fibras de aço a esse concreto pode melhorar algumas características como resistência à fissuração, tenacidade, à fadiga e ao impacto. O objetivo da pesquisa é estudar a aderência entre barras de aço e concreto com baixo consumo de cimento reforçado com fibras. Para tanto, será dosado nove concretos variando a quantidade de cimento e de fibras de aço. Serão realizados ensaios para avaliação no estado fresco e endurecido, incluindo dois tipos de ensaios de arrancamento para compará-los, além de ensaios de microscopia. Com o início da fase experimental, conclui-se que há necessidade de avaliar a utilização de outro tipo de cimento para alcançar a classe de resistência de 70 MPa. Observou-se que a introdução de fibras na matriz do concreto limita a redução do consumo de cimento.

Palavras-Chave: Aderência; Concreto autoadensável; Baixo consumo de cimento; Fibras de aço; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Using self-compacting concrete with low cement consumption search for greater sustainability in the construction sector. Introducing steel fibers to this concrete can improve some characteristics such as crack resistance, tenacity, fatigue and impact resistance. The objective of this research is to study the bond between steel bars and steel reinforced concrete with low cement consumption. For this purpose, nine concretes will be dosed, varying the amount of cement and steel fibers. Fresh and hardened tests will be performed, including two types of pull-out tests to compare them, then will be subjected to microscopy tests. With the beginning of the experimental program, it is concluded that there is a need to evaluate the use of another type of cement to reach the resistance class of 70 MPa. It was observed that the introduction of fibers in the concrete limits the reduction of cement consumption.

Keywords: Bond; Self-compacting concrete; Low cement consumption; Steel fiber; Sustainability.

INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado pelo setor construtivo. A produção de cimento para a fabricação desse grande volume de concreto empregado é o principal responsável pela emissão de CO₂ da indústria cimenteira, cerca de 90%. Para cada tonelada de clínquer produzido, uma tonelada de CO₂ é emitido (MEHTA E MONTEIRO, 2014). O concreto autoadensável com baixo consumo de cimento (CAABCC) visa reduzir o consumo de materiais ligantes, essa redução acontece por menor conteúdo de pasta na dosagem do concreto, Storch (2018) concluiu que é possível reduzir até 25% de cimento e alcançar mesmas características mecânicas principais que um concreto dosado com quantidade de cimento comumente utilizada.

O uso de fibras na produção do concreto autoadensável (CAA) resulta em concreto de alta performance, pois apresenta as características do CAA em seu estado fresco, e as propriedades mecânicas melhoradas pela adição das fibras (SHAH e FERRARA, 2008).

O objetivo dessa pesquisa é estudar o comportamento da aderência entre barras de aço e o CAABCC reforçado com fibras, bem como comparar dois métodos de ensaios de aderência que envolvem o arrancamento de barra de aço.

Esse trabalho faz parte de uma linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida sobre concreto autoadensável sustentável, o CAABCC tem sido estudado e verificou-se ser possível produzir esse tipo de concreto com mesmas características mecânicas principais que o CAA de consumo de cimento de referência (STORCH, 2018). Mehta e Monteiro (2014) indicam que para melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência, resistência à fadiga ao impacto justifica-se a utilização de fibras na dosagem do concreto. Assim sendo, a importância desse trabalho apresenta-se em agregar conhecimento sobre CAABCC reforçado com fibras de aço, mantendo suas propriedades no estado fresco de alta fluidez e auto compactação, além de verificar a influência dessa junção de CAABCC com fibras aço em termos de aderência desse material com a barra de aço.

REVISÃO

Se tratando da temática de CAA com baixo consumo de cimento, de acordo com o levantamento bibliográfico realizado, observa-se que apesar das pesquisas focarem na retirada de parte do cimento da mistura do concreto, incorpora-se grande volume de adições minerais reativas para complementar a dosagem, portanto, não ocorre redução efetiva de uso de materiais cimentícios, ocorre apenas substituição deles. Porém, a proposta de Storch (2018) e desta pesquisa é reduzir o consumo de cimento sem substituí-lo por outros materiais, focando na eficiência de sua utilização, e na melhora do empacotamento dos agregados. Yazici (2008) foi o autor que apresentou menor consumo relativo de cimento ($3,3 \text{ kg.m}^{-1}.\text{Mpa}^{-1}$) de acordo com o levantamento realizado, porém, o consumo relativo de ligantes foi de $11 \text{ kg.m}^{-1}.\text{Mpa}^{-1}$, Storch (2018) alcançou consumo relativo de cimento em torno de $4,4 \text{ kg.m}^{-1}.\text{Mpa}^{-1}$, e consumo relativo de ligantes em torno de $4,9 \text{ kg.m}^{-1}.\text{Mpa}^{-1}$.

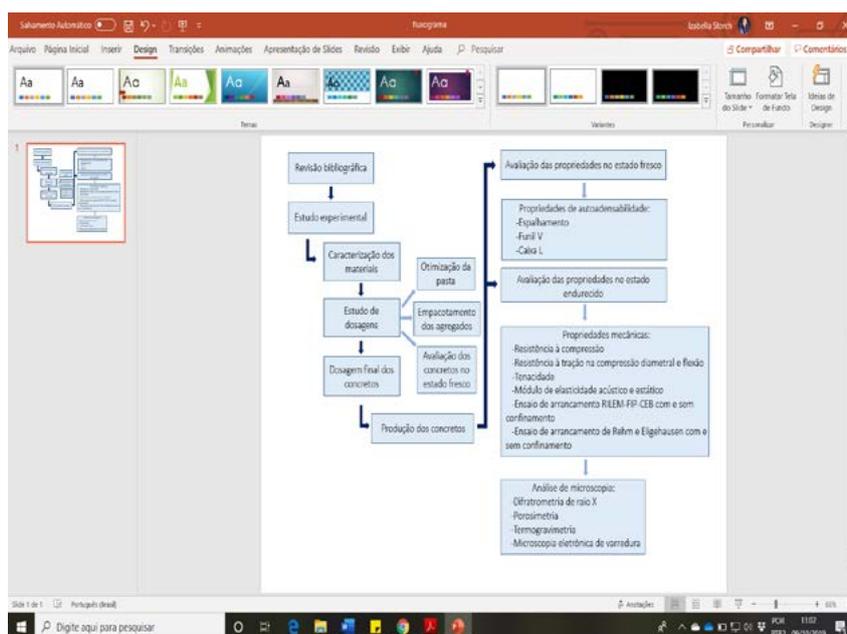
CAABCC reforçado com fibras não é um tema comumente pesquisado de acordo com um levantamento de artigos publicado nos últimos cinco anos. No entanto, dentre essas pesquisas, levantou-se o consumo relativo de cimento que variou entre $4,16$ e $14,13 \text{ kg.m}^{-1}.\text{Mpa}^{-1}$, e o consumo relativo de ligantes que variou entre $4,63$ e $14,95$, indica-se que em alguns artigos não foi possível levantar esses índices. O trabalho que apresentou os menores índices foi o de Akcay e Tasdemir (2018), ressalta-se que foi o único trabalho que apresentou resultados para esses índices de consumo abaixo do esperado para essa pesquisa em andamento. Os pesquisadores avaliaram a substituição do cimento por metacaulim ou sílica ativa, aplicaram fibra de aço de 30 mm de comprimento, e volume de adição de 1%, realizaram ensaios de tração na flexão, módulo de elasticidade e resistência à compressão. Observa-se portanto, que a temática indicada nessa pesquisa é relevante pois está entre os temas levantados para os últimos anos, e também apresenta-se como uma pesquisa pioneira em termos de estudo de aderência com o tipo de concreto indicado.

MATERIAIS E MÉTODO

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP IV 32RS, sílica ativa, fíler calcário, superplastificante, agregado miúdo natural, agregado graúdo natural e fibra de aço de 30 mm de comprimento. Optou-se por materiais próprios da região da cidade de Engenheiro Coelho/SP.

Para realizar a fase experimental, será utilizado o Laboratório de Estruturas e Materiais do UNASP-EC, o programa experimental está indicado na Figura 1.

Figura 7 – Fluxograma com resumo da metodologia a ser utilizada nessa pesquisa



Fonte: Autora (2019)

RESULTADOS

A dosagem dos concretos que serão estudados nessa pesquisa foi realizada pelo método de Gomes (2002), essa metodologia se divide em três: estudo de pasta, do esqueleto granular e rodagem teste dos concretos. Essa metodologia já foi aplicada em pesquisa anterior (STORCH, 2018), é pretendido alcançar a mesma classe de resistência de 70 MPa aos 28 dias.

O teor ótimo de superplastificante (1,98%) foi determinado com ensaio de funil Marsh. Foi realizado ensaio de empacotamento dos agregados, o melhor resultado obtido foi com a composição de 60% de brita e 40% de areia que apresentou a maior massa unitária de 1,955 kg/l e o menor índice de vazios de 28,02%. Para determinar as dosagens dos concretos finais foram realizados alguns testes, um resumo do consumo de materiais e dos resultados dos ensaios no estado fresco são apresentados na Tabela 1, e dos ensaios pilotos no estado endurecido estão apresentados na Tabela 3 e ocorreram aos 28 dias.

Tabela 1 – Consumo para 1 m³ dos materiais dos concretos de teste e resultados dos ensaios de estado fresco

Material	CAAR	CAAR-0,3FA	CAAR-0,5FA	CAAR-0,8FA	CAAR-1,0FA	CAAR-1,2FA	CAABCC1-0,5FA	CAABCC1-1,0FA	
Cimento (kg)	430,47	430,47	430,47	430,47	430,47	430,47	376,64	376,64	
Fíler calcário (kg)	172,19	172,19	172,19	172,19	172,19	172,19	150,66	150,66	
Sílica ativa (kg)	43,05	43,05	43,05	43,05	43,05	43,05	37,66	37,66	
Agregado miúdo (kg)	654,34	654,34	654,34	654,34	654,34	654,34	708,86	708,86	
Agregado graúdo (kg)	981,50	981,50	981,50	981,50	981,50	981,50	1063,30	1063,30	
SP/C (%)	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,5	3,5	
Água (kg)	172,19	172,19	172,19	172,19	172,19	172,19	150,66	150,66	
Água ab. do AG (1,89%) (kg)	18,55	18,55	18,55	18,55	18,55	18,55	20,10	20,10	
Água ab. do AM (0,59%) (kg)	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	4,18	4,18	
Volume de pasta (%)	40	40	40	40	40	40	35	35	
Fibra de aço (kg)	0,0	23,55	39,25	62,8	78,5	94,2	39,25	78,5	
Ensaio	Limites								
Espalha. (mm)	660 a 750	785,0	717,5	732,5	755,00	795,0	775,0	732,5	765,0

T_{50} (s)	>2	2"31	3"90	4"10	4"25	4"59	5"19	"	7"57
Caixa-L H_2/H_1	$\geq 0,80$	0,95	-	-	-	-	-	-	-
T_{20} (s)	-	2"20	-	-	-	-	-	-	-
T_{40} (s)	-	4"15	-	-	-	-	-	-	-
Funil-V (s)	9 a 25	7"67	8"81	8"94	9"48	10"16	10"16	17"68	10"62

Em relação ao CAAR, o CAABCC1 tem 12,50% menor volume de cimento. Após a fase piloto para determinação das dosagens finais, concluiu-se que a redução do volume de pasta no concreto é um fator que delimita a quantidade de fibra de aço que pode ser adicionado ao CAA sem que perca suas características no estado fresco. Com os resultados obtidos no estado fresco, indica-se que os teores de fibra de aço a serem adicionados aos concretos será de 0,5 e 0,8% (39,25 e 62,8 kg/m³). Indica-se realizar produção de outros concretos com teores de volume de pasta abaixo de 35% para obter a segunda dosagem de CAABCC necessária para compor as dosagens finais para essa pesquisa.

Tabela 2 – Resumo das propriedades físicas e mecânicas avaliadas nos ensaios pilotos da dosagem dos concretos

Concreto	Massa específica (kg/m ³)	f_{cm} (MPa)	f_{tm} (MPa)	Mód. de elastic. (GPa)
CAAR	2464,64	51,37	5,97	46,52
CAAR-0,3FA	2461,53	54,88	5,75	45,67
CAAR-0,5FA	2485,51	52,63	6,16	45,78
CAAR-0,8FA	2500,46	59,68	6,83	47,42
CAAR-1,0FA	2511,50	54,33	5,97	45,46
CAAR-1,2FA	2518,28	55,72	7,46	45,44
CAABCC1-0,5FA	2549,00	48,02	5,41	48,06
CAABCC1-1,0FA	2550,66	51,46	7,40	47,87

Na Tabela 2 observa-se ligeiro aumento da massa específica com o aumento do consumo de fibras de aço no concreto. A resistência à compressão dos concretos não apresentou a classe de resistência esperada, isso pode ser explicado pela mudança do tipo de cimento empregado, em Storch (2018) foi o CP II Z-32, esses resultados afetaram os índices de consumo de cimento, que para o CAABCC foi de 7,81 kg.m⁻³.MPa⁻¹, indica-se portanto, avaliar se a utilização do mesmo tipo de cimento que em Storch (2018) baixará esse índice. A respeito da resistência à tração por compressão diametral, em geral, quanto maior o consumo de fibras de aço maiores resultados, esse feito não ocorreu apenas para a dosagem CAAR-1,0FA, que pode ser explicado por alguma variação no teor de fibras de aço nos corpos de prova. O módulo de elasticidade acústico não apresentou grandes variações entre os concretos dosados, tanto para teores diferentes de fibra de aço, quanto para teor diferente de consumo de cimento.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A pesquisa desenvolvida até o momento compreende a revisão bibliográfica, caracterização dos materiais, e produção de concretos testes, avaliando suas propriedades no estado fresco e endurecido. Observa-se que a alteração do tipo de cimento pode ter resultado em queda na classe de resistência dos concretos produzidos, a classe de resistência almejada é de 70 MPa. Conclui-se também que a redução do consumo de cimento é limitada pelo volume de fibra de aço adicionado.

REFERÊNCIAS

AKCAY, B; TASDEMIR, M. L. Performance evaluation of silica fume and metakaolin with identical finenesses in self compacting and fiber reinforced concretes. **Construction and Building Materials**, 185, p. 436-444, set. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

YAZICI, H. 2008. The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze thaw resistance of self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**. 22, 456e462.

SHAH, S.P. FERRARA, L.; Self consolidating fiber reinforced concrete. In R. Gettu, editor, Sevnth. Intl. **RILEM Symposium on Fiber Reinforced Concrete: Design and Applications**, 2008, pp. 641-659. Chennai, India.

STORCH, I. S. **Estudo sobre aderência entre barras de aço e concreto autoadensável com baixo consumo de cimento**. 2018. 170 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

LEGISLAÇÃO DE COMBATE A INCÊNDIO EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: CENÁRIO NACIONAL E INTERNACIONAL

Fire legislation on wood structures: national and international scenery

Discente: Julia Naves Teixeira, Bacharel em Engenharia Civil, Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Chritoforo

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Com a atualização da norma 7190 (ABNT 2012) sobre uso da madeira na construção civil e seus parâmetros, tem-se atualmente normatizado os padrões de prevenção e combate a incêndio em estruturas de madeira, tal ação apresenta diversas vantagens quanto ao incentivo ao uso do material. A presente pesquisa tem como intuito apresentar uma breve revisão a cerca do cenário nacional e internacional de normatizações sobre combate a incêndio em estruturas de madeira afim de alinhar o conhecimento dos profissionais da área quanto ao emprego do material na construção civil. Nas considerações finais da pesquisa tem-se que a norma 7190 (ABNT 2012), fundamentada por normas internacionais, que até então eram mais estruturadas, atende aos detalhamentos de prevenção e combate a incêndios em estruturas de madeira e que órgãos federais asseguram por legislação o cumprimento das diretrizes da norma para alvará de uso das edificações.

Palavras-Chave: Madeira; incêndio; estruturas; leis.

ABSTRACT

With the updating of the 7190 (ABNT 2012) standard on the use of wood in civil construction and its parameters, fire standards in wood structures have been currently standardized, such action has several advantages regarding the incentive to use the material. This research aims to present a brief review about the national and international scenario of fire structure standardization in wood in order to align the knowledge of professionals in the area regarding the use of material in construction. In the final considerations of the research is that the standard 7190 (ABNT 2012), based on international standards meets the details of fires in timber structures and that federal agencies ensure by law compliance with the guidelines of the standard for use of buildings.

Keywords: Wood; fire; structures; laws.

INTRODUÇÃO

As características da madeira, de conforto térmico e estéticas distinguem-na dos demais materiais usados na construção civil. Sua qualidade como matéria-prima pode ser alterada de acordo com seu tipo de plantio considerando as modernas técnicas silviculturais empregadas (ZENID, 2009). Considerando os diversos plantios relatados a madeira é produzida por diferentes espécies de árvores, cada uma com suas características físicas e mecânicas próprias (ZENID, 2001).

Apesar da madeira apresentar características favoráveis a sua aplicação como material de construção, há pouco conhecimento dos profissionais ligados a área de construção sobre o material, o mesmo enfrenta resistência quando há seu uso em situações de risco de incêndios, porém Goulart (2011) relata que madeira é um material isolante, sendo considerado o maior comparativamente com os metais ou concreto.

Sobre resistência ao fogo, Pinheiro (2017), esclarece que peças robustas de madeira quando expostas ao fogo, formam uma camada superficial de carvão que age como uma espécie de isolante, impedindo a rápida

passagem de gases inflamáveis e a propagação de calor para o interior da seção, resultando tanto em um aquecimento quanto uma degradação do material a uma velocidade menor, assim colaborando favoravelmente para melhorar a capacidade de sustentação das cargas da edificação.

Com o intuito de proteger-se, uma série de medidas de combate ao fogo em edificações foram sendo adotadas, bem como o desenvolvimento de novos equipamentos, novas técnicas e o mais importante, novas legislações e constantes atualizações das mesmas (GOMES, 2014).

Tem-se atualmente uma enorme quantidade e variedade de normas e leis que devem ser cumpridas, tanto em nível federal como estadual e mesmo municipal, sobre os mais variados tipos de edificações, que detalham todos os equipamentos necessários, condutas no momento do incêndio, manutenção, bem como cuidados especiais já na elaboração de projetos e construção. E é nesse momento que entra a nossa contribuição para a sociedade como profissionais, quando se assume a responsabilidade de organizar todo o Projeto de Prevenção e Combate à Incêndio (PPCI), com toda a sua abrangência, buscando ao máximo prevenir qualquer incidente e, no caso do mesmo ocorrer, minimizar as perdas materiais e evitar as humanas.

Com a atualização da norma 7190 (ABNT 2012) sobre uso da madeira na construção civil e seus parâmetros, tem-se atualmente normatizado os padrões de prevenção e combate a incêndio em estruturas de madeira, tal ação apresenta diversas vantagens quanto ao incentivo ao uso do material. A presente pesquisa tem como intuito apresentar uma breve revisão a cerca do cenário nacional e internacional de normatizações sobre combate a incêndio em estruturas de madeira.

MÉTODO

Revisão bibliográfica e discussão sobre os processos de normatização e legislação de prevenção e combate a incêndio em estruturas de madeira.

RESULTADOS

No mundo inteiro, diversos governos já perceberam esses benefícios e vêm instituindo políticas públicas que estimulam o uso responsável da madeira na construção civil. Para diversas nações, construir com madeira não é nenhuma novidade principalmente em países que possuem a cultura do uso dessa matéria-prima e que dispõem de tecnologias adequadas para este fim. Mesmo países sem essa tradição mostram disposição para transformar a maneira como as cidades vêm sendo construídas.

Na província de Quebec, no Canadá, desde 2009 existe uma medida que tem o objetivo de aumentar o uso de produtos de madeira no setor não-residencial e na construção de condomínios, assim como intensificar o uso de produtos de madeira aparente. No Japão, o governo adotou várias medidas que estabelecem uma quantidade mínima do uso da madeira. Chamada de Lei "Wood First" ("madeira primeiro", em inglês) essas medidas exigem que a madeira seja considerada material de construção primário para qualquer edifício financiado pelo governo de até três andares e para qualquer edifício da iniciativa privada usado de maneira pública (RUSSO, 2017).

Juntamente com as leis de incentivo ao uso, os parâmetros construtivos em diversos países vêm sendo atualizados quanto ao emprego da madeira como material de construção, algumas normas são mantidas como referência mundial.

Os Eurocodes são vistos como o principal caminho em Códigos Estruturais. Sua flexibilidade permite a utilização não somente na Europa, mas em todo o mundo, em Portugal, por exemplo, como base de apoio aos projetos de estruturas de madeira, em situações de cálculo de estruturas contra incêndio, é utilizado o Eurocode 5 (Parte 1-2), onde são descritos os princípios, as normas e as regras para a concepção estrutural de edifícios expostos ao fogo, cujos objetivos gerais de proteção contra incêndios visam limitar os riscos em relação ao próprio indivíduo, à sociedade, à propriedade vizinha e, quando necessário, à exposição direta da propriedade, no caso de incêndio.

O Eurocode 5 aplica-se à concepção de edifícios e obras de engenharia civil em madeira maciça, lamelados colados e LVL, entre outros, preocupando-se com os requisitos de resistência mecânica, manutenção, durabilidade e resistência ao fogo das estruturas de madeira, não sendo considerados sistemas de isolamento térmico ou de isolamento acústico.

O documento apresenta aspectos específicos da proteção passiva contra incêndios em termos de concepção das estruturas, bem como regras simplificadas ou mais sofisticadas para avaliar a resistência ao fogo de uma dada estrutural.

Um processo completo de análise de segurança estrutural em caso de incêndio tem em conta o comportamento do sistema estrutural a temperaturas elevadas, exposição ao calor e ao potencial benéfico dos efeitos dos sistemas de proteção ativa contra incêndios, não esquecendo as incertezas associadas a estas três características e à importância da estrutura. Assim sendo, atualmente é possível realizar um procedimento adequado para a determinação do desempenho, que incorpora todos estes parâmetros para demonstrar que a estrutura global ou os seus componentes de forma isolada conseguem um desempenho adequado em caso de incêndio.

Para se proceder ao cálculo da capacidade resistente da madeira ao fogo, como atrás se refere, o Eurocódigo 5 (Parte 1-2) fornece um conjunto de especificações que o projeto deve respeitar, através de métodos simplificados, bem como métodos de cálculo avançado que têm como objetivo a determinação da resistência mecânica de cada elemento construtivo. No seu anexo, é fornecido um conjunto de fluxogramas com o objetivo de auxiliar a interpretação das regras e especificações incluídas no código, facilitando a tarefa do projetista na realização dos procedimentos necessários para o cálculo estrutural contra incêndios nas estruturas de madeira (EUROCODE, 2004) (ANASTÁCIO, 2010).

Todos os parâmetros descritos anteriormente foram relacionados para confecção da atualização da NBR 7190, até o ano de 2012, a norma que teve sua atualização anterior em 1997 não descrevia padrões de dimensionamento para uso de madeira estrutural em edificações em situação de incêndio.

No Brasil, pela própria definição usada pela ABNT, “norma técnica é um documento, estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para um uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.”

Esse organismo reconhecido é a própria ABNT e nessas normas técnicas entram as NBRs, que podem ser meras recomendações feitas pela ABNT com base em estudos e testes em laboratórios, bem como o conhecimento acumulado ao longo do tempo pelos profissionais em cada área, porém, quando são mencionadas pelo poder público em Decretos, Leis ou Portarias, torna-se obrigatório o seu cumprimento (GOMES, 2014).

Há um infinito número de NBRs, principalmente na área da Engenharia Civil, sendo vital sua consulta, especialmente na área de Prevenção e Combate a Incêndio, devido às constantes atualizações nas mesmas (GOMES, 2014).

Para o estudo da madeira exposta ao fogo, as propriedades térmicas e as propriedades relacionadas à resistência e à rigidez são as que mais influenciam seu desempenho. No processo de exposição a chamas a alma da seção se mantém fria a apenas uma pequena distância da zona queimada, conservando grande parte das propriedades físicas da madeira. Essas características colaboram favoravelmente para a capacidade resistente, mesmo após ter sido exposta a elevadas temperaturas.

Entende-se por dimensionamento em situação de incêndio, a verificação dos elementos estruturais e suas conexões, com ou sem revestimento contra fogo, no que se refere à capacidade resistente em temperatura elevada, a fim de evitar o colapso da estrutura em condições que prejudiquem a fuga dos usuários da edificação e, quando necessário, a aproximação e o ingresso de pessoas e equipamentos para as ações de combate ao fogo (NBR 7190/2012, p. 68)

Com a alteração da NBR 7190/2012 é disposto ainda uma alternativa, para o emprego de métodos avançados de análise termestrutural com base no Eurocode 5, parte 1.2, desde que adaptados às exigências de segurança estrutural da norma brasileira, ou resultados de ensaios realizados em laboratório nacional ou laboratório estrangeiro, de acordo com a ABNT NBR 5628 ou de acordo com norma ou especificação estrangeira.

A atualização da norma dispõe atualmente um grande volume de informação aos usuários, aumentando assim a confiança destes profissionais em empregar a madeira como matéria prima na construção.

Código de Obras é o conjunto de leis municipais que controla o uso do solo urbano. Como descrito no Código

de Obras da Cidade de Santa Maria - RS em seu Art. 2º: “este Código dispõe e é aplicado sobre o projeto arquitetônico, a execução, a reforma, a modificação, a utilização, o licenciamento e a fiscalização das edificações, construções e obras, no Município de Santa Maria”.

Dentro do Código de Obras, estão inclusos artigos detalhando procedimentos e normas a serem seguidos para elaboração de Projetos de Prevenção e Combate a Incêndio (PPCIs), destacando, muitas vezes, a NBR 9077 e também o cumprimento das leis municipais e estaduais para aprovação dos mesmos.

O PPCI é o Projeto de Prevenção e Combate a Incêndio e pode ser elaborado apenas por profissionais habilitados (Engenheiros Civis e Arquitetos), fiscalizado e aprovado pelo Corpo de Bombeiros, mediante vistorias e concessão de alvarás, sendo exigido por órgãos públicos para qualquer imóvel, a fim de proporcionar maior segurança às pessoas. É obrigatório para todas as edificações existentes, mesmo aquelas que se encontram em situação de construção ou reforma (naquelas que possuem ampliação de área superior a 10% da sua área total).

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

A atualização da norma 7190/2012 trás diversos benefícios ao mercado da madeira no país, entre eles o maior conhecimento sobre as propriedades da madeira em situação de incêndio, como a 7190/2012 foi realizada com base nas diretrizes do Eurocode 5, normativa utilizada em diversos países, tem-se uma estrutura de detalhamento muito bem fundamentada no documento. No cenário internacional diversos são os países que utilizam o Eurocode como norma regulamentadora ou como base para desenvolvimento de normas. Desta maneira, o Brasil se aproxima neste parâmetro ao cenário internacional de construções em madeira. Incentivando assim o maior conhecimento da madeira como material de construção e conseqüentemente seu maior uso, seja em construções de madeira roliça, serrada o pré fabricada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. A de O. Doutor em Engenharia Civil, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Madeira como material estrutural [periódico de internet]. Ano 2000 [acesso em agosto de 2018]. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/pef2402/METALICAS%20E%20MADEIRAS%20-%20PEF%202402%20-%20APOSTILA.pdf>.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 143-94: standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, 1995.

RUSSO, Uso responsável de madeira é realidade mundial, Revista madeira e construção, 2017. Disponível em: <http://madeiraconstrucao.com.br/arquitetura-sustentavel-uso-responsavel-de-madeira-e-realidade-mundial/>.

DOS SANTOS, Rafaela Lima; SANTANA, Júlio Cesar Oliveira. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS EM EMPREENDIMENTOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL FINANCIADOS PELO PMCMV. MIX Sustentável, v. 3, n. 3, p. 53-62, 2017.

GOMES, Taís. Projeto de prevenção e combate a incêndio. Santa Maria, 2014.

GOULART S.; Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano [periódico da internet]. 2011 jan. [acesso em agosto de 2018]: 01(01): [aproximadamente 32 p.]. Disponível em:

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila.pdf.

ZENID, G. J. Madeira: uso sustentável na construção civil. Ano 2009.

ZENID, G. J. Revista da madeira. Qualidade da Madeira para a Construção Civil. Edição N°61 - novembro de 2001.

ANASTÁCIO, Ricardo Samuel Alberto et al. Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira. 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Eurocode 5: Design of

Timber Structures - Part 1-2: General - Structural fire design. Novembro, 2004.

EDIFÍCIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL SOB AÇÃO SÍSMICA

Buildings of structural masonry submitted to seismic actions

Discente: Klaus André de Sousa Medeiros, Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil/Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Ao decorrer dos anos vários países são drasticamente afetados por abalos sísmicos, enquanto que no Brasil, por um longo período, a falta de registros levou a crer que o país não se apresenta vulnerável a esse fenômeno. Já se sabe, com base em estudos e registros mais detalhados, que mesmo nas zonas passivas podem ocorrer terremotos devido as falhas tectônicas. As mais relevantes implicações dos sismos sobre os edifícios são devidas ao movimento do terreno provocado pelos diferentes tipos de ondas. Esses efeitos se tornam ainda mais preocupantes quando se trata de edificações em alvenaria estrutural, pois não são notáveis os avanços em pesquisas como os relacionados a estruturas sismo resistentes em aço e concreto armado já considerados em norma nacional. Assim, objetiva-se estudar as edificações em alvenaria estrutural, em condições brasileiras, submetidas a sismos, a fim de se obter e propor parâmetros a serem incorporados a normatização brasileira.

Palavras-Chave: Edificações em alvenaria; eventos sísmicos; ações dinâmicas; normatização.

ABSTRACT

Over the years, numerous countries are drastically affected by seismic events, while in Brazil, for an extended period, the absence of records led us to believe that our nation is not vulnerable to this phenomenon. It is already known, based on studies and more detailed reports, that even in passive zones may occur earthquakes due the tectonic faults. The most relevant implications on buildings are due to the ground movement caused by the different types of waves. These effects become even more worrying when we talk about masonry structures since there are not remarkable advances in researches as the investigations related to structures of steel and reinforced concrete, which are already considered in the national regulations. Thus, it is aimed to study the typical Brazilian edifications on structural masonry submitted to seismic actions, in order to obtain and propose parameters which may be incorporated into Brazilian standardization.

Keywords: Masonry edifications; seismic events; dynamic actions; standardization.

INTRODUÇÃO

Os avanços nas pesquisas ao longo dos últimos anos têm gerado melhorias expressivas dos procedimentos de execução e das normas de cálculo, elevando o nível de qualidade das obras e dos projetos de edifícios em alvenaria estrutural. Todavia, ainda se faz necessário aprofundar estudos em algumas particularidades para que haja um maior controle sobre o comportamento do sistema.

Dentre as situações pouco analisadas acerca do sistema estrutural em alvenaria, é significativo que seja estudado o desempenho dessas construções sob ações sísmicas. Pois, como já se é sabido, independentemente do método construtivo, eventos dessa natureza podem causar desde pequenas patologias até o colapso total das estruturas.

Enquanto que países como Portugal, Itália, Austrália, Canadá e Estados Unidos da América ou até mesmo ou-

tros mais próximos do nosso, como por exemplo Chile e Peru, se preocupam há muito tempo com os efeitos catastróficos que os sismos podem provocar, o Brasil não trata do assunto com a devida importância. É correto negligenciar essas solicitações em projetos e construções no Brasil, visto que há um consenso errôneo de que as ações sísmicas são inexistentes no país.

De forma majoritária, já se encontram na literatura nacional avanços consideráveis sobre estudos de sistemas sismo resistentes em estruturas de aço e em concreto armado, como pode ser citada a elaboração da NBR 15421:2006. Porém, mesmo com o desenvolvimento dessa norma, desde então pouco se evoluiu sobre os reais efeitos das ações sísmicas em edifícios construídos em alvenaria estrutural.

Portanto, sabendo que as solicitações sísmicas no Brasil são existentes e que a depender da região e de sua incidência podem ocorrer consequências graves, fazem-se necessárias análises mais criteriosas quanto a elaboração de procedimentos e parâmetros normativos que substanciem os projetos de construções em alvenaria estrutural.

Nesse contexto, a presente pesquisa tem por objetivo geral estudar de forma teórica e experimental o comportamento de edifícios em alvenaria estrutural sob ações sísmicas, sobretudo aspectos práticos condizentes com a realidade brasileira. Almeja-se, com isso, contribuir para uma melhor compreensão e domínio do fenômeno e suas consequências diretas no dimensionamento, verificação e detalhamento dos elementos estruturais. Por fim, objetiva-se discutir e propor detalhes e procedimentos a serem incorporados a normatização brasileira referentes as construções em alvenaria estrutural em diferentes zonas sísmicas do país.

REVISÃO

O mapa de ameaça sísmica desenvolvido pelo projeto Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) e apresentado por Shedlock e Tanner (1999), balizava até muito pouco tempo atrás todas as análises de risco no Brasil. Assumpção et al. (2016) destaca que a comunidade sismológica do Brasil (envolvendo USP, UnB, UNESP, ON, UFRN, IPT, e PUC-RJ) vem se empenhando bastante para atualizar nosso mapa de ameaça sísmica, sendo já apresentados por estes resultados preliminares de estudos detalhados. É relatado que, devido ao conhecimento incompleto sobre sismicidade intraplaca, a estratégia adotada para a elaboração do novo mapa foi levar em conta vários modelos alternativos, cada um com um peso num esquema de árvore lógica ou cenários possíveis.

A resposta sísmica de um edifício está intimamente ligada ao comportamento conjunto de vários aspectos do sistema estrutural que lhe compõe. É preciso existir desempenho consoante da tipologia construtiva com as propriedades dinâmicas, propriedades mecânicas dos materiais, comportamento dos elementos, e ainda com a configuração geométrica do prédio. Quanto as propriedades dinâmicas, às forças de inércia associadas a massa do sistema e a aceleração provocada pelo sismo, conjugadas com a rigidez e o amortecimento, controlam a resposta em regime linear. Já em relação as propriedades mecânicas dos materiais e ao comportamento dos elementos, estes, em conjunto, determinam a transição da resposta para o regime não linear e o nível de dano instalado em função da solicitação (CANDEIAS, 2008).

É sabido que as ações sísmicas atuam segundo todas as direções, induzindo forças tanto na direção perpendicular como longitudinal das paredes, sendo a primeira situação muito mais desfavorável por apresentar rigidez relacionada ao eixo de menor inércia da seção horizontal. Sabe-se também que a resistência dos painéis está associada à interação entre as tensões normais e tangenciais que se desenvolvem da combinação das ações verticais e horizontais.

Conforme Candeias (2008), há um diferente mecanismo de dano para cada uma das direções das ações sísmicas horizontais. Para o caso de atuação fora do plano, o modo de colapso é associado à abertura de uma fissura aproximadamente horizontal ao longo da base, onde os esforços de flexão são máximos, seguido do tombamento da parede. Já o mecanismo de dano considerando atuação no plano, para o caso de paredes baixas, ocorre associado ao corte tanto por tração diagonal como por deslizamento na base, e no caso das paredes altas, o modo de colapso é dominado pela flexão da parede no seu plano.

De acordo com Dantas (2013), os principais parâmetros envolvidos nas análises sísmicas são: a duração do

evento e o período predominante, com importância fundamental na análise não linear de estruturas; e os valores máximos de pico da aceleração (PGA), da velocidade (PGV) e do deslocamento (PGD), que dependem das características da distância da falha, da natureza das formações rochosas atravessadas pelas ondas sísmicas e das condições geológicas locais. Em relação as construções civis, os textos normativos tratam a aceleração máxima como o parâmetro mais importante a se considerar.

A resposta das estruturas à ação sísmica envolve parâmetros qualitativos e quantitativos, podendo ser avaliada por meio de diferentes abordagens. Dentre as formas de análise cita-se a linear elástica, estática não linear e dinâmica não linear com integração no tempo, podendo estas apresentarem características modais e contarem com auxílio de simulações numéricas.

Apesar do desenvolvimento de ferramentas avançadas de análises, as metodologias simplificadas ainda se mantêm como as preferidas pelos engenheiros. Nesse contexto, a maioria das normas permitem, pela sua melhor compreensibilidade, o método das forças laterais equivalentes, no qual definem-se forças horizontais totais na base da estrutura em cada uma das direções principais. Essas forças dependem do coeficiente de resposta, do peso do sistema, da aceleração espectral e do período natural da estrutura.

Os edifícios de alvenaria podem ser avaliados experimentalmente quanto a atuação dos sismos por intermédio de ensaios estáticos cíclicos ou não, e dinâmicos. Dentre estes, o ensaio dinâmico representa as condições mais próximas da realidade, porém a necessidade de se utilizar mesa vibratória faz com que se torne muitas vezes inviável. Diante disto, o método de ensaios estáticos cíclicos são os mais usuais na caracterização do comportamento das paredes de alvenaria. Outra dificuldade intrínseca, mas nesse caso a todas as formas de investigação, é a representação das dimensões reais dos painéis, sendo necessário, na maioria das vezes, produzir modelos em escala reduzida (ALVES, 2011).

MÉTODO

A pesquisa será conduzida de acordo com as etapas de:

a) Revisão de literatura

Será melhorado e ampliado o estudo dos títulos resumidamente citados nesse trabalho, com a finalidade de contextualizar a problemática, atualizar-se e tornar ainda mais evidente as lacunas existentes quanto aos efeitos dos sismos nos edifícios em alvenaria estrutural. Será dado enfoque especial para os procedimentos normativos e detalhes típicos das construções brasileiras.

b) Definição dos edifícios estudados

Será avaliada a possibilidade de estudar diferentes configurações de edifícios brasileiros em alvenaria estrutural, variando o tipo de bloco (cerâmico ou de concreto), número de andares e fases da construção.

c) Caracterização dos materiais e elementos

Nesta etapa serão caracterizados de forma teórica e experimental os materiais (argamassa, graute, concreto e aço) e os elementos estruturais (blocos, prismas e paredes) dos edifícios definidos para estudo na etapa anterior. Propriedades como o peso específico, curva tensão-deformação e coeficiente de Poisson dos materiais, bem como a geometria dos painéis e resistências dos elementos, são de fundamental importância para elaboração dos modelos numéricos e demais fases experimentais.

d) Simulação numérica

Nesta etapa serão tratados os parâmetros de modelagem, via elementos finitos, que melhor se adequam ao problema, verificando a influência das dimensões e da forma dos elementos da discretização. Serão realizadas as modelagens dos edifícios escolhidos com os parâmetros definidos nas fases anteriores. Em concordância com Peleteiro (2002), avalia-se importante que sejam feitas simulações numéricas prévias aos ensaios experimentais para que se possa definir inicialmente a quantidade e uma disposição adequada para a instrumentação a ser utilizada. Assim, diminuem-se os custos e aumenta eficiência na obtenção dos resultados.

e) Atividades experimentais

Durante a etapa c) serão feitos os ensaios de caracterização dos materiais e dos componentes necessários a construção dos edifícios escolhidos para estudo. Posteriormente, pretende-se ir a campo para obter as frequências naturais dessas estruturas utilizando sistemas de aquisição de dados com acelerômetros, baseando-se nos métodos aplicados e discutidos por Matos et al. (2017). A depender da viabilidade, tentar-se-á estabelecer parcerias com instituições nacionais e internacionais para realização de ensaios sísmicos seguindo a técnica normatizada de construção utilizada no Brasil, para que, assim, seja possível obter parâmetros práticos de resposta sísmica condizente com a realidade nacional.

f) Análise e discussão dos resultados

A partir dos resultados experimentais serão feitos um tratamento e uma análise dos dados obtidos, a fim de que se possa discutir e destacar a importância dos critérios aplicados, bem como de utilizá-los para calibrar o modelo numérico. Também se faz necessário confrontar os resultados com demais modelos outrora encontrados na bibliografia.

g) Elaboração da tese

Tomar-se-á por base as recomendações do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UFSCAR e das especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT para elaboração dos exemplares de defesa da tese.

h) Defesa da tese

De mesmo modo, serão adotadas as recomendações do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UFSCAR em data pré-agendada para que seja defendida a tese.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Espera-se, com esse trabalho, ampliar o entendimento sobre o comportamento sísmico de edifícios em alvenaria estrutural, apresentando parâmetros e detalhes típicos mais realistas e adequados aos padrões de construção nas diferentes zonas sísmicas do Brasil. Os resultados encontrados deverão tornar-se um apoio na análise das edificações e aos textos normativos, estes carentes de respostas voltadas as construções nesse sistema. Além do mais, os resultados servirão para refinar as formas de modelagem computacional atualmente disponíveis, tornando-os mais confiáveis.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. P. S. M. (2011). Desempenho sísmico de estruturas de alvenaria de blocos de betão. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 154p.

ASSUMPCÃO, M.; PIRCHINER, M.; DOURADO, J. C.; BARROS, L. V. (2016): Terremotos no Brasil: Preparando-se para eventos raros. Boletim SBGF, v. 96, p. 25-29.

CANDEIAS, P. J. O. X. (2008). Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 338p.

DANTAS, R. O. O. (2013): Subsídios para o projeto de estruturas sismo resistentes. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 200p.

MATOS, F. E. M.; MARTINS, C. J.; LUCENA, D. G.; CAMPOS, M. F. M. (2017): Análise modal de edificação em alvenaria estrutural. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, Bento Gonçalves, RS.

PELETEIRO, SUZANA C. (2002). Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural. São Carlos. 143p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SHEDLOCK, K. M.; TANNER, J. G. (1999): Seismic hazard map of the western hemisphere. Annali de Geofisica, v. 42, n. 6, p. 1199-1214.

RESISTÊNCIA À PUNÇÃO NA LIGAÇÃO LAJE-PILAR: ANÁLISE NÚMÉRICO EXPERIMENTAL E PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO DO MODELO DE ENSAIO

Punching Resistance in Slab-Pillar Connection: Experimental Numerical Analysis and Proposed Test Model Standardization

Discente: Tamiris Luiza Soares Lanini, Engenheira Civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luis Christoforo

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

No contexto de estruturas em lajes lisas, na ligação laje-pilar, ponto crítico do sistema, a concentração de tensões cisalhantes pode conduzir ao fenômeno da punção, modo de ruptura frágil (sem aviso) que ocorre por cisalhamento em regiões relativamente pequenas. Devido à complexidade do fenômeno, ainda não há um modelo de dimensionamento completamente aceito pelo meio técnico científico capaz de estimar a resistência à punção na ligação laje-pilar. Ainda, não há padronização dos modelos experimentais ensaiados, e portanto, a investigação do fenômeno através de dados disponibilizados na literatura é complexa. Assim sendo, este estudo objetiva propor, por meio de análise estatística e simulação numérica, um ensaio padrão para estimativa da resistência à punção na ligação laje-pilar, considerando, para tanto, pilares internos e carregamentos simétricos. Pretende-se estabelecer uma relação comparativa entre resultados experimentais obtidos para contribuir na constatação e compreensão dos parâmetros que influenciam no fenômeno da punção em lajes lisas.

Palavras-Chave: Lajes lisas; Punção; Ligação laje-pilar; Análise Numérica.

ABSTRACT

In the context of flat slab structures, at the slab-pillar connection, critical point of the system, the concentration of shear stresses can lead to the punching phenomenon, fragile failure mode (without warning) that occurs by shearing in relatively small regions. Due to the complexity of the phenomenon, there is not yet a sizing model completely accepted by the scientific technique capable of estimating the punching resistance in the slab-column connection. Still, there is no standardization of the experimental models tested, and therefore, the investigation of the phenomenon through data available in the literature is complex. Therefore, this study aims to propose, through statistical analysis and numerical simulation, a standard test to estimate the puncture resistance in the slab-column connection, considering both internal pillars and symmetrical loading. It is intended to establish a comparative relationship between experimental results obtained to contribute to the finding and understanding of the parameters that influence the phenomenon of flat slab puncture.

Keywords: Flat slabs; Punching; Slab-pillar connection; Numerical analysis.

INTRODUÇÃO

Na etapa de concepção estrutural, a escolha do tipo de laje empregada é fundamental quanto aos parâmetros de resistência e estabilidade da edificação. Dentre as soluções, tem-se o aumento do emprego de lajes lisas, definidas como estruturas laminares horizontais em concreto armado ou protendido que se apoiam rígida e diretamente nos pilares sem a presença de vigas ou capitéis para transferência de esforços (FERREIRA, 2010; SACRAMENTO et al., 2012).

O aumento da popularidade deste sistema se justifica pela maior agilidade imposta ao processo construtivo, em que há simplificação das fôrmas e arranjo das armaduras do pavimento, reduzindo custos com mão de obra.

Ainda, este sistema proporciona a redução da altura do pavimento e, portanto, do edifício, e atribui maior flexibilidade ao layout destes. Em contrapartida, lajes lisas apresentam desvantagens relacionadas à estabilidade global, deslocamentos transversais e punção na ligação laje-pilar (FERREIRA, 2010; SACRAMENTO et al., 2012).

Assim, o ponto crítico deste sistema ocorre na ligação laje-pilar por meio da concentração de tensões cisalhantes que podem conduzir ao fenômeno da punção, modo de ruptura frágil (sem aviso) que ocorre por cisalhamento em regiões relativamente pequenas. Atenta-se que a punção pode ocasionar a ruína de uma estrutura, por meio do colapso progressivo.

Diante da relevância e complexidade do fenômeno, desde a publicação da primeira teoria de cálculo em 1921, de autoria de Westergaard e Slater, muitas pesquisas teóricas e experimentais têm sido desenvolvidas no intuito de compreender o comportamento e assim, estimar a resistência à punção na ligação laje-pilar. Contudo, ainda não há um modelo de dimensionamento completamente aceito pelo meio técnico científico capaz de estimar e explicar tal fenômeno, e todos os parâmetros que o influenciam (FERREIRA, 2010; SACRAMENTO et al., 2012; OLIVEIRA, 2013; PAIVA et al., 2015).

Visto a complexidade e, ainda, desconhecimento acerca do fenômeno, as normativas, no intuito de garantir a segurança das estruturas bem como, padronizar o sistema de lajes sem vigas, apresentam recomendações para projetos com base fundamentalmente empíricas.

Contudo, ainda que sejam inúmeras as discussões a respeito do fenômeno da punção, tem-se um grande impasse: não há padronização dos modelos experimentais ensaiados. Tem-se que os modelos experimentais utilizados se aproximam de um modelo ideal, mas, devido às distinções de geometria e carregamentos, possivelmente apresentam distinção nos resultados analisados.

Assim sendo, não é possível estabelecer relação comparativa entre resultados obtidos para contribuir na constatação e compreensão dos parâmetros que influenciam no fenômeno da punção em lajes lisas, e, portanto, o maior desafio é estabelecer um modelo realista que represente, de modo simples, o comportamento à punção de uma ligação laje-pilar.

Portanto, o objetivo principal deste estudo é propor, por meio de simulação numérica e resultados experimentais, um ensaio padrão para estimativa da resistência à punção na ligação laje-pilar, considerando, para tanto, pilares internos e carregamentos simétricos. O sucesso desta pesquisa permitirá ao meio científico, estabelecer uma relação comparativa entre resultados experimentais obtidos para contribuir na constatação e compreensão dos parâmetros que influenciam no fenômeno da punção em lajes lisas.

REVISÃO

Devido à falta de padronização do modelo experimental e ao desconhecimento atrelado ao fenômeno (essencialmente relacionado aos parâmetros que o influenciam), ainda que os modelos utilizados até então pelos pesquisadores se aproximem do modelo ideal, há significativa variação nos resultados analisados em função das distinções de geometria e carregamento.

Objeto de análise, tem-se os estudos experimentais realizados por diversos pesquisadores: Elstner e Hognestad (1956), Moe (1961), Marzouk e Hussein (1991), Kinnunnem e Nylander (2009), Tomaszewicz (1990), Hallgren (1996), Melges (2001), Mouro (2006), Trautwein (2006), Souza (2008), Albuquerque (2010), Ferreira (2010), Oliveira (2012), Moraes Neto (2013). Inicialmente, percebe-se a distinção em relação às propriedades geométricas adotadas para os modelos experimentais, tais como forma, dimensões, espessura, posicionamento dos pilares. É importante ressaltar ainda, que tal distinção ocorre por muitas vezes dentro de um único estudo.

Além da distinção entre propriedades geométricas, há também variação de parâmetros como altura útil da laje, taxa geométrica de armadura de flexão e resistência à compressão do concreto. Outro fator a se considerar é o carregamento aplicado. Poucos estudos apresentam de modo detalhado as características do modelo experimental e do ensaio realizado (outra grande dificuldade para análise e compreensão do fenômeno), especificando o tipo, a velocidade e o ponto de aplicação do carregamento. Com base nos poucos dados existentes, percebe-se também distinção entre tais parâmetros (ora carregamento pontual, ora distribuído).

Excedente às dificuldades já mencionadas, há ainda adversidades atreladas à realização de ensaios experimentais destrutivos, como o custo, tempo e mão de obra empregados. Neste contexto, o uso da análise numérica em pesquisas possibilita a reprodução e alteração de um modelo em n vezes necessárias para o entendimento dos parâmetros envolvidos. De modo ainda exploratório, há poucos estudos utilizando esta ferramenta para análise da punção em lajes lisas.

A efetividade do uso de simulações numéricas na investigação do fenômeno da punção foi atestada por pesquisadores como Trautwein (2006), Aguiar (2009) e Pinto (2015).

MÉTODO

O presente estudo é composto por duas etapas principais: revisão bibliográfica e análise numérica. Ainda, há possibilidade uma terceira etapa, denominada programa experimental, condicionada aos resultados obtidos a partir das etapas anteriores.

Tratando-se de um tema ainda em caráter exploratório, a primeira parte da pesquisa será composta pela revisão bibliográfica disponível a respeito de punção em lajes lisas. Serão analisadas pesquisas quanto aos parâmetros influenciadores deste fenômeno, ao efeito da punção em lajes lisas, metodologias normativas nacionais e internacionais, modelos experimentais ensaiados em laboratórios, estudos numéricos e parâmetros incorporados aos softwares para efeito de convergência dos resultados à análise experimental.

A segunda etapa do presente estudo é composta pela análise numérica, utilizando como ferramenta o software de elementos finitos ABAQUS. A partir da revisão bibliográfica, em que serão selecionados dados de pesquisas experimentais detalhadas e com alto grau de confiabilidade, será feita a parametrização de um modelo inicial. Então, serão analisadas as variáveis influenciadoras do fenômeno (também tomadas com base na revisão bibliográfica) junto ao comportamento da ligação, de modo a compor um vasto banco de dados.

Assim, com fundamento no banco de dados, será realizada a análise estatística acerca dos parâmetros influenciadores de modo a obter os respectivos graus de influência, e, portanto, maximizar a análise numérica. Ao final, pretende-se compor um modelo experimental próximo ao modelo ideal para que não haja influência da concentração de tensões, e também estabelecer relações adimensionais entre os parâmetros analisados. Planeja-se obter um modelo cujas dimensões sejam passíveis de reprodução simplificada em laboratório.

A terceira e última etapa, denominada programa experimental, é condicionada aos resultados obtidos a partir das etapas anteriores. Pretende-se então, ao final da pesquisa, comprovar o estudo numérico através de resultados experimentais (por amostragem) para não só validar o modelo proposto, mas também acrescentar às metodologias de cálculo normativas, essencialmente empíricas.

RESULTADOS

Os resultados esperados desta pesquisa são:

- Propor, meio de análise numérico experimental, um modelo de ensaio padrão para estimativa da resistência à punção na ligação laje-pilar, considerando, para tanto, pilares internos e carregamentos simétricos;
- Analisar os parâmetros influenciadores e seus respectivos graus de influência, de modo a contribuir significativamente para compreensão do fenômeno da punção;
- Avaliar a efetividade do uso de métodos alternativos não destrutivos de simulação numérica quanto à resultados experimentais para punção em lajes lisas;
- Proporcionar significativo avanço acerca do tema estudado, por meio da validação de comparação entre resultados experimentais padronizados;
- Contribuir significativamente para novas revisões de norma;

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Até o presente momento, mantém-se a originalidade da pesquisa. O banco de dados referentes à ensaios experimentais dispostos na literatura assegura a extrema variação entre parâmetros, bem como a ausência de informações significativas que influenciam no fenômeno da punção. Uma análise estatística prévia apresentou a possibilidade de identificação dos principais parâmetros influenciadores da punção, de modo a alcançar a análise do fenômeno de modo isolado.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- AGUIAR, A. J. O. (2009). **Análise experimental de lajes lisas nervuradas bidirecionais de concreto armado com furos adjacentes ao pilar**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará, Belém, 174p.
- ALBUQUERQUE, E.J.P. (2010). **Punção em lajes lisas com armadura de cisalhamento e pilares de centro retangulares**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília.
- ELSTNER, R.C., HOGNESTAD, E. **Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs**. Urbana-champaign: American Concrete Institute, 1956. 30p.
- FERREIRA, M.A., EL DEBS, M.K, ELLIOTT, K.S., (2004). **Modelo para a determinação da capacidade rotacional em ligações viga-pilar de concreto armado**. In: Jornadas sul-americanas de ingeniería estructural. Maio. Mendoza. Argentina.
- FERREIRA, M.P. (2010). **Punção em lajes lisas de concreto armado com armaduras de cisalhamento e momentos desbalanceados**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília.
- KINNUNEN, S., NYLANDER, H. **Punching of Concrete Slabs Without Shear Reinforcement**. 2009. 112f. Transactions of the Royal Institute of Technology (1960). Stockholm, 2009, 112p.
- MARZOUK, H., HUSSEIN, A. **Experimental Investigation on the Behavior of High Strength Concrete Slabs**. ACI Structural Journal, v. 88, n. 6, p. 701-713, 1991.
- MELGES, JLP (2001). **Análise experimental na punção em lajes de concreto armado e protendido**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Carlos.
- MELO, G.S.S.A. **Proposição de item da norma com referência ao cálculo de armadura contra colapso progressivo em lajes cogumelo**. REIBRAC, 36, p. 725-734. Porto Alegre, 1994.
- MOURO, V. C. (2006). **Punção em lajes cogumelo – estudo da retangularidade dos pilares**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 160p.
- OLIVEIRA, M.H. (2013). **Punção em lajes lisas com armadura de cisalhamento submetidas a carregamento excêntrico e apoiadas sobre pilares retangulares**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília.
- PAIVA, O.S., FERREIRA, M.P., OLIVEIRA, D.R.C., LIMA NETO, A.F., TEIXEIRA, M.R. **Influence of the column rectangularity index and of the boundary conditions in the punching resistance of slab-column connections**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 8, n. 3, p. 260-295, 2015.
- PINTO, V. C. (2015). **Punção em lajes lisas bidirecionais de concreto armado com furos e pilares com secção transversal em “L”**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 177p.
- REGAN, P.E. **Punching Tests of Concrete Slabs with Riss Star Shear Reinforcement**. School of Architecture e Engineering, University of Westminster. London, 1993.
- REGAN, P.E. **Shear combs, reinforcement against punching**. The Structural Engineer. London, 1985.
- SACRAMENTO, P.V.P, FERREIRA, M.P., OLIVEIRA, D.R.C., MELO, G.S.S.A. **Punching strength of reinforced concrete flat**

slabs without shear reinforcement. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 5, n. 5, p. 659-691, 2012. DOI: 10.1590/S1983-41952012000500005

SOUZA, R.M. (2008). **Punção em lajes lisas de concreto armado com furos adjacentes ao pilar e transferência de momento.** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília.

TRAUTWEIN, L. M. (2006). **Punção em lajes cogumelo de concreto armado: Análise experimental e numérica.** Tese de doutorado em Engenharia, Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 278p.

ANÁLISE TEÓRICA E NUMÉRICA DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO E POSICIONAMENTO DE FUROS ADJACENTES A PILARES DE SEÇÃO RETANGULAR EM SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES SEM VIGAS

Theoretical and number analysis of size influence and positioning of holes adjacent to rectangular section pillars in structural systems of beams

Discente: Leandro Dias Küster, Engenheiro Civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. Dr./Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Qualificada (31/05/2019)

RESUMO

A utilização de lajes lisas tem crescido devido às diversas vantagens que apresentam. No entanto, uma das maiores preocupações na utilização desse sistema é o elevado esforço de punção, que ocorre na ligação entre a laje e o pilar. O estudo da punção em lajes lisas tem sido alvo de diversos pesquisadores nos últimos anos. Problemas como a existência de furos nas lajes lisas no entorno dos pilares, fazem com que as teorias convencionais e as normas vigentes sejam constantemente questionadas, sendo algumas vezes até taxadas como inseguras. Em relação aos estudos numéricos, percebe-se a falta de um padrão para análise, dificultando-se a comparação de resultados entre trabalhos alheios. Desta maneira, o presente trabalho pretende identificar numericamente o comportamento estrutural da ligação laje-pilar em lajes sem vigas com abertura adjacente ao pilar. Pretende-se também propor uma formulação para projeto de lajes sem vigas com aberturas adjacentes ao pilar.

Palavras-Chave: punção em lajes; aberturas em lajes lisas; método dos elementos finitos; análise numérica computacional de lajes lisas; análise teórica de lajes lisas.

ABSTRACT

The use of flat slabs has grown because of the various advantages they present. However, one of the major concerns in using this system is the high punching effort that occurs at the connection between the slab and the pillar. The study of punching in flat slabs has been the target of several researchers in recent years. Problems such as the existence of holes in the flat slabs around the pillars cause the conventional theories and the current norms to be constantly questioned, sometimes even considered unsafe. Regarding the numerical studies, it is noticed the lack of a standard for analysis, making it difficult to compare results between works of others. Thus, the present work intends to numerically identify the structural behavior of the slab-pillar connection in beamless slabs adjacent to the pillar. It is also intended to propose a formulation for design of beamless slabs with openings adjacent to the pillar.

Keywords: punching in slabs; openings in flat slabs; finite element method; numerical computational analysis of flat slabs; theoretical analysis of flat slabs.

INTRODUÇÃO

O sistema estrutural de lajes lisas e lajes-cogumelo, pelo fato de não necessitar de vigas na transição entre as lajes e os pilares, apresenta algumas vantagens em relação aos sistemas convencionais, dentre elas: geralmente apresentam velocidade de execução e repetição de formas, racionalizando bastante a execução da obra; permitem amplos ambientes e pé-direito livre em toda a edificação, possibilitando maior flexibilidade no projeto arquitetônico tanto na concepção da edificação quanto em reformas; permite com maior facilidade a passagem de tubulações horizontais sem obstáculos de elementos estruturais como vigas. Porém, o sistema também apresenta desvantagens, podendo-se destacar as seguintes: flechas excessivas em condições de serviço; momentos elevados na ligação laje-pilar; diminuição da estabilidade global da edificação em

relação aos esforços horizontais, devido à não-caracterização de estruturas apertadas; ruptura brusca por punção (MORAES NETO, 2013).

Por questões arquitetônicas, para a passagem dos dutos dos projetos complementares, diversas vezes especificam-se furos adjacentes a pilares (BORGES, 2004), e, esses furos podem diminuir sensivelmente a resistência à punção das lajes (SOUZA, 2008).

Em relação à proposta de estudo, pode-se listar alguns aspectos que se tornam mais relevantes:

- O sistema estrutural de lajes sem vigas é amplamente empregado na construção civil;
- Existe histórico de lajes lisas que colapsaram devido ao efeito da punção;
- Poucos estudos sobre punção em lajes lisas tiveram um foco bastante aprofundado na análise numérica computacional;
- Muitas dúvidas ainda são levantadas quanto a resistência à punção em lajes lisas com furos adjacentes ao pilar;
- Muitas pesquisas que tratam de lajes lisas com furos adjacentes ao pilar apresentam resultados discordantes entre si;

Mediante as justificativas comentadas, percebe-se a necessidade de estudos relacionados ao tema proposto, reduzindo assim as lacunas de conhecimento na área de punção em lajes lisas com furos adjacentes a pilares. Dessa forma, o objetivo principal do presente trabalho é investigar teórico-numérico o comportamento da ligação laje-pilar interna em lajes lisas, com um furo adjacente ao pilar, variando suas dimensões e posição no seu entorno, bem como as dimensões do pilar.

REVISÃO

Cordovil (1997) explicou que “o que se convencionou em chamar de punção em lajes delgadas de concreto armado é o efeito de ruptura transversal, por cisalhamento, em torno de regiões relativamente pequenas submetidas a carregamentos localizados.” Cordovil (1997) comentou ainda que a ruptura por deslizamento não existe em materiais granulares como o concreto. Esse comentário foi embasado em duas argumentações:

- A resistência ao cisalhamento do concreto é muito maior do que a resistência à tração;
- A estrutura interna do concreto se assemelha a uma rocha artificial formada por agregados envoltos e rigidamente ligados por uma massa de cimento endurecida.

Além da ruína por punção, um aspecto que deve-se levar em conta é a possibilidade da ruína por flexão, ou a ruína por punção associada à flexão. Melges (1995) explicou essas ruínas da seguinte maneira:

- A ruína por flexão se dá pelo esmagamento do concreto comprimido ou o escoamento excessivo da armadura de tração;
- A ruína por punção se dá pelo cisalhamento do concreto, por causa da força cortante ser a predominante;
- A ruína por punção associada à flexão se dá por causa da grande participação dos dois esforços simultâneos no elemento.

Borges (2004) comentou que os furos em lajes lisas para a passagem de tubulações de água, esgoto, eletricidade, telefone, ar condicionado e outros, são constantemente requeridos em posições adjuntas a pilares, podendo citar a praticidade de escondê-los na arquitetura e a praticidade de execução alguns dos principais motivos para essa determinação. Melo (2000) ressaltou que quando esses furos estão próximos a pilares, em lajes lisas ou lajes-cogumelo, ocorre um aumento do efeito de punção.

Ao analisar as pesquisas que envolveram análise numérica computacional, é notório a importância de *softwares* em MEF. O fato de muitas pesquisas comentarem que a modelagem por MEF consegue representar modelos reais, faz com que as pesquisas numéricas tenham mais aceitação, e seus resultados também gerem mais confiança. Além disso, pesquisas com foco em análise numérica computacional conseguem trabalhar com mais variáveis devido ao custo e tempo, comparadas com pesquisas experimentais.

Um detalhe importante de se comentar é que boa parte dos trabalhos numéricos parametrizaram seus dados com base em curvas força-deslocamento do modelo experimental.

MÉTODO

A pesquisa foi dividida em três etapas:

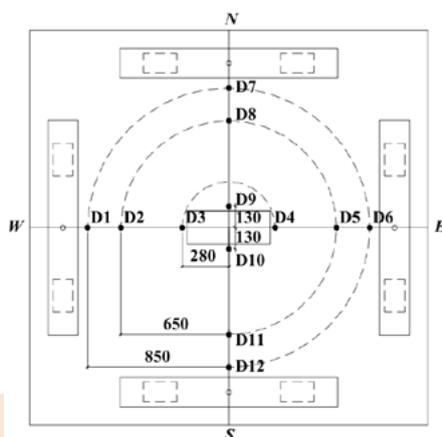
- Revisão bibliográfica;
 - Revisão Nacional;
 - Revisão Internacional.
- Análise numérica computacional;
 - Parametrização de modelo inicial;
 - Comparação de dados parametrizados com outros autores;
 - Análise da influência de aberturas adjacentes à pilares.
- Proposta de equacionamento.
 - Embasamento em teorias convencionais;
 - Embasamento de normas técnicas.

Até o presente momento, foi desenvolvida a parte de revisão bibliográfica e a primeira parte da análise numérica computacional, que trata da parametrização de modelo inicial.

RESULTADOS

O modelo parametrizado foi o modelo referência apresentado por Souza (2008). Na Figura 1 é apresentado esse modelo com os pontos de comparação de curvas força-deslocamento.

Figura 8: Pontos de leitura de deslocamentos no modelo experimental (distâncias em mm)



Fonte: Souza (2008)

Para a parametrização, foi utilizando o *software* ABAQUS®. Os parâmetros estudados na pesquisa foram os seguintes:

- Refinamento da malha;
- Ângulo de dilatação do concreto;
- Parâmetro α_d (Curva tensão x deformação do concreto na compressão);
- Parâmetro α_t (Curva tensão x deformação do concreto na tração).

Após 41 modelos processados, com tempo de processamento entre 3 horas e 7 dias, chegou-se aos seguintes parâmetros calibrados:

- Malha de elementos finitos com espaçamento no plano x y de 50mm x 50mm, e na direção z igual a 30mm;
- Ângulo de dilatação do concreto igual a 31°;
- α_d igual a 0,8;
- α_t igual a 4,04352;
- Elemento utilizado para simular o aço = T3D2;
- Elemento utilizado para simular o concreto = C3D8R.

Uma comparação entre as curvas força-deslocamento pode ser observada na Figura 2.

Figura 9: Comparação de curvas força-deslocamento dos pontos D1 e D6 (a), D2 e D5 (b), D7 e D12 (c) e D8 e D11 (d)

(a)

(b)

(c)

(d)

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Mesmo os resultados numéricos não sedo exatamente iguais aos experimentais, percebe-se que são bem próximos. A diferença entre os resultados numéricos e experimentais ficou entre 1 e 15%, sendo essa diferença aceitável em pesquisas envolvendo análise numérica computacional. Com esses dados, pode-se comparar modelos numéricos e experimentais com aberturas adjacentes a pilares, e verificar se também são compatíveis. Ao término da parametrização, poder-se-á variar a posição e tamanho de aberturas adjacentes a piores, e verificar a influência das mesmas.

REFERÊNCIAS

BORGES, L. L. J. **Comportamento ao puncionamento de lajes cogumelo de concreto armado com pilares retangulares e furos de grandes dimensões**. 2004. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

CORDOVIL, F. A. B. **Lajes de concreto armado - punção**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

MELO, G. S. Puncionamento, pós-puncionamento e colapso progressivo em lajes cogumelo. **IV Simpósio EPUSP Estruturas de Concreto**. São Paulo, 2000.

MORAES NETO, B. N. **Comportamento à punção de lajes lisas em concreto reforçado com fibras de aço sob carregamento simétrico**. 2013. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SOUZA, R. M. **Punção em lajes lisas de concreto armado com furos adjacentes ao pilar e transferência de momento**. 2008. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008p.

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DA ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO EM TEMPERATURAS ELEVADAS

Numerical and Experimental Analysis of Concrete Blocks Masonry in High Temperatures

Discente: Wallison Angelim Medeiros, Engenheiro Civil, Mestre

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Coorientador: Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Jr.

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Qualificado em 23/09/2019. Membros da banca: Prof. Dr. Paulo José Brandão Barbosa Lourenço e Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene

RESUMO

No Brasil, as exigências de segurança contra incêndio das edificações são definidas em legislação estadual e na norma brasileira ABNT NBR 14432:2001. Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto, assim como projetos de estruturas de concreto já possuem normas específicas para a situação de incêndio, são elas: ABNT NBR 14323:2013 e ABNT NBR 15200:2012, respectivamente. No entanto, não há no país, normalização para alvenaria estrutural nessa situação e, portanto, continua sendo necessária a consulta às normas internacionais. O trabalho desenvolvido pretende caracterizar os componentes e elementos da alvenaria estrutural de blocos de concreto, determinando o desempenho e as propriedades físicas e mecânicas para os blocos com diferentes tipos de agregados, além de entender e determinar parâmetros básicos para projetos de alvenaria estrutural de blocos de concreto em altas temperaturas. Assim, formular uma proposta consistente e sistêmica de contribuições visando a futura revisão da norma.

Palavras-Chave: altas temperaturas, alvenaria estrutural, blocos de concreto, análise numérica, análise experimental.

ABSTRACT

In Brazil, the fire safety requirements of buildings are defined by state legislation and Brazilian standard ABNT NBR 14432: 2001. Steel structures and mixed steel and concrete structures projects, as well as concrete structures projects already have specific rules for the fire situation, they are: ABNT NBR 14323: 2013 and ABNT NBR 15200: 2012, respectively. However, there is no standardization in the country for masonry in this situation and, therefore, it is still necessary to consult international standards. This work aims to characterize the components and elements of the concrete block structural masonry, determining the performance and the physical and mechanical properties for the blocks with different types of aggregates, as well as to understand and determine basic parameters for concrete block masonry projects at high temperatures. Thus, formulate a consistent and systemic proposal of contributions aiming at the future revision of the standard.

Keywords: high temperature, masonry, concrete block, numerical analysis, experimental analysis.

INTRODUÇÃO

Incêndios muitas vezes são inevitáveis no ambiente construído. Em uma situação de incêndio, as estruturas não devem entrar em colapso ao menos antes que ocorra sua total evacuação, pois a prioridade maior é poupar vidas. Em segundo plano deve-se minimizar o dano estrutural. Para isso, existe a normatização de segurança das estruturas em situação de incêndio. No entanto, não há no país, normalização para alvenaria estrutural nessa situação, portanto, a consulta a normas internacionalmente respeitadas sobre o assunto

continua sendo necessária. Mesmo em normas internacionais, o assunto não é esgotado, existindo várias lacunas no tema.

A Comissão de Estudo ABNT/CE-002:123.010 está realizando a unificação das normas de Alvenaria Estrutural, no que concerne ao projeto, execução e controle de obras, e caracterização de elementos. Observa-se que, mesmo com a unificação das normas, ainda existirão lacunas que deverão ser preenchidas em momentos futuros, o que gerou uma demanda proeminente de estudos brasileiros sobre segurança das estruturas de alvenaria estrutural em temperaturas elevadas.

O comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio depende do desempenho resistente a elevadas temperaturas de cada um de seus elementos (blocos, argamassa, eventual armadura e revestimento) isoladamente e em conjunto. Nacionalmente, pouco se conhece sobre as propriedades térmicas e mecânicas dos materiais componentes da alvenaria estrutural. Da mesma forma, quando se avalia resultados existentes sobre o comportamento de paredes de alvenaria em altas temperaturas, nota-se, além da insignificância numérica de resultados nacionais, a inexistência de resultados de paredes avaliadas sob carga.

Desse modo, esta pesquisa pretende caracterizar os materiais e componentes da alvenaria estrutural de blocos de concreto, determinando suas propriedades físicas, mecânicas e de desempenho para os diferentes tipos de agregados, visando uma proposta consistente para projeto de alvenaria estrutural em elevadas temperaturas. Almeja-se mais especificamente:

- caracterizar quanto ao comportamento sob altas temperaturas, os diferentes componentes e elementos da alvenaria (bloco, argamassa, prisma);
- avaliar os principais fatores que influenciam o desempenho ao fogo das alvenarias, tais como: resistência de blocos, argamassas, tipo de agregados, revestimento;
- determinar isotermas dos blocos de concreto com e sem revestimento por modelos numéricos feitos com o software *Abaqus*;
- aferir modelos numéricos dos diferentes componentes e elementos de alvenaria estrutural em situação de incêndio por modelos numéricos utilizando o software *Abaqus*;
- apresentar proposta de dimensionamento segundo método analítico simplificado, similar ao que já é feito para o concreto e aço e empregado pela norma europeia.

REVISÃO

As unidades de alvenaria, geralmente blocos quando têm função estrutural, são feitas de cerâmica, solo-cimento, concreto, sílico-calcário, pedra e vidro, sendo mais comuns os de cerâmica e de concreto. Sabe-se que existe redução na resistência à compressão dos materiais quando submetida ao calor. Esse trabalho ate-se tão somente aos blocos estruturais vazados de concreto sendo, portanto, importante compreender melhor o desempenho ao fogo do material concreto. Não foi encontrado na literatura trabalhos tratando especificamente de concreto vibroprensado que são utilizados na fabricação de blocos de concreto, as informações apuradas tratam de concreto lançado com variação entre métodos de ensaio e agregados utilizados.

MÉTODO

A metodologia desta pesquisa, portanto, segue as seguintes etapas:

- I. Revisão bibliográfica em normas e textos técnicos nacionais e internacionais, a fim de explorar o que já foi estudado a respeito de ensaios e modelagens em alvenaria sob influência do fogo;
- II. Com a realização da revisão bibliográfica e tendo em mão os dados teóricos foram escolhidos os tipos de blocos e argamassas, referente a suas resistências e aos agregados utilizados em sua composição, para serem devidamente caracterizados;

- III. Caracterização dos materiais, e dos componentes e elementos a ser realizada no Laboratório de Estruturas (FEC/Unicamp) onde serão ensaiados: blocos, argamassas e prismas; sem aplicação de cargas e com a variação de temperatura a cada 100°C para obtenção das propriedades térmicas, mecânicas e suas devidas curvas residuais conforme recomendações da RILEM TC 200-HTC (2007);
- IV. Determinação da transmitância térmica dos blocos com e sem revestimento de vermiculita, e mapeamento das isotermas de todos os materiais caracterizados através de modelos numéricos em MEF, utilizando software *ABAQUS*, aferidos com todos os ensaios realizados na análise experimental; além de extrapolação de modelos e parâmetros para melhor entendimento da alvenaria sob influência do calor;
- V. Análise de resultados e elaboração de método de cálculo analítico simplificado semelhante ao que já é realizado para o concreto e aço e utilizado pelo Eurocode 6, para ser empregado na avaliação mecânica da parede (R) em situação de incêndio, sendo possível também a elaboração de ábacos que ofereçam a possibilidade de verificação rápida do critério de adequabilidade estrutural.

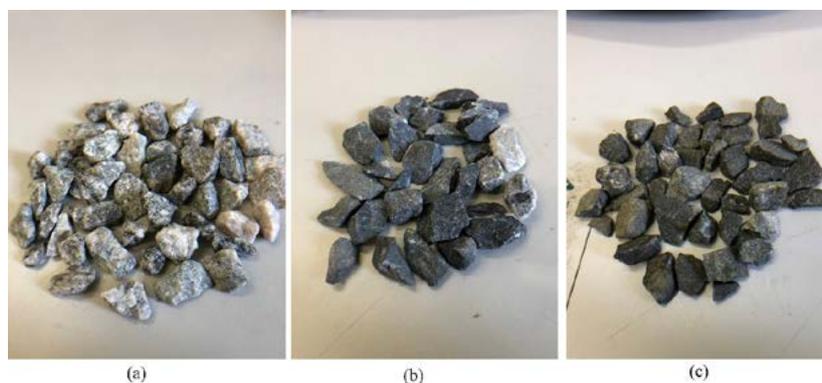
RESULTADOS

A seguir serão relatadas algumas das análises de caracterização dos agregados já realizadas pelo autor.

ANÁLISE PETROGRÁFICA

Mesmo com o fornecimento de laudos técnicos das mineradoras identificando os tipos de rochas dos agregados, foi realizado primeiramente uma identificação detalhada dos constituintes da rocha através de exame macroscópico, auxiliado por lupa e utilização de ácido clorídrico diluído para confirmação da presença de carbonatos. Na Figura 1 observa-se os agregados analisados.

Figura 1 – Agregados analisados macroscopicamente: (a) gnaisse, (b) calcário e (c) basalto.

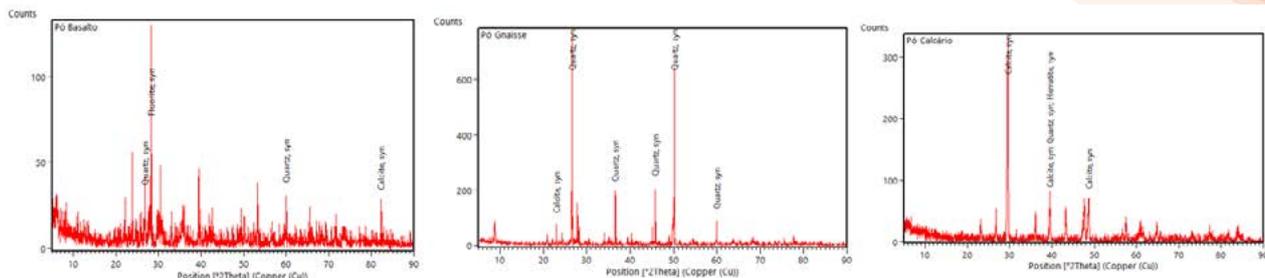


Fonte: Próprio Autor

DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Para identificar os minerais criptocristalinos não identificáveis por via óptica fez-se o uso da técnica de difração de raios X e assim, garantir uma identificação mineral através da caracterização de sua estrutura cristalina. Na Figura 2 pode-se visualizar os resultados obtidos para cada agregado.

Figura 2 – Resultados do DRX.



Fonte: Próprio Autor

FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)

Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) é técnica bem estabelecida para análise elementar, monitoramento de processos e caracterização química quantitativa e qualitativa de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos. FRX foi usado nesse trabalho para avaliar a microestrutura dos agregados caracterizando-os quimicamente e assegurando a correta identificação. As Tabelas 1 a 4 apresentam os resultados da fluorescência de raios-X.

Tabela 1 – Espectrometria de FRX do gnaisse

GNAISSE PÓ			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Si	25,294	SiO ₂	44,052
Al	4,592	Al ₂ O ₃	8,065
Fe	4,897	Fe ₂ O ₃	3,904
K	3,465	K ₂ O	2,716
Ca	2,820	CaO	2,420
Ti	0,451	TiO ₂	0,441
Mn	0,107	MnO	0,078

Fonte: Próprio Autor

Tabela 3 – Espectrometria de FRX do basalto

BASALTO PÓ			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Si	16,099	SiO ₂	27,501
Fe	14,220	Fe ₂ O ₃	12,137
Ca	6,964	CaO	6,647
Al	3,936	Al ₂ O ₃	6,261
Ti	1,698	TiO ₂	1,809
K	0,873	K ₂ O	0,741
P	0,152	P ₂ O ₅	0,257
Mn	0,200	MnO	0,156
In	0,120	In ₂ O ₃	0,099

Fonte: Próprio Autor

Tabela 2 – Espectrometria de FRX do calcário

CALCÁRIO PÓ			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Ca	70,935	CaO	62,443
Si	10,788	SiO ₂	17,514
Mg	7,098	MgO	9,359
Fe	5,649	Fe ₂ O ₃	4,500
Al	2,688	Al ₂ O ₃	3,924
In	1,485	In ₂ O ₃	1,155
Ti	0,543	TiO ₂	0,509
K	0,382	K ₂ O	0,316
Sr	0,432	SrO	0,280

Fonte: Próprio Autor

Tabela 2 – Espectrometria de FRX da areia

AREIA			
Elementos	% m/m	Óxidos	% m/m
Si	25,623	SiO ₂	44,366
Al	5,104	Al ₂ O ₃	8,717
Fe	6,461	Fe ₂ O ₃	5,210
K	4,459	K ₂ O	3,543
Ca	3,041	CaO	2,636
Mg	1,224	MgO	1,964
Ti	0,769	TiO ₂	0,761
P	0,215	P ₂ O ₅	0,339
Ag	0,209	Ag ₂ O	0,150
Sr	0,135	SrO	0,082

Fonte: Próprio Autor

Atualmente, os ensaios em altas temperaturas estão sendo reados no Laboratório de Estruturas (FEC/Unicamp) com previsão de término para março/2020.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Diferente do que ocorre em outros países, há uma predominância por agregados siliciosos (granito, gnaisse, basalto etc.) na fabricação dos blocos de concreto vazados brasileiros. Observa-se que esses agregados apresentam uma perda de resistência pequena e quase-linear até 400°C.

O trabalho encontra-se dentro do cronograma original espera-se que até o 1º trimestre de 2020, todos os ensaios experimentais estejam finalizados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. ABNT NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. ABNT NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1996-1-2: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005b.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE. Recommendation of RILEM TC 200-HTC: mechanical concrete properties at high temperatures-modelling and applications Part 2: Stress-strain relation. Materials and Structures, v. 40, p. 855–864, 2007.

CONSTRUÇÃO CIVIL

INDICADORES DE DESEMPENHO DE *LEAN SIX SIGMA* EM EMPRESAS CONSTRUTORAS

Lean Six Sigma Performance Indicators in Construction Companies

Discente: Lucio Schiavon Yamamoto, Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Os estudos baseados nos princípios da Construção Enxuta possibilitaram não apenas o desenvolvimento do gerenciamento de processos, mas também a necessidade de procedimentos de gestão da qualidade em obras. Mesmo que a melhoria contínua seja um dos enfoques do desenvolvimento gerencial, poucas são as metodologias de desenvolvimento qualitativo de processos que possuem indicadores bem definidos para a medição de produtos e processos da construção civil. O objetivo deste trabalho é levantar e comparar indicadores sigma relacionados aos produtos físicos e tempos de ciclo desses em canteiro de obras, por meio da aplicação do ciclo de melhoria contínua e estudo da capacidade do processo. Também visa medir o nível de adesão às ferramentas da qualidade nas obras estudadas por meio da aplicação de questionários. Espera-se que os indicadores sigma sejam mais elevados quando a obra correspondente tiver implantada as práticas de gestão da qualidade.

Palavras-Chave: Construção civil, Gestão da qualidade, Construção Enxuta, Seis Sigma, Processos.

ABSTRACT

Studies based on the principles of Lean Construction have enabled not only the development of process management, but also brought to light the need for quality management on site. Even though continuous improvement is one of the area's management development approaches, there are few qualitative process development methodologies that provide well-defined indicators for measuring construction products and processes. The objective of this research is to survey and compare sigma indicators related to physical products and cycle times of these in the construction site, by applying the continuous improvement cycle and process capability study, as well as measuring the application of quality tools in works studied through the application of questionnaires. The sigma indicators are expected to be higher when the corresponding work has more affinity with the application of quality management.

Keywords: Civil construction, Quality management, Lean construction, Six Sigma, Processes.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção tem sido criticada durante anos devido a sua ineficiência em seus processos e projetos, desperdícios demasiados, altos riscos para baixa lucratividade dos produtos e serviços, além de ser configurada como um exemplo negativo de tais aspectos quando comparada às indústrias com histórico de gerenciamento de projetos e processos (TEZEL; KOSKELA; AZIZ, 2018).

A implantação do conjunto de práticas conhecido como "*Lean Six Sigma*" (LSS) proporciona a melhoria na área gerencial tanto por meio da aplicação de sua metodologia cíclica de análise de processos quanto no levantamento de dados estatísticos que buscam motivar a melhoria incremental física de determinada ativi-

dade, reduzindo a taxa de não conformidades (VAN DEN BOS; KEMPER; DE WAAL, 2014). Para esses autores, um defeito na construção civil pode ser definido como algo que não está de acordo com as especificações do cliente, o que contrasta com o que é entendido na indústria de manufatura, na qual defeitos são produtos que não atingiram as especificações necessárias.

- a) **Objetivo:** O objetivo principal da pesquisa é apropriar indicadores de desempenho qualitativo baseados no “Lean Six Sigma” (LSS) em empresas construtoras. Para que o objetivo principal seja alcançado, alguns objetivos específicos são elencados com a pretensão de serem atingidos ao longo da pesquisa:
1. Medir o nível de adesão das obras quanto à gestão da qualidade;
 2. Empregar a metodologia cíclica denominada DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) em atividades da construção civil;
 3. Medir o nível sigma da execução física e o nível sigma do tempo de ciclo das atividades construtivas;
 4. Comparar os níveis sigmas da execução conforme especificações e tempo de ciclo da atividade.
- b) **Justificativa:** A indústria da construção civil ainda apresenta diversas lacunas em relação à garantia e manutenção dos sistemas de gestão da qualidade de seus produtos, sendo eles finais ou parciais em relação com os clientes, os quais também podem ser analisados como finais ou internos. Além disso, o setor ainda apresenta grandes índices de entrega de produtos a seus clientes finais que não atendem aos requisitos deles, não atendendo, portanto, o conceito fundamental de qualidade.

O LSS é uma metodologia que apresenta as ferramentas gerenciais e estatísticas que possibilitam a análise e implementação de métodos que garantam a busca pela melhoria incremental em atividades produtivas. Sendo assim, a pesquisa apresentada se torna extremamente relevante por estudar a proposição de uma metodologia cíclica fixa de análise de erros em processos e produtos, além de possibilitar a criação de uma métrica quantitativa que indica a qualidade da execução, por meio de dados estatísticos, com foco na análise do tempo de execução e na qualidade da mesma.

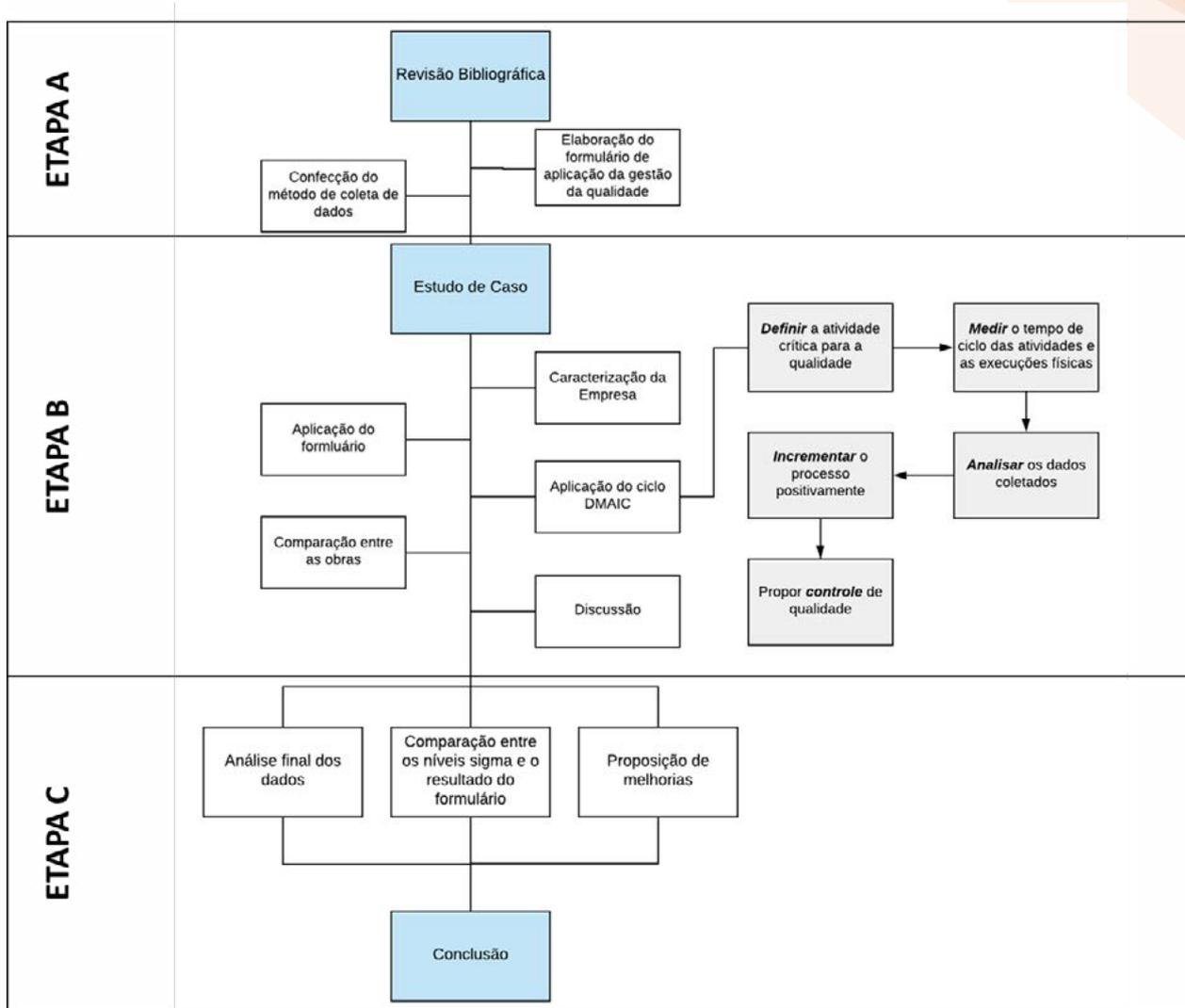
REVISÃO

A utilização do Seis Sigma permite a criação de parâmetros de análise qualitativa de processos. Desse modo, Pheng e Hui (2004) iniciaram os estudos da aplicação do Seis Sigma na construção civil buscando entender a possibilidade de aplicação do número de defeitos e o valor de sigma associado a essa porcentagem de erro. O Seis Sigma como parâmetro de medição qualitativa de serviços permite que os requisitos sejam listados e estudados de maneira mais aprofundada (PHENG; HUI, 2004). Com a redução da variabilidade, o método LSS possibilita o alcance da padronização de produtos e/ou processos, o que geralmente contribui na diminuição da variabilidade entre as expectativas dos clientes, internos ou externos, e o que realmente foi entregue. Isso ocorre, normalmente, devido ao grande número de diferentes processos relacionados com a mesma atividade. Desse modo, o objetivo do LSS é atingir as necessidades dos clientes medindo o nível de qualidade dos produtos e/ou processos (DAKHLI; LAFHAJ; BOS, 2016)© Emerald Group Publishing Limited. Purpose: Compared to the manufacturing industry, Lean Six Sigma (LSS. O constante atraso nos prazos de entregas das obras civis é outra questão de importante relevância para os estudos do LSS já que podem resultar em perdas financeiras significantes para as empresas em razão da perda de capacidade de produção ou custo de retrabalho/reparos (ANDERSON; KOVACH, 2014). Por definição, o LSS busca a diminuição de variabilidades e erros, o que contribui diretamente para a economia financeira dos projetos. Cabe indicar que a fim de atingir níveis considerados bons de gestão da qualidade, é necessário que todos os processos e sistemas incluam um gerenciador presente, comprometido com a qualidade e satisfação do cliente, além do profundo conhecimento de seu corpo técnico e prático (PHENG; HUI, 2004).

Observa-se que enquanto a Construção Enxuta preza pela diminuição de desperdícios, sendo eles de materiais, recursos ou tempo, diminuição de estoques e aumento na qualidade e confiança dos projetos de processo, a visão do Seis Sigma busca preencher algumas lacunas não priorizadas, como a identificação de fatores cruciais e recorrentes em processos e produtos, implementação de um método de medição de performance qualitativa e a fixação de uma metodologia para garantir a melhoria contínua dos produtos (parciais ou finais) e processos (AL-AOMAR, 2012; HAN et al., 2008) just-in-time, pull scheduling, and last planner. However, very little research has been conducted on setting definite quantitative goals for performance improvement while considering the defect rate involved in the construction operations. This research explores practical solutions for construction performance improvement by applying the six sigma principle. This principle provides the metrics required to establish performance improvement goals and a methodology for measuring and evaluating improvement. The proposed approach is expected to achieve more reliable workflows by reducing process variability to fit in a desirable range-thereby improving the overall performance through the evaluation of the quality level in current construction operations. To verify the suggested methodology, two case studies have been presented and process simulation analyses are performed to observe the performance changes based on the six sigma principle. Critical total quality control, as the sigma level rises, is also discussed.

,"author": [{"dropping-particle": "", "family": "Han", "given": "Seung Heon", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}, {"dropping-particle": "", "family": "Chae", "given": "Myung Jin", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}, {"dropping-particle": "", "family": "Im", "given": "Keon Soon", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}, {"dropping-particle": "", "family": "Ryu", "given": "Ho Dong", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}], "container-title": "Journal of Management in Engineering", "id": "ITEM-1", "issue": "1", "issued": {"date-parts": [{"2008"}]}, "page": "21-31", "title": "SixSigma-BasedApproachToImprovePerformanceinConstructionOperations", "type": "article-journal", "volume": "24", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=544b1785-d0f4-4d0f-8043-30e7dfb-815d"}, {"id": "ITEM-2", "itemData": {"DOI": "10.1108/20401461211284761", "ISBN": "2040146121", "ISSN": "20404174", "abstract": "The purpose of this paper is to investigate the application of lean construction practices in the construction industry and develop a practical and applicable framework that incorporates Six Sigma rating into the best practices of lean construction. The objective is to help the industry reduce waste and cost, increase effectiveness, and improve quality. Design/methodology/approach - A generic yet practical framework of lean construction is developed using the guidelines of project lean delivery system developed by the Lean Construction Institute (LCI."}]

MÉTODO



RESULTADOS

Os resultados esperados serão provenientes da medição do nível sigma tanto das execuções em termos de produtos físicos, quanto dos tempos de ciclo das atividades consideradas como críticas para o desenvolvimento da pesquisa e das obras analisadas. Espera-se poder comparar os níveis em questão com o objetivo de entender a qualidade não apenas como o atendimento do prazo previsto ou a execução física planejada, mas como a junção de ambos os requisitos que atendam às necessidades do cliente, sendo esse interno ou externo (final).

Com ambos os indicadores elencados, pretende-se criar um terceiro e simples indicador que avalie as atividades estudadas em ambos os parâmetros, buscando um valor global para a qualidade da atividade, contemplando a visão da qualidade em relação a tempo de entrega e especificações de execução.

Com o auxílio do formulário, deseja-se compreender se os canteiros de obras e empresas construtoras com mais afinidade com as práticas da gestão da qualidade e, conseqüentemente, com a maior nota no formulário, conseguem traduzir tais índices nos níveis sigma levantados por meio do estudo das capacidades dos processos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Observa-se certa tendência na utilização do ciclo DMAIC ao longo das pesquisas na construção civil. Tal tendência é parte essencial no desenvolvimento dos estudos do LSS, visto que a aplicação e manutenção de uma

metodologia fixa de melhoria incremental é um dos objetivos da metodologia LSS. Além disso, as ferramentas qualitativas estão presentes na análise dos problemas confrontados na pesquisa.

É importante analisar que poucas pesquisas encontradas apresentam análises estatísticas e quantitativas dos dados considerados como críticos para a qualidade do produto ou processo. Grande parte dos estudos são direcionados para a metodologia de resolução de problemas frente à melhoria incremental.

Outro ponto importante de ser descrito é em relação aos objetivos presentes nas pesquisas. Poucos estudos realmente conseguem focar em ambos objetivos principais das metodologias mescladas: redução de desperdício e estoque e melhoria da qualidade.

Sendo assim, ainda há uma lacuna de estudo presente nas análises e aplicações do LSS, principalmente em relação ao desenvolvimento de pesquisas pertinentes para o estudo da redução de tempos de ciclo de atividades, melhoria da produtividade da mão de obra, diminuição do desperdício de materiais e ainda manter ou incrementar a qualidade dos produtos e/ou processos de acordo com o especificado em projeto. Pode-se considerar que o LSS é uma metodologia importante e funcional em diferentes setores industriais, sendo que ainda é pouco aplicada pelas construtoras ao redor do mundo.

REFERÊNCIAS

AL-AOMAR, R. A lean construction framework with six sigma rating. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, n. 4, p. 299–314, 2012.

ANDERSON, N. C.; KOVACH, J. V. Reducing welding defects in turnaround projects: A lean six sigma case study. **Quality Engineering**, v. 26, n. 2, p. 168–181, 2014.

DAKHLI, Z.; LAFHAJ, Z.; BOS, A. Experiencing Lean Six Sigma in the French residential construction: Setting effective performance indicators to address client satisfaction. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 4, p. 346–368, 2016.

HAN, S. H.; CHAE, M. J.; IM, K. S.; RYU, H. D. Six Sigma-Based Approach to Improve Performance in Construction Operations. **Journal of Management in Engineering**, v. 24, n. 1, p. 21–31, 2008.

PHENG, L. S.; HUI, M. S. Implementing and Applying Six Sigma in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 130, n. 4, p. 482–489, 2004.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; AZIZ, Z. Current condition and future directions for lean construction in highways projects: A small and medium-sized enterprises (SMEs) perspective. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 2, p. 267–286, 2018.

VAN DEN BOS, A.; KEMPER, B.; DE WAAL, V. A study on how to improve the throughput time of lean six sigma projects in a construction company. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 2, p. 212–226, 2014.

VERIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS NÃO DESTRUTIVAS DE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS NA FÁBRICA PARA CONFORMIDADE DE PROJETO

Non-destructive Experimental verification in prestressed hollow-core slabs in factory environment for project compliance

Discente: Luis Fernando Borzi Bazilio, Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Para a obtenção da resistência suportada por lajes alveolares é necessária a realização de ensaios destrutivos padronizados, sendo que nestes ensaios é possível verificar o atendimento do produto quanto ao projeto. A NBR 14861 (2011) não permite a realização de ensaios simplificados em ambiente fabril por falta de estudos na área e a NBR 9062 (2017) possibilita verificações experimentais como parte do procedimento de projeto. Com base no exposto, o intuito deste trabalho é verificar a conformidade de lajes alveolares com o projeto, através da realização de ensaio não destrutivo de prova de carga em ambiente fabril de forma a se evitar a realização de ensaios destrutivos e para diminuir o desperdício de material, tempo e custo na produção de lajes alveolares protendidas.

Palavras-Chave: laje alveolar; concreto protendido; controle de qualidade; prova de carga; desempenho estrutural.

ABSTRACT

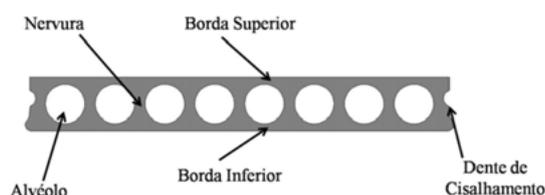
To obtain the resistance supported by hollow core slabs it is necessary to perform standardized destructive tests with its possible to verify the product compliance regarding to the project. NBR 14861 (2011) does not allow to do simplified tests in factory environment due to lack of studies and NBR 9062 (2017) allows experimental verifications as part of the procedure of the project. Exposed that, the purpose of this work is to verify the compliance of hollow core slabs with project by conducting non-destructive load test in factory environment in order to avoid destructive tests and to reduce material waste, time and cost in the production of prestressed hollow core slabs.

Keywords: hollow-core slabs; prestressed concrete; quality control; load test; structural performance.

INTRODUÇÃO

A laje alveolar é um elemento protendido ou armado, com espessura total constante e dividida em um flange superior e outro inferior, com ligação de nervuras verticais que consistem alvéolos vazios longitudinais na seção transversal (EN 1168, 2005) conforme Figura 1. O sistema possui cordoalhas de protensão como única armadura presente, sendo responsáveis por aumentar a capacidade portante, reduzir deslocamentos verticais, diminuir a fissuração do concreto e cobrirem grandes vãos. As cordoalhas podem estar dispostas tanto nas fibras inferiores como nas superiores, a depender da solicitação de cada peça, sendo responsáveis pelo suporte aos esforços no sentido longitudinal e o concreto pela resistência a tração no sentido transversal, considerando a não existência de armadura nesta direção (PETRUCCELLI, 2009).

Figura 1: Detalhe da seção transversal.



Fonte: Costa (2009)

A NBR 14861 (2011) – Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e Procedimentos trata detalhadamente de projeto, produção e montagem de lajes alveolares. Nesta norma estão detalhados como devem ser realizados o dimensionamento das lajes alveolares, considerando a necessidade de resistirem à flexão, à força cortante, à punção, ao fendilhamento longitudinal e estabelece também a resistência das chavetas ao esforço cortante. Atualmente esta norma não permite a realização de ensaios em fábrica, devendo os mesmos serem realizados exclusivamente em laboratório. A NBR 9062 (2017) – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, por outro lado, estabelece a possibilidade da realização de verificações experimentais como parte do procedimento de projeto, que permite a realização de estudos e ensaios em fábrica para validação da conformidade de projeto.

REVISÃO

Nos mecanismos de ruptura foram identificados que a laje alveolar é bastante influenciada pela geometria da peça, nível de protensão, pelas resistências a tração e compressão do concreto e pelo nível de aderência entre o concreto e a armadura ativa. É necessária atenção a parâmetros como espessura das nervuras, formato dos alvéolos, altura da laje e perdas de protensão inicial e ao longo do tempo.

Os mecanismos de ruptura, ou como Costa (2009) definiu, mecanismos de comportamento próximo ao colapso, são destacados entre os existentes:

- a) Falha por perda da ancoragem (escorregamento da armadura);
- b) Falha por cisalhamento (tensão no ponto crítico da nervura superior à resistência de tração do concreto);
- c) Falha por cisalhamento em região fissurada (com efeito combinado de cisalhamento, flexão e escorregamento);
- d) Falha por cisalhamento combinado com torção (em peças que não são planas);
- e) Falha por flexão (ELU), com grande possibilidade, próximo à ruptura, do escorregamento da armadura ativa junto ao apoio;
- f) Falha por interação dos mecanismos de flexão e cisalhamento, que pode ocorrer em peças com vãos pequenos e/ou com carregamentos mais elevados;
- g) Falha por combinação de flexão e escorregamento da armadura ativa,
- h) Separação da capa de concreto com o elemento pré-fabricado.

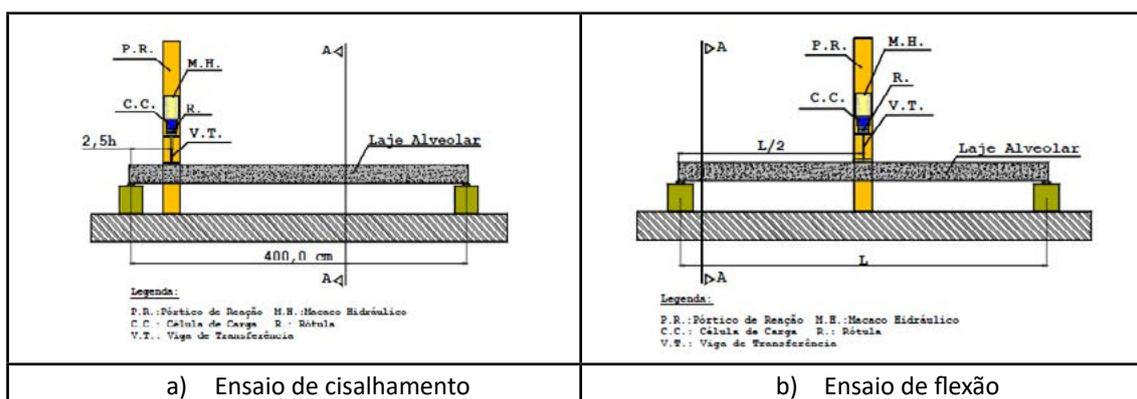
É possível identificar os mecanismos através dos ensaios de cisalhamento e de flexão, onde são encontrados as resistências ultimas dos mesmos. O ensaio de cisalhamento é utilizado para encontrar a resistência ao esforço cortante e costuma-se desconsiderar o momento torçor, sendo o ensaio padronizado proveniente do manual da FIP (1992) e da norma europeia EN 1168 (2005). Para a realização devem ser levados em consideração:

- As amostras de ensaio devem ser produzidas na mesma pista de concretagem e serem fabricadas com a mesma classe de concreto;
- Ser um elemento de largura real;
- Possuir vão de o que for maior entre 4m ou $15 \times h$;
- Temperatura de ensaio entre 0°C e 40°C ;

A força é passada pelo macaco hidráulico e célula de carga através de uma viga de transferência que deve ser rígida, preferencialmente metálica e possuir altura mínima de 150mm, sendo preferencialmente de 250mm. Podem ser utilizadas uma ou duas linhas de carga, com a carga aplicada a $2,5h$ distante do apoio, sendo h a altura da laje. A viga deve possuir largura suficiente a transferir uniformemente a força ao longo de toda a largura da laje. Em relação aos apoios da laje, o mais próximo do pórtico deve ser móvel para que não seja gerada força axial pela rotação do elemento no apoio. Deve também ser utilizado neoprene, madeira compensada ou faixa de argamassa para distribuição das cargas com 10mm de altura, de forma a compensar irregularidades da superfície da laje na direção transversal (Figura 2a).

O ensaio de flexão padrão (Figura 2b) é realizado de acordo com o manual da FIP (1992) com uma adaptação no comprimento da laje para 6 metros, segundo Ferreira *et al* (2007). Este ensaio possui como objetivo obter informações sobre a força de protensão e a resistência do concreto à tração na flexão. Para o ensaio utiliza-se uma laje com vão de 6 metros ou $30.h$ e carga aplicada no meio do vão. Durante o ensaio a força aplicada deve ser aumentada gradativamente até que ocorram fissuras por flexão, após, a laje é descarregada e carregada novamente. Desta forma, quando o momento de descompressão é atingido ocorre novamente a abertura das fissuras e é possível obter a resistência a tração na flexão e tensão de protensão no aço.

Figura 2: Ensaios destrutivos



Fonte: Costa (2009)

O procedimento do ensaio de prova de carga na fábrica, é um ensaio de flexão com a laje biapoiada e carga distribuída ou concentrada, contendo apoios nas duas extremidades em altura igual e largura de apoio suficientes as dimensões da peça e possui como etapas do processo o cálculo do ELS da laje, aplicação do carregamento de 50 a 80% da carga calculada e análise da curva de carregamento x deslocamento. A medição dos deslocamentos é realizada através de relógios comparadores analógicos em três pontos (nos apoios e no meio do vão). Antes do início do ensaio, é necessário realizar medições para caracterização geométrica da laje, posições das cordoalhas e espessura das nervuras para que sejam empregados valores médios nos

cálculos teóricos. A prova de carga pode ser feita para tanto para avaliação do elemento no ELU quanto no ELS. Para a análise do ELU o elemento é levado a ruptura e para o ELS o ensaio não é destrutivo com o carregamento aplicado de forma a preservar o comportamento elástico do elemento, fazendo com que não atinja o momento de fissuração e elimina a possibilidade de flechas residuais após o alívio do carregamento.

MÉTODO

Serão selecionados em fábrica um lote que contenha no mínimo seis peças disponíveis para realização dos ensaios em lajes alveolares protendidas pré-fabricadas com características geométricas de seção com 1,20m de largura com altura variando entre 0,15m e 0,20m, e comprimentos de 8 a 12m. Serão divididos em dois grupos contendo três peças cada, com mesmas características e idade, sendo o primeiro grupo ensaiado em fábrica, e o segundo grupo ensaiado em laboratório. Para o primeiro grupo será realizado o ensaio não destrutivo de prova de carga distribuída em ambiente fabril, de acordo com a NBR 9607 (2019), na qual será realizada a curva de progressão de deslocamento vertical de cada laje, neste momento também será feita inspeção visual à fissuração. Como carga serão utilizados vários bolsões de água de 1m de comprimento e largura da laje que preencherão toda a área em planta da laje.

Para o segundo grupo, serão realizados em laboratório os ensaios destrutivos de cisalhamento e flexão, e analisados concomitantemente o escorregamento da armadura de protensão, num intervalo de tempo de no máximo três dias após o ensaio do primeiro grupo. O ensaio de cisalhamento em lajes alveolares protendidas consiste em ensaio padrão indicados no manual da FIP (1992) e na norma europeia EN 1168 (2005). O ensaio padrão de flexão é adaptado no comprimento para lajes tipicamente brasileiras, com vão equivalente a 6 m e com força aplicada no meio do vão e aumento constante da carga de aplicação até que ocorram fissuras por flexão. Então a laje é descarregada e carregada novamente para atingir o momento de descompressão, e seja possível obter a resistência à tração na flexão e a tensão de protensão do aço através de equações.

Após a realização dos ensaios serão realizados cálculos para correlacionar os resultados obtidos entre ensaios não destrutivos no ELS e destrutivos no ELU, e se possível obter um fator de correção para em ensaios futuros ensaiar a laje em fábrica e obter um resultado confiável quanto ao atendimento da conformidade com o projeto.

RESULTADOS

Espera-se que com este trabalho se definam procedimentos de como verificar a conformidade de projeto através da realização, no ambiente fabril, do ensaio não destrutivo de prova de carga em lajes alveolares protendidas pré-fabricadas. A importância deste trabalho se dá na realização do ensaio supracitado, tendo em vista que, se validado, é possível reduzir o tempo de liberação dos lotes das lajes para o uso na construção e reduzir o desperdício de materiais na realização de ensaios destrutivos em laboratório.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos nos ensaios em laboratório, espera-se que seja possível identificar no ensaio de prova de carga realizado na fábrica, através da curva de deslocamento da peça, se a mesma está em conformidade com o projeto, ou seja, se atende a sobrecarga estabelecida em projeto, além de verificar a existência através de inspeção visual de fissuras de flexão e cisalhamento e um possível escorregamento da armadura, para que se possa adotar um nível de confiabilidade para conformidade das peças em relação ao projeto dentro do ambiente fabril, de forma a atingir os objetivos propostos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 9062 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 14861 – Lajes Alveolares pré-moldadas de Concreto Protendido – Requisitos e Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2011

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – **CEN. EN 1168 – Precast concrete products – Hollow core slabs**. (English version). Brussels: CEN, 2005.

COSTA, O. O. **Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2009.

FIB – Fédération Internationale Du Béton. CEB-FIP. **Guide to Good Practice: Quality Assurance of Hollow core Slab**. London: Published by Seto Ltd., 1992.

PETRUCELLI, N.S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2009.

FERREIRA, M.A.; FERNANDES, N.S.; CARVALHO, R.C.; ORTENZI, A.; COSTA, O.O.; FILHO, F.M.A.; DONIAK, I.L.O.; LIVI, L.O.B. Avaliação teórico experimental da capacidade resistente ao cisalhamento e a flexão em lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo, n.50, p.85-95, abr./jun., 2008.

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ADEQUABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES PARA USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Method for assessing the suitability of buildings for photovoltaic energy production

Discente: Priscila Lima de Oliveira, Engenheira Civil, Gestão, tecnologia e sustentabilidade na construção civil.

Orientador: Profa.Dra. Cristiane Bueno

Co-orientador: Prof. Dr. Douglas Barreto

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A geração de energia através do sol, é considerada a mais promissora, por ser limpa e uma das mais abundantes, sendo inesgotável em escala de tempo humano. O sistema fotovoltaico tem um grande potencial para o design dos edifícios, tornando-se, possivelmente, um elemento importante não somente para os sistemas construtivos, mas para o meio ambiente. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um método para a avaliação das condições de adequabilidade das edificações para o uso de painéis fotovoltaicos em edificações. Para isso, devem ser analisados todos os requisitos que ajudam na instalação do sistema, além de conhecer as características ambientais e meteorológicas do local analisado.

Palavras-Chave: Placas fotovoltaicas; energias renováveis; adequabilidade; AHP.

ABSTRACT

The generation of energy through the sun is considered most promising because it is clean and one of the most abundant, being unforgettable on the human time scale. The photovoltaic system has great potential for the design of buildings, possibly becoming an important element not only for building systems, but for the environment. This work consists in the development of a method to evaluate the adequacy conditions of the editions for the use of photovoltaic panels in buildings. For this, all the requirements that may be installed in the system must be analyzed, besides knowing the local environmental and meteorological resources.

Keywords: Photovoltaic plates; renewable energy; suitability; Analytic Hierarchy Process

INTRODUÇÃO

A partir da década de XX, a grande preocupação com o meio ambiente fez com que a procura por fontes de energia renováveis crescesse. Esse aumento, ajudou a propor novas soluções e uma delas é o sistema fotovoltaico, que utiliza a fonte de calor do sol como fonte de energia primária.

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um método para a avaliação das condições de adequabilidade das edificações para o uso de painéis fotovoltaicos em edificações. Para isso, devem ser analisados todos requisitos de instalação do sistema, além de conhecer as características ambientais e meteorológicas do local analisado (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2016).

O método desenvolvido, será feito por base da técnica de auxílio a decisão, chamado Analytic Hierar-

chy Process (AHP). Ele ajudará a analisar quais fatores impedem a instalação dos painéis fotovoltaicos e quais são favoráveis, facilitando na avaliação das condições de adequabilidade nas edificações.

REVISÃO DA LITERATURA

A utilização de fonte renováveis, como a solar, para a geração de eletricidade, teve início há pouco mais de 30 anos em escala comercial. Com isso, o aproveitamento dessas fontes recebeu incontáveis melhorias tecnológicas e um aumento da demanda por alternativas energéticas (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2016).

O Brasil não tem a mesma disponibilidade de recursos energéticos, com isso, surge a necessidade de buscar novas fontes de energia limpa (HAMAKAWA, 2002).

A demanda de energia renovável com a utilização de placas fotovoltaicas, vem crescendo, não somente para uso residencial, mas também em edificações industriais, comerciais e públicas, pois estas muitas vezes apresentam grandes áreas planas para a instalação das placas (SALAMONI, 2004).

A implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia, depende de diversos fatores. Os principais seriam a área disponível na edificação para colocação das placas, a radiação solar, o posicionamento das placas, a potência necessária para a instalação, a localização próxima das concessionárias de energias elétricas, e o tempo de retorno do investimento (COSTA, 2017).

Segundo (FREITAS, 2008), os sistemas fotovoltaicos são usados num vasto conjunto de aplicações distintas, que são: Eletrificação rural, onde os sistemas fotovoltaicos são utilizados para abastecimento de cargas domésticas, bombeamento de água, irrigação, complemento de abastecimento de locais remotos onde existe ou não a rede de distribuição de energia. E produção descentralizada, onde os sistemas são utilizados como fonte de produção dispersa, entregando à rede a totalidade ou parte da energia produzida.

MÉTODO

Para a realização desta pesquisa, será necessário o levantamento bibliográfico, conforme o embasamento teórico da pesquisa, sobre os sistemas fotovoltaicos, a montagem de AHP e a adequabilidade para instalação das placas em edificações.

Após o levantamento bibliográfico, será feito um levantamento de quais ferramentas são essenciais para aplicação da infraestrutura de painéis fotovoltaicos em edifícios.

Depois da análise desses fatores influentes na adequabilidade ao uso do sistema fotovoltaico, serão definidas as variáveis influentes nas edificações.

Posteriormente a coleta de dados e com o auxílio do sistema de AHP, poderá escolher qual a melhor alternativa para a instalação dos painéis fotovoltaicos, se serão viáveis ou não para aquela edificação.

RESULTADOS ESPERADOS

Após estabelecido os critérios de instalação dos painéis fotovoltaicos, juntamente com o auxílio do método AHP, será feita a avaliação das condições de adequabilidade da edificação analisada para o uso das placas.

Espera-se com esse projeto de pesquisa, orientar todas as pessoas que estejam com a intenção do uso do sistema fotovoltaico em sua edificação, ter um laudo sobre a instalação, visando o custo, aplicabilidade da instalação desse sistema.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

A demanda de energia do mundo está crescendo rapidamente por causa da explosão populacional e dos avanços tecnológicos. Portanto, é importante buscar uma fonte de energia renovável confiável, econômica e permanente para a demanda de energia que surja no futuro. A energia solar, entre outras fontes renováveis de energia, é uma fonte de energia promissora. A indústria solar seria definitivamente a melhor opção para a

futura demanda de energia, uma vez que é superior em termos de disponibilidade, rentabilidade, acessibilidade, capacidade e eficiência em comparação com outras fontes de energia renováveis. Além disso, o uso de painéis fotovoltaicos ajuda não só no meio ambiente, como também no custo.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, E. New Commercial Buildings in France Must Get Green Roofs or Solar Panels. IEEE Spectrum, v. 12, 2015.

DUPONT, F.; RECH, C.; PINHEIRO, J. A methodology to obtain the equations for the calculation of the weighted average efficiency applied to photovoltaic systems. In: IEEE/IAS International Conference on Industry Applications. IEEE, p.8, 2012.

ELLABBSN; OMAR; HAITHAM; ABU-RUB; BLAABJERG. "Recursos energéticos renováveis: status atual, perspectivas futuras e sua tecnologia capacitadora". Revisões de Energia Renovável e Sustentável. v.39, p. 764, 2014.

SANTOS, M. Dimensionamento e retorno de investimento de geração de energia solar residencial: um estudo de caso no município de Lagoa Santa-MG. p. 44, 2016.

COSTA, E. Análise da viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos em uma edificação já construída na cidade de Alegrete-RS. p. 63, 2017.

DUPONT, F.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável Renewable Energies: seeking for a sustainable energy matrix. p. 81, 2016.

HIROSHI, F. Potencial do método AHP (Analytic Hierarchy Process) como subsídio às tomadas de decisão. p. 52, 2016.

LANGE, W. Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico. p. 35, 2012.

NETO, A. Avaliação dos Impactos de Sistema Fotovoltaicos Conectados à rede de Distribuição de Baixa Tensão, p. 109, 2016.

SALAMONI, I. Metodologia para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte. p. 155, 2004.

SEIKE, H. Estudo de viabilidade para implementação de um sistema distribuído fotovoltaico no edifício residencial Reserva Ecoville. p. 95, 2017.

SOFIA, S.; FREITAS, A. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos Engenharia Industrial Engenharia Electrotécnica. p. 104, 2008.

VALLÊRA, A.; BRITO, M. Meio século de história fotovoltaica. Gazeta de Física, v. 1, p. 2, 2006.

GONÇALVES, I.; CUNHA, E.; RHEINGANTZ, P. Estudo da Relação Custo-Benefício na Implantação de Diferentes Sistemas Fotovoltaicos em um Edifício de Escritórios na ZB 2. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, v. 14, 2017.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EMPRESARIAL DE ACORDO COM A MENTALIDADE LEAN EM EMPREENDIMENTOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Business performance assessment based on Lean Thinking in social housing projects

Discente: Priscila Mirapalmete Rodegheri, Engenheira Civil

Orientador (co-orientador se houver): Profa.Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A *Lean Constructio* (LC) é uma filosofia que dá suporte ao crescimento e desenvolvimento da Indústria da Construção Civil (ICC), apesar disso, há certa resistência de empresas em aderirem a ela devido a dificuldade de verificar sua influência nos indicadores de desempenho tradicionalmente utilizados. Com isso, busca-se relacionar a mentalidade *lean* em empreendimento da Habitação de Interesse Social (HIS) a indicadores de desempenho utilizados nestes projetos. A fim de atingir esses objetivos, serão desenvolvidos estudos de caso e coleta de dados através de questionários para realizar análise de conteúdo e apresentar as relações e os resultados.

Palavras-Chave: Lean Construction, Maturity Models, Performance Measurement Systems, Indicadores de Desempenho, Habitação de Interesse Social

ABSTRACT

Lean Construction (LC) is a philosophy that supports the growth and development of the Construction Industry (CI), although there is some company's resistance to joining into this due to the low influence on performance indicators traditional used. Thus, this research aim relates to lean mentality in social housing projects to used performance indicators. To achieve these goals, case studies and data collection through questionnaires will be developed to conduct content analysis and present the relationships and results.

Keywords: Lean Construction, Maturity Models, Performance Measurement Systems, Performance Indicator, Social Housing Projects

INTRODUÇÃO

O setor da construção compreende parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e inclui grande diversidade de atividades econômicas e profissionais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2019a, 2019b). Sendo assim, esse setor tem importância significativa na economia e desenvolvimento nacional, necessitando de apoio para seu crescimento e desenvolvimento tecnológico e, dessa forma gerar renda aos diferentes envolvidos assim como entregar produtos adequados.

Mostrando preocupação com o cenário atual da Indústria da Construção Civil (ICC), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) elaborou documento com diretrizes para que este setor acompanhe a perspectiva de evolução das demais indústrias rumo a chamada Indústria 4.0. Para isso, são apontadas soluções como a adoção da *Lean Construction* (LC) a fim de aprimorar os processos utilizados no setor (CBIC, 2018).

Através da sinalização dada pela CBIC sobre a disseminação da aplicação da LC nessa indústria, aliada ao crescente déficit habitacional vivenciado no Brasil (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2018), entende-se que é preciso focar a melhoria e avanço da ICC no setor de habitação. Além disso, as modificações realizadas em ambiente empresarial precisam ser acompanhadas e aferidas a fim de verificar a efetividade dessas medidas. Portanto, esta pesquisa tem como propósito estabelecer a relação entre desempenho empresarial e a LC

focado no setor de Habitação de Interesse Social (HIS), respondendo a pergunta: qual a relação entre desempenho empresarial e a mentalidade enxuta no nicho de HIS?

REVISÃO

A *Lean Constructio* (LC) promove mudanças nas esferas social, econômica e no ambiente empresarial onde é aplicada (GONTIJO; SANTANA; PRADO, 2018). Ela combina características da produção em massa e artesanal para que os produtos entregues sejam elaborados com utilização mínima de recursos e máxima otimização dos processos, não apresentando defeitos e atendendo as expectativas dos clientes (WOMACK; JONES; ROSS, 2004). Para a adequada aplicação dos ideais *lean* é necessário engajamento das equipes e alinhamento da estratégia e objetivos da empresa aos princípios e práticas da LC, dessa forma, a jornada iniciada possibilita melhor desempenho empresarial, usufruindo dos benefícios oriundos desta filosofia (NESENSOHN, 2014; SOTO, 2016).

A bibliografia aponta a relação entre os princípios da LC e abordagens de gestão empresarial (GOMES; CAVALCANTE FILHO; BARROS NETO, 2018). Tradicionalmente, estratégias de gestão são aferidas e acompanhadas para que o desempenho empresarial seja avaliado e novas metas estratégicas sejam traçadas. Para alcançar as metas estabelecidas e aferir o desempenho, são utilizados *Performance Measurement Systems* (PMS), estes sistemas integram diferentes ferramentas e fornecem dados com os quais é possível traçar diretrizes para ações efetivas na busca dos objetivos traçados (LORENZON, 2008; SOUSA; CÂNDIDO; BARROS NETO, 2017).

PMS englobam diferentes processos, sendo os principais o de medir e o de gerir o desempenho. Para apoiar o primeiro processo, são utilizados *Maturity Models* (MM) (BARTH, 2007; LORENZON, 2008). Os MM voltados a LC encontrados na literatura possuem abordagens distintas, porém, nota-se que, além de aferirem o estado atual de maturidade, eles fornecem informações que permitem mudanças sistemáticas e diretas, portanto mais assertivas na busca do desempenho empresarial vinculado as práticas *lean* (NESENSOHN, 2014; NESENSOHN et al., 2014; SOTO, 2016).

MÉTODO

A fim de atingir os objetivos traçados inicialmente e responder a questão proposta, foi definido como objeto o estudo de casos múltiplos em que diferentes empreendimentos de HIS serão avaliados. As avaliações se darão através de questionários a fim de coletar dados sobre desempenho por parte das empresas, verificando os indicadores utilizados, os processos envolvendo PMS e o desempenho propriamente dito. Além disso, será aferida a maturidade dos empreendimentos selecionados em relação a filosofia *Lean* através de MM voltados a LC. A partir disso uma análise de conteúdo será conduzida, buscando-se a correlação entre LC e desempenho em HIS para a amostra selecionada.

RESULTADOS

Através dessa pesquisa, espera-se verificar efetiva correlação entre parâmetros de desempenho empresarial e a LC no nicho de HIS. Objetiva-se caracterizar os princípios e práticas dessa filosofia que colaboram ao atendimento das necessidades de empreendimentos de HIS e, conseqüentemente, ao bom desempenho dos mesmos. Este trabalho fará uso de MM existentes na literatura e não serão propostos novos indicadores de desempenho, mas estes serão otimizados para empreendimentos voltados a HIS. É necessário destacar a intrínseca dependência dos resultados da pesquisa com a transparência das empresas selecionadas, podendo os resultados terem influência do ambiente e pessoas envolvidas na pesquisa.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

As atividades propostas nesta pesquisa devem ser realizadas de outubro de 2019 a novembro de 2020. Englobarão empresas construtoras de empreendimentos do tipo HIS independentemente de seu porte, uso ou não de LC, localização geográfica e abrangência no território nacional. Devido a restrição de verbas, será dada preferência a empresas situadas na região de São Carlos e, para as demais localidades, os dados serão coletados através da aplicação do questionário e troca de arquivos por meio digital.

REFERÊNCIAS

BARTH, K. B. **Melhoria de sistemas de medição de desempenho através do uso de painéis de controle para a gestão da produção em empresas de construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2007.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Habitação - 10 anos no futuro**. Brasília - DF - BR. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/05/CBIC-Habitacao_Rlatorio_Final.pdf>, 2018. Acesso em agosto 2019.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Análise das necessidades habitacionais e suas tendências para os próximos dez anos**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 2018.

GOMES, M. M. B.; CAVALCANTE FILHO, J. U. P.; BARROS NETO, J. P. **Planejamento estratégico na indústria da construção civil: áreas, temas, técnicas e métodos**. Em: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Anais... Foz do Iguaçu - PR - BR. 2018.

GONTIJO, D. S. M.; SANTANA, J. C.; PRADO, A. A. **Análise dos requisitos para a implementação da filosofia lean green construction em edificações de pequeno porte**. Em: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Anais... Foz do Iguaçu - PR - BR. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)**. Brasília - DF - BR. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?view=estrutura>> Consultado em Agosto/2019> Acesso em agosto 2019a.

_____. **Indicadores IBGE: Contas nacionais trimestrais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Brasília - DF - BR. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Consultado em Agosto/2019> Acesso em agosto 2019b.

LORENZON, I. A. **A medição de desempenho na construção enxuta: estudos de caso**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2008.

NESENHORN, C. **An innovative framework for assessing lean construction maturity**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia) - Liverpool John Moores University, Liverpool, 2014.

_____. **Maturity and maturity models in lean construction**. Australasian Journal of Construction Economics and Building, v. 14, n. 1, p. 45–59, 2014.

SOTO, U. Evaluación de la madurez de los principios Lean en proyectos de construcción. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Pontificia Universidad Católica De Chile, 2016.

SOUSA, D. S. V.; CÂNDIDO, L. F.; BARROS NETO, J. P. **Medição de desempenho na construção civil: um estudo exploratório com construtoras cearenses**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 9–29, 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. F.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 10. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS DE MONITORAMENTO DE CORROSÃO APLICADAS EM ARMADURAS EMBUTIDAS EM CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA

Electrochemical corrosion monitoring techniques applied to reinforced mortars specimens

Discente: Thiago Alex Hemkemeier, Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Almir Sales

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A corrosão é um dos principais problemas que afetam a vida útil das estruturas de concreto armado. Para reduzir esse problema é importante realizar manutenções periódicas nas edificações. Existem diversas técnicas de monitoramento da corrosão, como o potencial de circuito aberto (PCA) e a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). Ambas possuem parâmetros que podem influenciar seus resultados, por exemplo, a utilização de ciclos de secagem e molhagem, uso de diferentes tipos de eletrodo de referência e imersão total ou parcial na solução na técnica de potencial de circuito aberto, e o posicionamento do eletrodo de referência na técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica. Com isso, o presente estudo visa aprimorar essas técnicas por meio da variação de parâmetros e análise de sua influência nos resultados, visando fornecer informações ao meio técnico e científico sobre o melhor procedimento a ser adotado, buscando resultados mais precisos em menos tempo.

Palavras-Chave: Corrosão, técnicas de monitoramento, eletroquímica.

ABSTRACT

Corrosion is one of the major problems affecting the lifespan of reinforced concrete structures. To reduce this problem, it is important to perform periodic maintenance on buildings. There are several corrosion monitoring techniques, such as the open circuit potential (OCP) and the electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Both have parameters that can influence their results, for instance, the use of drying and wetting cycles, different types of the reference electrode and solution total or partial immersion in the open circuit potential technique, and the placing of the reference electrode in the spectroscopy electrochemical impedance technique. Therefore, the main goal of this study is to improve these techniques by the parameters variation and analysis of their influence on the results, aiming to provide information to the technical and scientific environment about the best procedure to be adopted, seeking more accurate results in less time.

Keywords: Corrosion, monitoring techniques, electrochemical.

INTRODUÇÃO

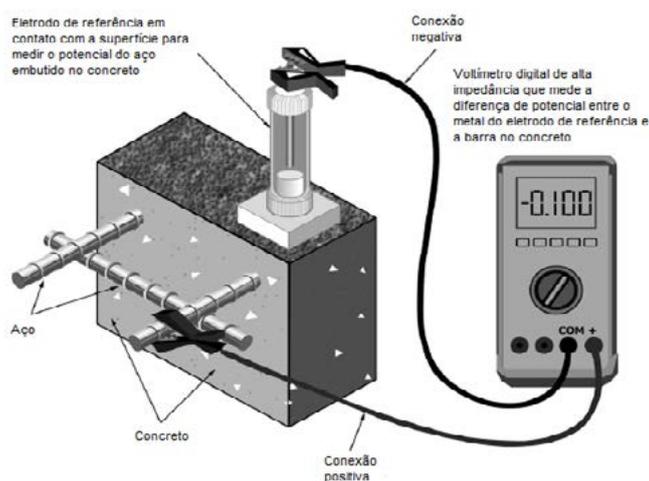
Com o intuito de reduzir os problemas na construção civil relacionados à corrosão, é importante a realização de manutenções periódicas nas edificações. Existem diversas técnicas adotadas para monitorar o processo de corrosão, entretanto, as mais utilizadas são o potencial de circuito aberto (PCA) e a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) (RIBEIRO; CUNHA, 2018). A técnica de PCA fornece dados qualitativos e a de EIE, quantitativos, e se utilizadas em conjunto podem fornecer informações importantes sobre o estado em que a corrosão se encontra. A técnica de PCA é padronizada pela *ASTM C876 – 15*, enquanto a técnica de EIE não possui norma que a preconiza, somente ensaios baseados em conceitos eletroquímicos realizados por diversos autores. As duas técnicas possuem parâmetros que se alterados podem influenciar nos resultados dos ensaios tornando-os mais demorados ou até mesmo imprecisos e por isso devem ser investigados.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo aprimorar os procedimentos de avaliação da corrosão em corpos de prova de argamassa, nas técnicas de potencial de circuito aberto e espectroscopia de impedância eletroquímica. Para alcançá-lo, os objetivos específicos são avaliar a influência de ciclos de secagem e molhagem, comparar a utilização de diferentes tipos de eletrodos de referência e investigar a imersão total e parcial da amostra na solução na técnica de potencial de circuito aberto, além de analisar o efeito do posicionamento do eletrodo de referência na técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica.

REVISÃO

A técnica de potencial de circuito aberto foi implementada para realizar o monitoramento da corrosão em armaduras de aço embutidas em concreto e é padronizada pela *ASTM C876 - 15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* (ASTM, 2015). Essa técnica é muito utilizada tanto no campo, como laboratorialmente por não necessitar de aparato experimental sofisticado (RIBEIRO; CUNHA, 2018). A Figura 1 apresenta um esquema contido na *ASTM C876 – 15* exemplificando a realização da técnica de PCA.

Figura 1 – Esquema para medição do potencial de corrosão



Fonte: adaptado de *ASTM C876 – 15* (2015)

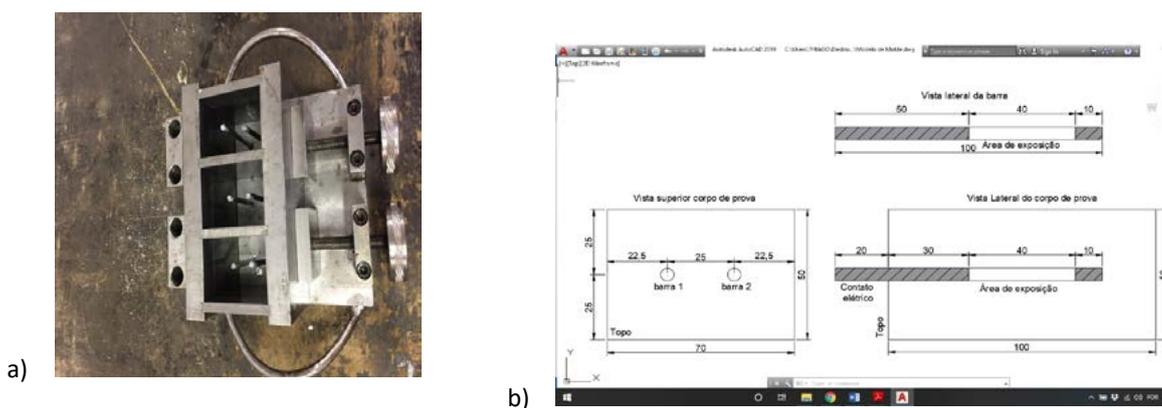
O princípio da técnica consiste em medir a diferença de potencial entre o eletrólito (aço/concreto) e o eletrodo de referência. O aparato experimental proporciona a transferência de corrente das regiões anódicas para as catódicas e o eletrodo de referência tem o papel de identificar essas linhas de correntes. Mesmo sendo uma técnica muito utilizada, é discutível, pois seus resultados dependem de diversos fatores, como tipo de material empregado, condições de serviço, tipo e característica do cimento, além de outros fatores (KOGA; ALBERT; NOGUEIRA, 2018). Sendo assim, é importante que sejam realizadas análises referentes a parâmetros que podem influenciar nos resultados dos ensaios experimentais. Poucos estudos buscaram revisar e melhorar a norma que padroniza o ensaio, visto que seu procedimento pode variar em função de diversos parâmetros. Koga, Albert e Nogueira (2018), Assouli, Ballivy e Rivard (2008) e Medeiros et al. (2017) são alguns dos autores que estudaram parâmetros que influenciam nos resultados da técnica. Por meio da técnica de EIE é possível adquirir dados sobre a velocidade de corrosão, mesmo em ambientes altamente resistivos, saber a situação em que a armadura se encontra e a estrutura da corrosão. Diversos autores utilizaram a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica para avaliar a corrosão ou a passivação do aço embutido em concreto, e também a eficiência de inibidores de corrosão (CAO et al., 2017; KOGA et al., 2018"ISSN": "00134686", "abstract": "An extensive experimental program was designed to investigate the passivation of

reinforced low carbon-release Belite-Ye'elimito-Ferrite (BYF; REZENDE, 2019). Porém, não foram encontrados estudos relacionados a influência da posição do eletrodo de referência no ensaio. Portanto, esse parâmetro será analisado visando fornecer informações sobre a melhor maneira de realizar este posicionamento.

MÉTODO

O programa experimental será composto por três etapas conforme a Figura 3. Na primeira e segunda etapa serão confeccionados corpos de prova para o ensaio de PCA e serão avaliados diversos parâmetros preconizados pela norma *ASTM C876 - 15 (2015)*. Cada etapa possui duas situações onde os parâmetros apresentados na Figura 3 serão variados. Já a terceira etapa será composta pelo ensaio de EIE, o qual será realizado nos corpos de prova que já passaram pelo ensaio de PCA. Nessas situações será avaliado o posicionamento do eletrodo de referência. Os materiais que serão utilizados no presente estudo são: cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI), areia fina e areia média. Além disso, serão utilizados o aço CA-60, água deionizada, hidróxido de cálcio e cloreto de sódio. A preparação das barras de aço será realizada com base na norma *G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens* (ASTM, 2011). Para a moldagem dos corpos de prova será utilizado o molde apresentado na Figura 2a. E a posição das barras nos corpos de prova e suas áreas expostas ao processo de corrosão estão apresentadas na Figura 2b.

Figura 2 – Molde para corpo de prova prismático (a) e área de exposição da barra de aço (b)



Fonte: O autor

Figura 3 – Programa experimental

Fonte: O autor

Já para a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica serão utilizados os corpos de prova que já passaram pelo ensaio de potencial de circuito aberto, conforme apresentado no início do programa experimental. Os dados serão medidos por um potenciostato em conjunto com um software que permite a aquisição e tratamento dos dados.

RESULTADOS ESPERADOS

Por meio do presente estudo espera-se que as técnicas de potencial de circuito aberto e de espectroscopia de impedância eletroquímica sejam aprimoradas no quesito de obter resultados mais rápidos e mais preci-

sos. Para que esse resultado seja alcançado, espera-se obter respostas quanto a utilização ou não de ciclos de secagem e molhagem dos corpos de prova, apontando a eficiência da utilização desse procedimento e sua influência no tempo do ensaio de potencial de circuito aberto. Além disso, almeja-se apontar entre os dois diferentes tipos de eletrodo de referência a serem utilizados, se a escolha de um ou outro influencia nos resultados dos ensaios. Também deseja-se informar a importância da imersão parcial com relação a imersão total dos corpos de prova na solução de NaCl para o monitoramento de corrosão. Por fim espera-se definir o melhor posicionamento do eletrodo de referência na execução da técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica. Portanto, por meio dos resultados encontrados será possível fornecer informações para o meio técnico e científico relacionadas à melhor utilização das técnicas de PCA e EIE em análises laboratoriais de monitoramento de corrosão.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Até o momento já foram definidos os materiais, moldes e equipamentos a serem utilizados na pesquisa. Os corpos de prova já foram moldados conforme o programa experimental apresentado e já passaram pelo processo de cura úmida em hidróxido de cálcio durante 28 dias. Estão sendo realizadas leituras de potencial de corrosão conforme o que foi apresentado.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). G1 - 03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, **2011**.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). C876 - 15 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete Annual Book of ASTM Standards Philadelphia, **2015**.

ASSOULI, B.; BALLIVY, G.; RIVARD, P. Influence of environmental parameters on application of standard ASTM C876-91: half cell potential measurements. Corrosion Engineering, Science and Technology, v. **43**, n. **1**, p. **93–96**, **2008**.

CAO, Y. et al. Multifunctional inhibition based on layered double hydroxides to comprehensively control corrosion of carbon steel in concrete. Corrosion Science, v. **126**, n. **July**, p. **166–179**, **2017**.

KOGA, G. Y. et al. A comparative study of mild steel passivation embedded in Belite-Ye’elinite-Ferrite and Portland cement mortars. Electrochimica Acta, v. **261**, p. **66–77**, **2018**.

KOGA, G. Y.; ALBERT, B.; NOGUEIRA, R. P. Revisiting the ASTM C876 standard for corrosion of reinforcing steel : On the correlation between corrosion potential and polarization resistance during the curing of different cement mortars. Electrochemistry Communications, v. **94**, n. **July**, p. **1–4**, **2018**.

MEDEIROS, M. H. F. et al. Corrosion potential: influence of moisture, water-cement ratio, chloride content and concrete cover. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. **10**, n. **4**, p. **864–885**, **2017**.

REZENDE, M. DE A. M. Matriz cimentícia produzida com resíduo agroindustrial: Reação álcali-agregado, ataque por sulfatos e passivação do aço. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, **2019**.

RIBEIRO, D. V.; CUNHA, M. P. T. Uso de técnicas de avaliação e monitoramento da corrosão em estruturas de concreto armado. In: Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. Rio de Janeiro: Elsevier, **2018**. p. **291–350**.

DIAGNÓSTICO DA DISSEMINAÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA DO BIM BR

Dissemination diagnosis of the first stage of BIM BR

Discente: Thiago Rodrigo de Oliveira Alves, bacharel em Engenharia Civil, Especialização Lato Sensu em Docência no Ensino Superior

Orientadora: Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A integração de tecnologias BIM ao setor da arquitetura, engenharia e construção (AEC) representa atualmente uma das principais opções de investimento para a modernização e reestruturação das práticas de compartilhamento de informações. O Governo Federal, com o objetivo de proporcionar maior economia, eficiência e transparências às suas obras, estabeleceu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (BIM BR). Todavia, destaca-se uma lacuna entre o desenvolvimento acadêmico de pesquisas BIM da última década e sua implantação propriamente dita neste mesmo período. O objetivo deste estudo é verificar qual a receptividade e condições necessárias para atender as metas estipuladas para sua disseminação do BIM BR. Realiza-se pesquisa qualitativa de cunho descritivo e exploratório, através de estudo de caso de microrregião do interior do Estado de São Paulo. Pretende-se através deste estudo, estabelecer parâmetros para o aprimoramento das possíveis necessidades a serem identificadas, visando-se a criação de melhores condições para sua implantação.

Palavras-Chave: BIM BR; diagnóstico BIM; Modelagem da Informação; Disseminação.

ABSTRACT

The integration of BIM Technologies to the AEC Industry it is one of the main investment options for the modernization and restructuring of information sharing practices. The Federal Government, in order to provide greater economy, efficiency and transparency to its works, established the National Strategy for the Dissemination of BIM BR. However, there is a gap between the academic development of BIM research of the last decade and its implementation in this same period. The purpose of this paper is to verify the receptivity and conditions necessary to meet the goals set for the dissemination of BIM BR.

A qualitative descriptive and exploratory research is conducted through a case study of microregion of the interior of the state of São Paulo. It is intended to establish parameters for the improvement of the possible needs to be identified, aiming at creating better conditions for its implementation.

Keywords: BIM BR; BIM diagnosis; Building Information Model; Dissemination.

INTRODUÇÃO

O BIM (Building Information Modeling) corresponde atualmente a uma das opções de investimento para a modernização do setor da arquitetura, engenharia e construção mais promissoras (SUN et al., 2017), permitindo através da utilização de maquetes 3D, na reordenação e reestruturação dos sistemas de comunicação e compartilhamento de informações.

Todavia, ao comparar-se o setor da construção civil aos demais ramos de produção, constata-se maior dificuldade e resistência a mudanças para a implantação e acompanhamento de novas tecnologias, tendo os projetos em 2D impressos como sua principal forma de projeção, apresentando-se limitações quanto a recur-

para modernização de equipamentos e serviços, além de necessitar do investimento na capacitação de pessoal para o domínio e disseminação da metodologia BIM, e para a desmistificação do compartilhamento de informações.

Portanto, entende-se que as iniciativas do Governo brasileiro para direcionar e incentivar a disseminação do BIM deva garantir o equilíbrio entre os elementos formadores da Trílice Hélice (governo, academia e indústria), pois, divergências entre os três membros podem refletir diretamente nos resultados a serem obtidos através da implantação do BIM BR.

O objetivo deste estudo é identificar qual a receptividade e condições necessárias para a implantação do BIM BR por parte do poder público através das metas federais estipuladas para sua disseminação.

Observa-se que, as pesquisas realizadas no Brasil sobre o tema BIM no setor da construção civil encontram-se em estágio muito mais avançado do que a sua implantação propriamente dita.

Outrossim, são identificados diversos fatores limitantes, classificados em cinco grupos: Tecnologia, Custo, Gestão, Capacitação Pessoal e Questões Legais (SUN et al, 2017), os quais apresentam-se como obstáculos para a implantação de novas filosofias no setor da construção civil.

Deste modo, pretende-se analisar as possíveis lacunas e obstáculos para o cumprimento da Etapa 1 do BIM BR.

REVISÃO

O campo da arquitetura, engenharia e construção (AEC) vem ao longo dos últimos anos apostando na integração do setor com tecnologias BIM, obtendo-se resultados auspiciosos (EASTMAN et al. 2011).

O Governo Federal, com o objetivo de proporcionar maior economia, eficiência e transparências as obras federais, apresentou no ano de 2018 a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, também designada como Estratégia BIM BR.

Através de plataformas BIM criam-se modelos virtuais contendo uma gama de informações sobre o projeto, construção e ciclo de vida de uma edificação, porém, não corresponde a apenas um modelador 3D, sendo fundamental desvincular sua compreensão as visões restritamente comerciais apresentadas por fabricantes de softwares. Muito além de conceber maquetes em 3D, a plataforma BIM corresponde a uma filosofia de incorporação de diversos ramos profissionais do setor da AEC, originando-se o sustentáculo para a realização de novas competências e funções entre os membros participantes de toda a vida de um edifício. (EASTMAN et al. 2008, 2011).

Constata-se que a adoção da filosofia BIM tem como resultados melhorias na qualidade e economicidade, redução significativa do tempo de duração de tarefas, além de possibilitar o controle orçamentário pontual para cada atividade, verificação de qualidade e acesso a banco de dados partilhado e preciso para cada elemento presente no desenho, resultados os quais não bastaria uma simples modelagem em 3D para acessá-los.

O processo de implantação da filosofia BIM revela-se como uma operação árdua e com grande complexidade, particularmente por exigir uma visão de compartilhamento de informações e atuação profissional singular, necessitando-se da ruptura de velhos paradigmas sobre o exercício das atividades durante a execução de um projeto, revendo convicções sobre a propriedade e partilha de dados.

Contudo, constata-se que fatores como limitação tecnológica e custos para a introdução de novos softwares e sistemas possam intervir de maneira negativa, dificultando o processo de implantação de plataformas BIM. Sun et al. (2017) determina os principais fatores limitantes para a implantação do BIM para a indústria da construção, classificando-os em cinco grupos distintos: categoria Tecnológica, Custos, Gerenciamento ou Gestão de Pessoas, Fatores Pessoais, e Jurídica.

O BIM representa atualmente uma das principais opções de investimento para a modernização do setor da arquitetura, engenharia e construção, contudo, ao analisarmos o cenário atual do campo da AEC, constata-se

que o sistema de comunicação baseia-se predominantemente pela utilização de papel para a representação e compartilhamento de projetos e informações. Além de resultar em comunicações fragmentadas, que possam acarretar em atrasos no cronograma e erros na produção, destaca-se a possibilidade de prováveis problemas judiciais (EASTMAN, 2011).

Fundamentando-se em toda a argumentação apresentada, depreende-se que a implantação do BIM no mercado brasileiro não será uma tarefa simples, haja vista que atualmente o Governo Federal decretou orientações para a implantação dessa filosofia. O decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (BRASIL, 2018a), substituído pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 (BRASIL, 2019), que dispõe sobre as diretrizes para a disseminação do Building Information Modeling no Brasil (BIM BR), visando sua difusão por todo país.

Identifica-se a possibilidade de possíveis conflitos de interesse entre o governo, indústria e academia, primeiramente o governo tem o compromisso de atender as metas estipuladas para implantação do BIM BR, a academia, apesar do fluxo de pesquisas, tem o desafio de produção de novas tecnologias e de capacitar estudantes e profissionais, e por fim, espera-se da indústria melhor desempenho junto ao mercado de valores.

Refletindo-se sobre as possíveis dificuldades para a implantação do BIM no mercado, as diretrizes foram escalonadas em três períodos, conforme apresentado anteriormente. Deste modo, a primeira fase concentra-se nas atividades de projetos do setor EAC para novas construções ou ampliações, direcionando-se nas áreas de estrutura, instalações hidráulicas e elétricas, disciplinas pertinentes a aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), e no auxílio para gerar quantitativos e representações gráficas dos grupos em foco (BRASIL, 2018b).

MÉTODO

Realiza-se pesquisa qualitativa de cunho descritivo e exploratório, através da abordagem indutiva, isto é, através da observação de experiências particulares, criam-se generalizações conceituais, as quais serão testadas e poderão ser adotadas como verdadeiras (DINIZ; SILVA, 2008).

A pesquisa será dividida em três etapas, primeiramente na realização de revisão bibliográfica, logo após na realização de pesquisa de campo, e por fim, na análise e interpretação dos dados coletados.

Pesquisa de Campo

A metodologia utilizada para esta segunda etapa da pesquisa, será a realização de pesquisa de campo exploratório-descritiva que utilizará as técnicas de aplicação de questionários e realização de entrevista para coleta de dados, com o intuito de salientar qual a receptividade e preparo por parte de profissionais de pequenas e médias construtoras, poder público municipal e universidades, para suprir aos requisitos para a implantação da Etapa 1 do BIM BR, objetivando-se definir estratégias para intervir neste cenário, modificando-o de modo a favorecer e facilitar a utilização dessa nova filosofia.

Adotam-se como estudo de caso os municípios presentes na Microrregião de Catanduva, localizada na Mesorregião de São José do Rio Preto, no estado de São Paulo. A Microrregião é composta por 13 municípios, sendo estes: Catanduva, Severínia, Pindorama, Santa Adélia, Tabapuã, Palmares Paulista, Cajobi, Ariranha, Catiguá, Paraíso, Novais, Elisiário e Embaúba.

A escolha desta microrregião deu-se devido ao fato de mais de 90% dos municípios integrantes possuírem população inferior a 20 mil habitantes, fator este que representa a provável inexistência de planos diretores nessas municipalidades, fator significativo para o pleito de verbas públicas pela união, além de sugerir maior dificuldade na realização de investimentos nos setores de arquitetura, engenharia e construção civil.

RESULTADOS

Pretende-se através deste estudo, estabelecer parâmetros para o aprimoramento das possíveis necessidades a serem identificadas por parte do poder público, indústria e universidade, visando-se a investigação dos principais obstáculos e propondo-se estratégias para criação de melhores condições para o atendimento da Etapa 1 do BIM BR.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Constata-se no setor da arquitetura, engenharia e construção (AEC) maior dificuldade e resistência a mudanças para a implantação e acompanhamento de inovações tecnológicas, apresentando-se limitações para o investimento na modernização tecnológica e na introdução de novas metodologias de trabalho, além de notória necessidade de investimento na capacitação de pessoal para o domínio e disseminação da metodologia BIM, e para a desmistificação do compartilhamento de informações, fatores estes que podem dificultar o processo de implantação de plataformas BIM.

REFERÊNCIAS

AZHAR, S.; Hein, M.; Sketo, B. 2011. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, *Leadership and Management in Engineering* 11(3): 241–252. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)>. Acesso em 03 de agosto de 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília, DF, maio 2018a. Disponível em: <<http://www.bim.pr.gov.br/arquivos/File/DecretoFederal9377.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

_____. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF, agosto 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm>. Acesso em: 26 de agosto de 2019.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Livroto Estratégia BIM BR – Construção Inteligente. Brasília, DF, 2018b. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/Livreto_Estrategia_BIM_BR-6.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

DINIZ, C. R.; SILVA, I. B. da. Metodologia científica. Campina Grande, Natal: UEPB/UFRN - EDUEP, 2008, D585, ISBN: 978-85-87108-98-2. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/ava/arquivos/cursos/geografia/metodologia_cientifica/Met_Cie_A04_M_WEB_310708.pdf>. Acesso em: 27 de agosto de 2019.

EASTMAN, C. et al. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Chapter1. New Jersey - USA: John Wiley & Sons, Inc., 2nd ed. 2011. Disponível em: <https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/BIM_Handbook_Preface_Chapter1.pdf>. Acesso em: 31 de julho de 2019.

ETZKOWITZ, H. Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Social Science Information*, California, v. 42, n. 293-337, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/249733214_Innovation_in_Innovation_The_Triple_Helix_of_University-Industry-Government_Relations>. Acesso em: 31 de julho de 2019.

SUCCAR, B. Building information modeling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, Netherlands, n. 18, p. 357-375, 2009. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2942066/mod_resource/content/1/2009-Building_information_modelling_framework_A_research_and_delivery_foundation_for_industry_stakeholders.pdf%20%20281%29.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2019.

SUN, C.; JIANG, S.; SKIBNIEWSKI, M. J.; MAN, Q.; SHEN, L. A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, Lithuania, v. 23, p. 764-779, 2017. ISSN 2029-4913, doi:10.3846/20294913.2015.1087071. Disponível em: <<https://journals.vgtu.lt/index.php/TEDE/article/view/685/502>>. Acesso em: 03 de agosto de 2019.

DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE EMPREENDIMENTOS DO TIPO *STUDENT HOUSING*

Guidelines for the Development of Student Housing Projects

Discente: Hyago Maurício Bremm Muller, Engenheiro Civil

Orientador Prof. Dr. José da Costa Marques Neto

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificação (27/08/2019, José da Costa Marques Neto, Eliane Monetti, Herick Fernando Moralles)

RESUMO

O nicho de mercado *Student Housing* já atingiu a maturidade em vários países da Europa, Ásia e Estados Unidos. Somente no ano de 2018, foram investidos US \$ 17,1 bilhões em moradias estudantis no mundo todo. As novas gerações de estudantes estão mais exigentes por uma melhor qualidade de acomodação, quartos equipados e banheiros privativos, bem diferente das acomodações tradicionalmente oferecidas pelas universidades, com dormitórios antigos, banheiros e refeitórios compartilhados. No Brasil esse mercado ainda é pouco desenvolvido de maneira organizacional, onde os principais agentes são pequenos empreendedores, investidores individuais e instituições públicas. Vários estudos mostram que grande parte dos produtos ofertados apresentam vários problemas, motivados pela baixa qualidade do ambiente construído. Visto a real situação do mercado imobiliário estudantil brasileiro, esta pesquisa objetiva, por meio de uma investigação das necessidades dos estudantes brasileiro, propor diretrizes para orientar os agentes desse mercado no processo de desenvolvimento de seus produtos.

Palavras-Chave: moradias estudantis; empreendimentos de base imobiliária; ativos imobiliários alternativos; demanda habitacional.

ABSTRACT

The Student Housing niche has already matured in a number of countries in Europe, Asia and the United States. In 2018 alone, \$ 17.1 billion was invested in student housing around the world. New generations of students are demanding more for better quality accommodation, equipped rooms and private bathrooms, quite different from the traditional university accommodation, with old dormitories, shared bathrooms and dining halls. In Brazil this market is still underdeveloped in an organizational manner, where the main agents are small entrepreneurs, individual investors and public institutions. Several studies show that most of the products offered present several problems, motivated by the low quality of the built environment. Given the real situation of the Brazilian student real estate market, this research aims, through an investigation of the needs of Brazilian students, to propose guidelines to guide the agents of this market in the process of developing their products.

Keywords: *student housing; real estate developments; alternative real estate assets; housing demand.*

INTRODUÇÃO

As moradias estudantis fazem parte de uma importante fase da vida de um estudante, na literatura vários estudos mostraram a importância das condições de conforto, da qualidade do ambiente e suas influências nos processos de aprendizado e desempenho do aluno. No Brasil, se destacam as moradias estudantis universitárias, disponibilizadas pelas universidades federais e financiadas pelo governo, que atendem geralmente alunos com pouca ou nenhuma condição financeira. Um outro exemplo são as conhecidas repúblicas, que são propriedades particulares, geralmente casas, e apresentam-se como uma opção para aqueles alunos que es-

tão dispostos a dividirem os custos mensais e com isso economizar no aluguel e despesas pessoais. Outro tipo de habitação são as quitinetes, que são apartamentos de proprietários particulares, cômodos de pequenas proporções, pouca área construída, apresentam-se como uma opção para aqueles estudantes que preferem morar sozinho ou com poucos colegas. Além dessas, podem ser citadas várias outras alternativas de moradia, tais como pensões e residências de parentes.

Entretanto, estudos como de Zancul e Fabrício (2008), mostram que grande parte dos produtos ofertados para o público de estudantes brasileiros apresentam vários problemas, motivados pela baixa qualidade do ambiente construído, com projetos inadequados e materiais ineficientes. A realidade do Brasil é bem diferente dos países da Europa e EUA, onde grande parte dos imóveis ofertados, conhecidos como *student housing*, são edifícios modernos, pensados em termos de qualidade de projetos e sistemas construtivos, além de uma diversidade de serviços oferecidos.

Várias pesquisas identificaram que o comportamento das novas gerações está mudando, os estudantes estão buscando maior privacidade e maior controle sobre seus espaços pessoais, estão mais exigentes por uma melhor qualidade de acomodação, quartos equipados e banheiros privativos, bem diferentes das acomodações tradicionais oferecidas pelas universidades, com dormitórios antigos, banheiros e refeitório compartilhado (KHOZAEI et al., 2014; FRENCH et al., 2018)

Dessa maneira, tais circunstâncias motivaram esta pesquisa a fim de entender melhor o modelo de empreendimento *student housing*, identificando possíveis adaptações para o desenvolvimento do mesmo de acordo com os anseios, preferências e reais necessidades dos estudantes brasileiros.

REVISÃO

O contexto do setor universitário brasileiro e as moradias estudantis

Segundo dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), em 2017, 3,2 milhões de alunos ingressaram em cursos de educação superior de graduação. Os dados mostram que houve um aumento de 56,4% em dez anos, com média de crescimento anual de 4,6% (INEP, 2018).

Em dez anos, houve uma variação positiva de 19,0% nos cursos de graduação presencial e 226% nos cursos a distância. A partir desses dados, é possível identificar que enquanto a participação percentual de ingressantes em cursos a distância em 2007 era de 15,4%, em 2017 essa participação passou a ser de 1/3. Embora o expressivo aumento de ingressos em cursos à distância, os ingressos em cursos presenciais ainda representam 67,7% do total.

De acordo com Petri (2016), existem três tipos distintos de agentes no setor de habitação estudantil no Brasil, são estes: (i) residências públicas universitárias (ii) pequenos empreendedores individuais (donos de repúblicas); e (iii) habitações corporativas e fundos de investimentos. Contudo, podemos acrescentar os (iv) proprietários investidores individuais.

- i. **Residências públicas universitárias:** Refere-se as residências estudantis oferecidas pelas universidades e financiadas pelo poder público.
- ii. **Pequenos empreendedores individuais (donos de repúblicas):** Refere-se a pequenos empreendedores/operadores individuais que possuem ou sublocam apartamentos ou casas.
- iii. **Habitações Corporativas e Fundos de Investimento:** Refere-se a desenvolvedores de moradias habitacionais com apartamentos de diversos tamanhos, oferecem uma variedade de serviços, geralmente por meio de pagamento *pay-per-use*.
- iv. **Proprietários investidores individuais:** Refere-se a proprietários que compram apartamentos, geralmente de pequenas proporções (quitinetes), próximos as universidades com o objetivo de obter renda daquele imóvel.

Os empreendimentos denominados *Student Housing*, *Student Living* ou *Student Accomodation*, ou moradias

estudantis de empresas corporativas no Brasil, são reconhecidos desta maneira porque fazem parte de uma classe de ativos independente em países como os Estados Unidos e em vários países da Europa, principalmente o Reino Unido. Enquanto em muitos outros países, esta classe é simplesmente uma variação do residencial (JLL, 2017).

De acordo com Petri (2016), no Brasil, o setor imobiliário corporativo de residenciais estudantis encontra-se em pleno desenvolvimento, especialmente nas grandes cidades como São Paulo. Porém, a fragilidade do setor imobiliário brasileiro, acompanhada de insegurança econômica e política, apresenta-se como uma barreira para os investidores desse segmento. Contudo, segundo o mesmo autor, o mercado imobiliário estudantil tem potencial de crescimento, sendo visado por investidores que buscam diversificação de carteira em período de turbulência da economia. O crescimento das moradias estudantis corporativas no Brasil é questão de tempo, e permitirá que se tornem parte da cultura universitária brasileira.

O estudante: fatores de preferências e satisfação

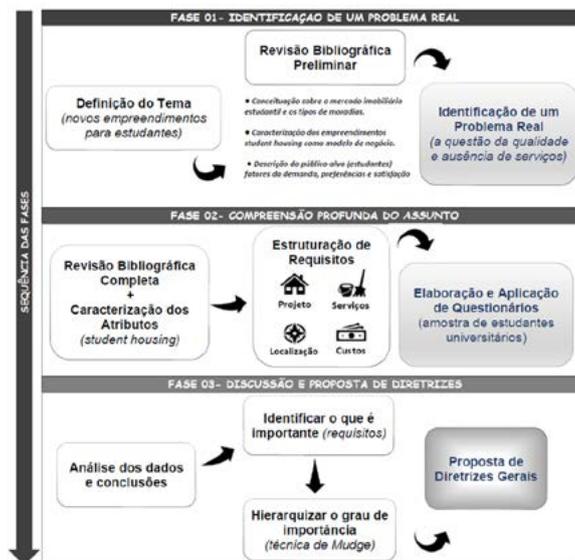
De acordo com Thomsen e Eikemo (2016), é importante entender como os alunos gostariam de viver e quais aspectos eles consideram importantes para sua satisfação com a moradia. O entendimento desses fatores podem ser úteis para o planejamento futuro da moradia estudantil e para o desenvolvimento de políticas habitacionais.

Ao longo dos anos vários autores buscaram em seus estudos compreender os principais fatores e variáveis determinantes que levam um estudante a escolher sua moradia. Shinn (1971) em seu estudo com um grupo de estudantes universitários americanos de classe média, identificou que o tipo e a qualidade da habitação foram os determinantes mais significativos da escolha entre espaço e preço, e que a localização teve influência mínima. Luviere e Henley (1977) identificaram que os fatores mais importantes considerados na escolha de um apartamento foram preço, distância do campus e qualidade do apartamento. Hensher e Taylor (1983), identificaram três variáveis condicionantes que determinam a mudança ou não de residência durante o período de estudos, são elas: acessibilidade, dependência financeira e composição da residência.

MÉTODO

A presente pesquisa será classificada de acordo com Gil (2002). Possui carácter eminente exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, afim de torna-lo mais explícito, envolvendo levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas. Sua natureza é aplicada, pois visa gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Do ponto de vista da abordagem, será qualitativa e quantitativa, em que o pesquisador tende a analisar seus dados indutivamente e com o uso de métodos e tratamentos estatísticos. Os processos estão divididos em três fases conforme apresentado na figura 1.

Figura 1: Delineamento da Pesquisa



Fonte: O autor

RESULTADOS PARCIAIS

Como resultados parciais, apresenta-se a tabela 1, desenvolvida a partir de dados obtidos por meio da revisão bibliográfica e de um estudo comparativo de 8 (oito) empreendimentos *student housing*, que resultou em uma estruturação de requisitos considerados como essenciais para uma análise do desenvolvimento desses empreendimentos, com vista as necessidades dos estudantes. A proposta dos requisitos foi constituída de atributos de projetos, que incluem a infraestrutura dos empreendimentos, com áreas comuns e área privativas, atributos de serviços, que incluem todos os serviços inclusos e opcionais, atributos de localização, que incluem a proximidade com estabelecimentos importantes, e por último, atributos de custos, importante fator a ser considerado

Tabela 1: Requisitos propostos para análise

Requisitos de Projeto		
	Áreas Comuns	
	Academia/área fitness	Lavanderia
	Área comum no andar	Piscina
	Área de convivio/solário/jardim	Sala de estudos
	Bicicletário	Sala de eventos
	Coworking	Sala de cinema
	Cozinha compartilhada/comunitária	Sala de jogos
	Espaço de yoga	Lounge com TV
	Estacionamento	
	Área Privativa	
Apartamento mobiliado		
Banheiro privativo		
Cozinha privativa		
Fechadura eletrônica		
	Requisitos de Serviços	
	Caixa de correios individual	Aluguel de bicicleta
	Câmeras de vigilância	Manutenção da unidade
	Cópias e impressões	Minimercado/ lanches
	Eventos (festas, palestras, grupos de esporte, cinema)	Contratos flexíveis e sem fiador
	Guarda volumes individual	Conta única (tudo incluso)
	Internet Wi-Fi	Equipe de suporte
Limpeza da unidade	Recepção 24 horas por dia	
	Requisitos de Localização	
	Proximidade com Instituição de ensino	Proximidade com hospitais
	Proximidade com bancos	Proximidade com rodoviária
	Proximidade com bares/lanchonetes/restaurantes	Proximidade com shoppings
	Proximidade com supermercados	Proximidade com transporte
	Proximidade com farmácias	
	Requisitos de Custos	
	Renda disponível para gastos com aluguel da moradia	
Renda disponível para gastos relacionados à moradia (Internet, água, energia, gás, condomínio, lavanderia, limpeza)		

Fonte: O autor

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

O desenvolvedor do segmento estudantil deve entender o comportamento do público-alvo, os anseios dos estudantes, fatores pessoais, condições econômicas, preferências de moradia e satisfação residencial. Variáveis como, tipo e qualidade da habitação, espaço, preço, localização, proximidade com o campus universitário e acessibilidade a serviços básico devem ser considerados.

REFERÊNCIAS

FRENCH, Nick et al. Investment opportunities for student housing in Europe. **Journal Of Property Investment & Finance**, [s.l.], v. 36, n. 6, p.578-584, 3 set. 2018. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jpif-08-2018-0058>.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176p.

HENSHER, D.A.; TAYLOR, A.K. Intraurban residential relocation choices for students: an empirical inquiry. *Environment and Planning A*, v. 15, p. 815-830, 1983.

INEP- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **CENSO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR**: Notas Estatísticas 2017. Brasília: Diretoria de Estatísticas Educacionais (DEED), 2017. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2018/censo_da_educacao_superior_2017-notas_estatisticas2.pdf>. Acesso em: 09 maio 2019.

JLL- JONES LANG LASALLE (Org.). **Alternative Predictions Survey 2017**. London: Jones Lang Lasalle Ip, 2017. Disponível em: <<http://viewer.zmags.com/publication/9070f1fd#/9070f1fd/1>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

KHOZAEI, Fatemeh et al. Examination of student housing preferences, their similarities and differences. **Facilities**, [s.l.], v. 32, n. 11/12, p.709-722, 4 ago. 2014. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/f-08-2012-0061>.

LOUVIERE, J.J.; HENLEY, D.A. Information integration theory applied to student apartment selection decisions. *Geographical Analysis*, v. IX, p. 130-141, 1977.

PETRI, Ruben Gabriel. **The brazilian student housing market**: An exploratory study. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master In International Management (MGPI), Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, 2016.

SHINN, A.M. Measuring the utility of housing: demonstrating a methodological approach. *Social Science Quartely*, v. 52, n. 1, p. 88-102, 1970.

THOMSEN, Judith; EIKEMO, Terje Andreas. Aspects of student housing satisfaction: a quantitative study. **Journal Of Housing And The Built Environment**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.273-293, 31 mar. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10901-010-9188-3>

ZANCUL, Juliana de Senzi; FABRÍCIO, Márcio Minto. Estudar e habitar em São Carlos: avaliação pós-ocupação da habitação estudantil no entorno do campus da USP São Carlos. *Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)*, [s.l.], n. 7, p.123-146, 1 jan. 2008. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP.

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA ESTABILIZADA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Characterization and application of stabilized steelmaking slag in the manufacture of concrete blocks

Discente: Leandro Henrique Benittez, Engenheiro C

Orientador: Prof. Dr. José da Costa Marques Neto

Coorientadora: Profa. Dra. Fernanda Giannotti da Silva Ferreira

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificada

RESUMO

Estudo das características físicas e mecânicas de blocos de concreto sem função estrutural, quando utilizada escória de aciaria em sua fabricação. Incorporação de resíduo da indústria siderúrgica em blocos de concreto com contribuição, de maneira sustentável, na destinação final de um passivo ambiental. Serão realizadas substituições parciais de 20, 40, 60, 80 e 100% dos agregados graúdos naturais por artificiais na produção de blocos de concreto, que serão fabricados em uma indústria de artefatos de cimento para se obter resultados em escala. Posteriormente serão ensaiados seguindo os métodos de ensaio da ABNT NBR 12118:2013 afim de atender aos requisitos previstos na ABNT NBR 6136:2016 e assim validar o estudo quanto a possibilidade de fabricação e utilização de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria.

Palavras-Chave: Bloco de concreto, bloco de escória de aciaria, escória de aciaria, bloco com agregado reciclado.

ABSTRACT

Study of the physical and mechanical characteristics of concrete blocks without structural function, when steel slag is used in its manufacture. Incorporation of waste from the steel industry into concrete blocks with a sustainable contribution to the final disposal of an environmental liability. Partial substitutions of 20, 40, 60, 80 and 100% of natural to artificial aggregates will be made in the production of concrete blocks, which will be manufactured in a cement artifact industry for scale results. Subsequently, they will be tested following the test methods of ABNT NBR 12118: 2013 in order to meet the requirements of ABNT NBR 6136: 2016 and thus validate the study regarding the possibility of manufacturing and using concrete blocks produced with steel slag.

Keywords: Concrete block, steel slag block, steel slag, block with recycled aggregate.

INTRODUÇÃO

A construção civil, por ser grande consumidora de agregados naturais, passou a procurar materiais alternativos utilizando resíduos do próprio setor e de outras indústrias, tornando-se uma grande usina recicladora. Dessa forma o setor contribui para diminuição do impacto ambiental e conseqüentemente para o menor consumo de materiais naturais (FARIA, 2007). Segundo John (2000), cerca de 50% dos recursos naturais consumidos no mundo são utilizados da indústria da construção civil.

Para cada tonelada de aço bruto produzido, são gerados cerca de 140 kg de escória de aciaria (IBS, 2006). A produção brasileira no ano de 2016 e 2017 foi de 31,3 e 34,4 milhões de toneladas respectivamente, que mostra um crescimento de 9,8%. Portanto apenas nesses dois anos foram gerados 9,2 milhões de toneladas de escória de aciaria. A produção mundial nesse biênio foi de 3,1 bilhões de toneladas de aço bruto e de 43,4 milhões de toneladas de escória de aciaria (Instituto Aço Brasil, 2018). Na Tabela 1 é apresentada a produção mundial de aço bruto.

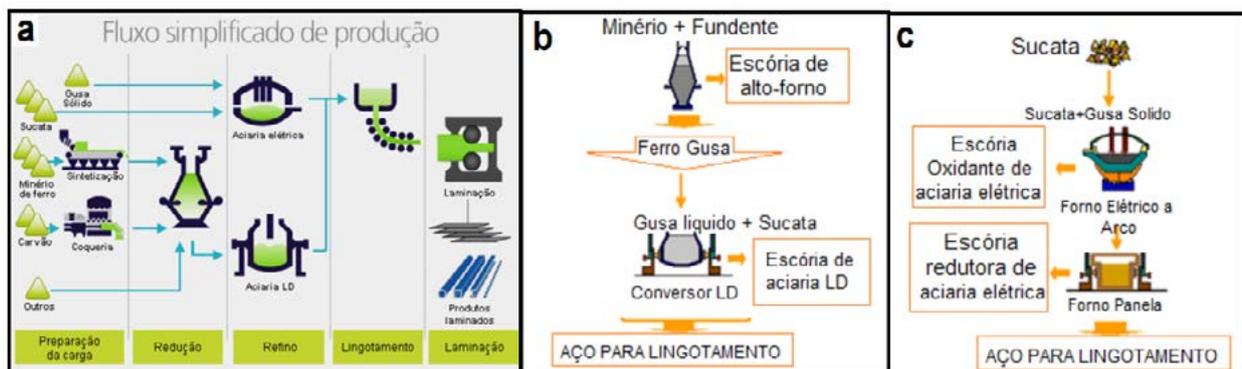
A escória de alto-forno gerada como subproduto na fabricação do aço é utilizada na indústria cimenteira para produção do cimento a mais de 100 anos. Já a escória de aciaria tem sua utilização limitada na construção civil, não possuindo destinação bem definida e muitas vezes sendo acumuladas nos pátios de estocagem (RAPOSO, 2005). A escória de aciaria é resultante da transformação de ferro gusa líquido e/ou sucata em aço e é formada por silicatos de cálcio, óxido de silício, ferrita cálcica, magnésia e traços de outros numerosos minerais com impurezas (JOHN, 2002).

Motivado pela preocupação ambiental referente à grande geração de resíduos pelas indústrias, em especial a siderúrgica, e a ampla utilização de blocos de concreto na construção civil, é estudado nesse trabalho a potencialidade da substituição parcial de agregado natural por artificial (reciclado), proveniente de escória de aciaria, na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural (vedação). Serão analisadas as propriedades físicas e mecânicas dos blocos através de ensaios laboratoriais previstos pela ABNT NBR 6136:2016 a fim de validar o estudo quanto à utilização desse material no mercado. O trabalho é dividido em quatro etapas, sendo a primeira a caracterização em laboratório do aglomerante e dos agregados naturais e artificial; a segunda, a fabricação dos blocos em uma indústria de artefatos de cimento buscando-se a aproximação máxima da realidade industrial; terceira etapa a análise da gestão da geração do resíduo (escória de aciaria), com descrição dos processos produtivos; e a quarta e última etapa com a realização dos ensaios previstos na ABNT NBR 12118:2013 Métodos de ensaio.

REVISÃO

A escória de aciaria é um resíduo gerado na produção do aço. Para entender melhor como ela é gerada, é preciso conhecer como o aço é produzido e em que momento a escória é formada.

Figura 1: Produção do aço. a) Fluxo simplificado; b) Usina integrada; c) Usina semi-integrada.



Fonte: (IABr, 2012; adaptado MASUERO, 2004)

A escória, ainda em estado líquido, com temperatura de 1.400 a 1.700 °C, é transportada para o pátio de escória, onde é basculada em baias para seu processamento e beneficiamento.

Figura 2: Resfriamento e beneficiamento da escória. a) Escória líquida; b) Resfriamento; c) Beneficiamento



Fonte: (adaptado MASUERO, 2004; CST, 2014; ARCELLOR MITTAL, 2014)

A escória de aciaria é um dos resíduos da produção do aço e é classificada segundo a ABNT NBR 10004:2004 como resíduo sólido não inerte, classe IIA, ou seja, não apresenta periculosidade para o uso. Por ser resultan-

te do processo de refino do aço, é formada por ferro metálico, silicatos de cálcio, óxidos de magnésio e de cálcio e outros elementos químicos em menor escala. A escória de aciaria LD tem sua composição variada com o tipo de forno, matérias primas utilizadas e dos tipos de aço fabricados, porém são formadas em sua maior parte por óxidos de cálcio, silício e ferro. Já a escória de aciaria elétrica, que é o resíduo da produção do aço por forno de arco elétrico ou refino do aço na panela, possui menor quantidade de cal livre, em relação a gerada pelos conversores, e também se apresenta de maneira mais homogêneas (FARIA, 2007; MOURA, 2000).

Tabela 1: Caracterização da escória. a) Composição química; b) Propriedades físicas e mecânicas.

a Composição química			b Propriedades Físicas	
	LD (%)	elétrica (%)		
CaO	6-45	33	Massa específica (kg/dm ³)	3,2 - 3,6
SiO ₂	7-16	18	Massa unitária (kg/m ³)	1.600 – 1.900
MgO	1-9	10	Absorção (%)	< 3,0
Al ₂ O ₃	1-4	6	Propriedades Mecânicas	
FeO	8-30	30	Abrasão Los Angeles (ASTM C131)	20 - 25
MnO	3-7	5	Ataque por sulfato de sódio	< 12
CaO livre	0-8	-	Dureza (medida pela escala de Moh's)	6 - 7
P ₂ O ₅	1,6	-	CBR (California Bearing Ratio)	> 300
S	0,13	-	Ângulo de Fricção interna	40° - 50°
Cr ₂ O ₃	0,35	-		

Fonte: (adaptado GUMIERI, 2000 e GEYER et al., 1994; MASUERO, 2001)

Os blocos de concreto são componentes da alvenaria, com ou sem função estrutural e normalizados pelas NBRs 6136 e 12118, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. São vazados nas faces superior e inferior e possuem área líquida igual ou inferior a 75 % da área bruta. São produzidos por equipamentos manuais, pneumáticos ou hidráulicos através da vibro compactação e extrusão imediata (ABNT NBR 6136:2016 e FERNANDES, 2015). Quanto aos requisitos físico-mecânico, que garantem a qualidade dos blocos de concreto, a ABNT NBR 6136:2016 determina os limites de resistência, absorção e retração linear por secagem.

Tabela 2: Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a MPa	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: (ABNT NBR 6136:2016)

MÉTODO

A metodologia é dividida em quatro etapas e através do organograma é melhor compreendida.

Figura 3: Organograma programa experimental



Fonte: Autor

RESULTADOS

Os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados afim de conhecer melhor suas propriedades. No aglomerante, foram realizados ensaios físicos e mecânicos. Nos agregados, tanto natural quanto artificial, realizou-se ensaios previstos nas normas para obtenção das características físicas do materiais. Tanto o aglomerante quanto os agregados, se enquadram nos limites normativos e portanto a pesquisa passa para fase de fabricação dos blocos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Pelo conhecimento adquirido na revisão bibliográfica, a proposta da pesquisa alcançará resultados satisfatórios no que diz respeito ao atendimento dos objetivos propostos.

Através das informações obtidas neste trabalho e das análises dos resultados dos ensaios finais, espera-se obter blocos de concreto com utilização de agregados artificiais, provenientes de escória de aciaria, que atendam aos requisitos da ABNT NBR 6136:2016.

Com o objetivo alcançado, deseja-se difundir a ideia, para que esse resíduo possa ser incorporado em blocos de concreto de forma comercial, contribuindo assim para preservação do meio ambiente através da redução dos pátios de estocagem de resíduos e menor exploração de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.
- FARIA, R. A. F. Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos com escória de aciaria elétrica (EAF) como agregado graúdo. 2007. 146 p. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2007.
- FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers Produção e Controle de Qualidade**. 6 ed. Rib. Preto - SP. 2015. 200 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Anuário estatístico. Brazil Steel Databook. RJ, 2006. 100 p.
- INSTITUTO AÇO BRASIL - IABR. **Relatório de Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, 2018. 84 p.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 102p. São Paulo, 2000. Tese (livre docência) Escola Politécnica, USP.
- JOHN, L. **Pesquisa cria alternativa para reciclagem do rejeito de siderúrgicas**. O Estado de São Paulo, São Paulo, 07 de agosto de 2002. Ciência e Meio Ambiente. 2 p.
- MOURA, W. A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Porto Alegre, 2000. 192 p. Tese (doutorado) – Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.
- RAPOSO, C. O. L. **Estudo experimental de compactação e expansão de uma escória de aciaria LD para uso em pavimentação**. 2005. 163 p. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.

PROPRIEDADES RESIDUAIS PÓS-ALTAS TEMPERATURAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS DE ALTO DESEMPENHO COM PÓ DE VIDRO

Post-high temperatures residual properties of high performance cementitious composites with glass powder

Discente: Adalberto de Oliveira Júnior, Engenheiro Civil

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Giannotti da Silva Ferreira

Co-orientadora: Profa. Dra. Alessandra Lorenzetti de Castro

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Defesa

RESUMO

Os compósitos cimentícios de alto desempenho (CCAD) é uma evolução natural dos materiais cimentícios utilizados na construção civil, com o pó de vidro, quando finamente moído, apresentando potencial de utilização como material suplementar, substituindo parcialmente o cimento. Os compósitos cimentícios são utilizados em diversos elementos da construção, incluindo estruturas, com a durabilidade do compósito em altas temperaturas sendo requisito importante para o material, o que garante sua segurança. O trabalho substituiu 50% do cimento por pó de vidro no CCAD, avaliando os efeitos das altas temperaturas em 200, 400, 600 e 800°C, posteriormente verificando as propriedades residuais, como resistência à compressão, módulo de elasticidade acústico e reidratação. O CCAD com pó de vidro em altas temperaturas apresentou desempenho equivalente ou discretamente inferior, na reidratação o compósito com vidro teve desempenho consideravelmente menor.

Palavras-Chave: compósitos cimentícios; alto desempenho; pó de vidro; altas temperaturas.

ABSTRACT

High performance cementitious composites (HPCC) is a natural evolution of cementitious materials used in construction, with glass powder, when finely ground, presenting potential for use as a supplementary material, partially replacing cement. Cement composites are used in various building elements, including structures, with the durability of the composite at high temperatures being an important requirement for the material, which ensures its safety. The work replaced 50% of the cement with glass powder in the HPCC, evaluating the effects of high temperatures at 200, 400, 600 and 800°C, subsequently verifying the residual properties, such as compressive strength, acoustic elastic modulus and rehydration. The high temperature glass powder HPCC showed equivalent or slightly lower performance, while rehydrating the glass composite had considerably lower performance.

Keywords: cementitious composites; high performance; glass powder; high temperatures.

INTRODUÇÃO

O compósito cimentício é um importante material utilizado na construção civil, como o concreto e a argamassa, presente na forma de estruturas, revestimentos e ornamentações. Desde de sua composição a partir do cimento Portland, o compósito evoluiu naturalmente suas propriedades pelos métodos de dosagem e a introdução de materiais suplementares, obtendo-se os CCAD. Os materiais suplementares, especialmente os suplementares ao cimento, aprimoram as propriedades e reduzem os custos de produção dos CCAD ao mesmo tempo que promovem benefícios ambientais, uma vez que destina materiais outrora descartados, para atividades mais nobres.

Soliman e Tagnit-Hamou (2016) observaram no pó de vidro um grande potencial como material suplementar

ao cimento, com tentativas anteriores de utilização como agregado não apresentando resultados satisfatórios, como comentado por Liu *et al.* (2015).

Para consolidar o pó de vidro como um novo componente dos compósitos cimentícios destinados à construção civil é necessário avaliar exaustivamente seu comportamento em diversas situações de desempenho, inclusive em altas temperaturas. Pan *et al.* (2017), Olofinnade *et al.* (2017) e Durgun e Sevinç (2019) avaliaram os efeitos das altas temperaturas em compósitos confeccionados com pó de vidro, contudo, nenhum dos pesquisadores avaliaram os efeitos recorrentes em CCAD na ordem de resistência à compressão de 100 MPa.

Este trabalho buscou compreender os efeitos das altas temperaturas nos CCAD confeccionados com 50% de pó de vidro em substituição volumétrica ao cimento, avaliando as propriedades residuais mecânicas e de reidratação.

REVISÃO

Os CCAD podem ser obtidos a partir da utilização de materiais pozolânicos, ou seja, materiais suplementares ao cimento em adição ou substituição. O pó de vidro em tamanho de partículas adequado apresenta propriedades pozolânicas, podendo ser utilizado nos compósitos cimentícios. Partículas com tamanho inferior a 100 μm apresentam bom desempenho (MEENA; SINGH, 2012).

Soliman e Tagnit-Hamou (2016) obtiveram compósitos cimentícios com resistência à compressão na ordem de 200 MPa a partir da substituição do cimento por pó de vidro. Uma das maiores preocupações da utilização do vidro nos compósitos cimentícios é o desencadeamento da reação álcali-agregado, contudo não foi observado esse fenômeno em compósitos confeccionados com partículas menores que 300 μm , de acordo com Pan *et al.* (2017).

Em altas temperaturas, os compósitos cimentícios apresentem desempenho superior a maioria dos materiais utilizados na construção civil, contudo, ainda sofrem alterações em suas propriedades mecânicas, físicas e químicas. A degradação dos compósitos cimentícios ocorre por efeitos macroscópicos a partir do *spalling*, que é o lascamento abrupto do compósito causado pela perda acelerada de água e microscópico a partir da decomposição de seus componentes, como o C-S-H e pela incompatibilidade dimensional da pasta e agregados (BATTAGIN; SILVEIRA, 2018).

O compósito cimentício com pó de vidro em altas temperaturas foi estudado por Pan *et al.* (2017), Olofinnade *et al.* (2017) e Durgun e Sevinç (2019). Pan *et al.* (2017) observou que proporções de 5 e 20% de pó de vidro em substituição ao cimento até temperaturas de 500°C, apresentava desempenho mecânico superior, todavia, em 800°C o desempenho dos compósitos com vidro foi inferior ao de controle. Os autores atribuíram esse comportamento a mudança de fase do vidro em temperaturas próximas a 800°C, que promoveu efeitos de retração nas amostras.

Olofinnade *et al.* (2017) observaram que teores de até 20% de pó de vidro apresentavam melhor desempenho em altas temperaturas, o que não foi observado em compósitos com maiores teores de vidro. Com substituição de até 10% do cimento por pó de vidro, Durgun e Sevinç (2019), observou maior desempenho dos compósitos com vidro, enquanto os maiores teores também apresentaram desempenho inferior, com os autores atribuindo a melhoria pela diminuição ou ausência de C-S-H durante a hidratação do compósito e o mal desempenho à retração da pasta pelo vidro.

MÉTODO

Para a confecção dos CCAD foram utilizados CP V ARI, sílica ativa, pó de vidro, agregado miúdo quartzoso, aditivo superplastificante, aditivo redutor de retração e água. O agregado miúdo possui dimensão máxima de partículas de 1,2 mm, enquanto o pó de vidro do estudo foi obtido a partir de garrafas de vidro da cor âmbar de pós-consumo que foram moídas em moinho de bolas e peneiradas em malha com abertura de 75 μm . A granulometria dos ligantes mostrou que o cimento possui em d_{50} tamanho de partículas de 8 μm , sílica ativa com 0,8 μm e pó de vidro com 14 μm .

A incorporação do pó de vidro se faz por substituição volumétrica parcial ao cimento na proporção de 50%

(VD50), utilizando na mistura o traço apresentado por Salvador Filho *et al.* (2017), adaptado para as características dos materiais utilizados no estudo. Inicialmente o traço referência (REF) tem consumo de cimento igual a 1000 kg/m³ e relação água/ligante de 0,18.

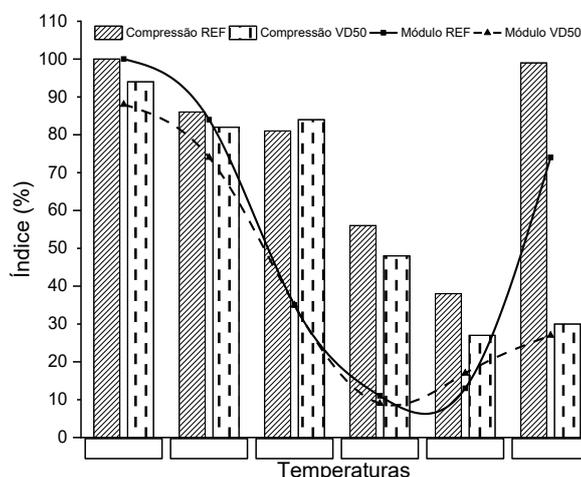
Para as altas temperaturas, os traços REF e VD50 foram avaliados aos 91 dias, utilizando amostras com dimensões aproximadas de (base/altura de 1:3 prevista pela RILEM TC 200-HTC: Part 2), aquecidas em uma mufla elétrica até as temperaturas de 200, 400, 600 e 800°C e mantidas por 60 minutos a uma taxa de aquecimento de 1°C/min. Após o aquecimento e resfriamento as amostras foram embaladas em papel filme para evitar o ganho de umidade, posteriormente sendo ensaiadas no ensaio de resistência à compressão (NBR 5739:2018) e módulo de elasticidade acústico (GIDRÃO, 2015). As amostras de reidratação foram recuradas por submersão em água por 56 dias, avaliando as mesmas propriedades.

RESULTADOS

Os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade acústico são apresentados na figura 1 em forma de índice percentual, o traço REF na temperatura ambiente representa a referência de 100%. Em temperatura ambiente e até a temperatura de 400°C a resistência à compressão é equivalente entre o traço REF e VD50, a partir de 600°C o CCAD com pó de vidro apresenta desempenho inferior. No módulo de elasticidade acústico, na temperatura de 20 e 200°C o traço VD50 apresenta desempenho inferior em relação ao traço REF, a partir dos 400°C até os 800°C o módulo apresenta equivalência entre os traços.

Na reidratação, o traço REF apresentou desempenho muito superior ao traço VD50, tanto na resistência à compressão, recuperando quase que totalmente sua capacidade, quanto no módulo de elasticidade acústico, recuperando em torno de 75% da sua capacidade. O traço VD50 apresentou recuperação das propriedades por reidratação de maneira muito discreta.

Figura 1: Resistência à compressão e módulo de elasticidade acústico.



CONCLUSÕES

O estudo realizado buscou entender os efeitos das altas temperaturas em CCAD confeccionado com pó de vidro, substituindo 50% do cimento por vidro. As seguintes conclusões podem ser desenvolvidas.

- O pó de vidro apresenta grande potencial de ser utilizado como material pozolânico suplementar ao cimento, uma vez que permite produzir CCAD com características muito equivalentes as misturas que utilizam somente cimento, mesmo com alto teor de substituição.
- O desempenho de CCAD com pó de vidro até a temperatura de 400°C é de maneira geral equivalente

ao traço sem vidro, contudo a partir de 600°C apresenta desempenho inferior na resistência à compressão e equivalente no módulo de elasticidade acústico.

- Para a recuperação de CCAD degradados pelas altas temperaturas por submersão em água durante 51 dias, o traço REF apresentou desempenho muito superior ao traço VD50. O traço VD50 apresentou recuperação muito discreta, tanto na resistência à compressão, como na sua rigidez.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

BATTAGIN, A. F.; SILVEIRA, A. L. Z. P. Estudo da microestrutura do concreto em situação de incêndio: um termômetro da temperatura alcançada. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 89, Jan-Mar, p. 44-48, 2018.

DURGUN, M. Y.; SEVINÇ, A. H. High temperature resistance of concretes with GGBFS, waste glass powder, and colemanite ore wastes after different cooling conditions. **Construction and Building Materials**, v. 196, p. 66–81, 2019.

FIGUEIREIDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011, 248 f. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GIDRÃO, G. M. S. **Propriedades Dinâmicas do Concreto e Relações com sua Microestrutura**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

LIU, S.; XIE, G.; WANG, S. Effect of curing temperature on hydration properties of waste glass powder in cement-based materials. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 119, n. 1, p. 47–55, 2015.

MEENA, A.; SINGH, R. **Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete**. Tese (Bacharelado). National Institute of Technology Roukerla, 2012.

OLOFINNADE, O. M.; EDE, A. N.; NDAMBUKI, J. M. Experimental Investigation on the Effect of Elevated Temperature on Compressive Strength of Concrete Containing Waste Glass Powder. **International Journal of Engineering and Technology Innovation**, v. 7, n. 4, p. 280–291, 2017.

PAN, Z. et al. High temperature performance of mortars containing fine glass powders. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 16–26, 2017.

RILEM. Recommendation of **RILEM TC 200-HTC**: Mechanical concrete properties at high temperatures — modelling and applications. Part 2: Part 2: Stress–strain relation. *Materials and Structures* nº 40, p. 841–853. 2007.

SALVADOR FILHO, J. A. A.; FERREIRA, F. G. S.; SOARES, S. M.; BRESCHI, G. L. S.; ESPIRITO SANTO, J. M. Influência da utilização do pó de vidro em substituição ao cimento Portland na resistência à compressão de matrizes cimentícias de ultra alta resistência. In: 59º Congresso Brasileiro do Concreto, 2016, Bento Gonçalves. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2017**. 2017.

SOLIMAN, N. A.; TAGNIT-HAMOU, A. Development of ultra-high-performance concrete using glass powder – Towards ecofriendly concrete. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 600-612, 2016.

ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO – CRITÉRIO DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Masonry in Fire Situation – Thermal Insulation Criterion

Discente: Andre Kazunori Maebara, Engenheiro Civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Orientador e coorientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian, Prof. Dr. Douglas Barreto.

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início.

RESUMO

A alvenaria é amplamente utilizada no Brasil, e estudar o seu comportamento é essencial para que atendam requisitos de segurança estrutural e resistência ao fogo, o qual, empresas e instituições de ensino estão começando a estudar e desenvolver norma para alvenaria estrutural. Este trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, em específico, o comportamento do revestimento e sua influência na alvenaria em altas temperaturas. Como resultados esperados, pretende-se obter os comportamentos da alvenaria estrutural e a influência do revestimento em altas temperaturas, como também, curvas isotérmicas de blocos, paredes e revestimentos, chegando à uma proposta correta de dimensionamento.

Palavras-Chave: alvenaria estrutural, incêndio, isolamento térmico.

ABSTRACT

Masonry is used in Brazil, and the studying is essential for meeting safety structural requirements and fire resistance, then beginning to study and develop standard for structural masonry. This paper is a study the behavior of structural masonry in fire situation, the behavior of the coating and its influence on masonry in fire situation. As expected results, it is to obtain the behavior of structural masonry in fire, as well the isothermal curves of blocks, walls and coating, for the correct design.

Keywords: masonry, fire, thermal insulation.

INTRODUÇÃO

O sistema construtivo de alvenaria é utilizado desde muito tempo, como exemplo, as pirâmides no Egito, o autor Camacho (2006) relata vantagens do uso da alvenaria estrutural como: a redução de custo, diminuição da diversidade da mão de obra, rapidez na execução, no entanto como desvantagem: o projeto fica limitado, não possibilitando a modificação.

Nos anos 60 e 70 a alvenaria estrutural volta a ser utilizada no Brasil, isso por conta dos surgimentos das indústrias de blocos estruturais e investimentos em pesquisa e estudos, e atualmente, é utilizado em todas as regiões do Brasil, sendo um ramo reconhecido na engenharia civil. (PARSEKIAN, MEDEIROS e SIPP, 2018).

Estudar o comportamento do material que constitui a edificação é essencial para que as condições exigidas do projeto, de modo que atendam requisitos de segurança estrutural e a fogo, situações esta que causam perdas de vidas humanas e patrimonial. O incêndio, trata-se de uma ação excepcional, sua ocorrência pode ser em qualquer tipo de edificação, independente de uso e ocupação. (BUCHANAN e ABU, 2017), e apenas na década de 70, que a segurança contra incêndio foi dada importância no Brasil, isso devido a sinistros ocorrido em edifícios na cidade de São Paulo (ONO, 2007).

Desde modo o objetivo do trabalho é estudar o comportamento da alvenaria estrutural em alta temperatura, em específico, o comportamento do revestimento e sua influência na alvenaria em situação de incêndio.

REVISÃO

De acordo com Center of Fire Statistics – CTIF (2017) no ano de 2015 incêndios em edificações representou 38% das ocorrências, e o estudo da alvenaria em situação de incêndio é baseado principalmente nos resultados de laboratório e por simplicidade, as normas técnicas, permitem que seja empregada curvas de aquecimento padronizadas que não representam um incêndio real. Entretanto é comum utilizar-se a curva-padrão associada a períodos padronizados com a finalidade de fornecer parâmetros de projeto (SILVA, 2012). De modo geral, os critérios básicos de verificação estabelecidos apresentados pelas normas para a alvenaria estrutural são: resistência mecânica (R), a estrutura não deverá alcançar a ruptura em situação de incêndio, com tensões atuantes inferiores às permitidas por normatização nacional em vigor, com esforços atuantes e resistentes resultantes da combinação de ações dita como excepcional; Estanqueidade (E), em que não se deve apresentar trincas ou aberturas suficientes que permitam a passagem de gases quentes ou chamas; Isolamento (I), no qual não se deve apresentar um aumento de temperatura, na face não exposta, acima da temperatura inicial, superior em média a 140 °C e em qualquer ponto a 180 °C; Impacto mecânico (M), quando for necessário um elemento de separação vertical deve resistir à aplicação de carga concentrada horizontal.

A transmissão do calor em alvenarias pode ocorrer por três diferentes formas, a condução, que é a transferência de calor entre matérias sólidas, a convecção, método de propagação de calor é devido a movimentação de fluidos, tanto líquidos quanto gasosos, e a radiação, que é a transferência de energia (calor) por meio de ondas eletromagnéticas.

O desempenho térmico de uma parede de alvenaria estão ligados fatores como: tipo de bloco, concreto ou, cerâmicos maciços ou vazados, características dos materiais, geometria dos blocos, juntas de assentamento, revestimentos e preenchimento dos vazados (THOMAZ; HELENE, 2000). As características do material utilizado na fabricação do bloco, suas propriedades como: condutividade e calor específico, densidade e porosidade exercem influência no desempenho ao fogo também.

A principal norma para o dimensionamento de estruturas para situação de incêndio é a NBR 14432 juntamente com a IT 08/2011 do Corpo de Bombeiros do estado de São Paulo, apresenta um método tabular para o cálculo do TRRF, considerando o tipo de edificação e a altura, recomendando para o dimensionamento o uso do Eurocode, em sua última edição, ou norma similar reconhecida internacionalmente até que exista uma regulamentação nacional sobre o assunto, que recentemente, a Comissão de Estudo de Alvenaria Estrutural ABNT/CE-002: 123.010 propôs a unificação de todas as normas de alvenaria estrutural, apresentando a 4ª parte da norma referente à alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Em outros países as normas utilizam o método tabular para o dimensionamento das paredes de alvenaria, a norma americana ACI/TMS 216.1: 2014 verifica as paredes de alvenaria estrutural em função de valores da espessura equivalente, onde o valor mínimo desta espessura depende do tipo de bloco e do tempo que a edificação requer para resistência ao fogo.

A norma australiana AS 3700:2018, permite que os projetistas de paredes de alvenaria em situação de incêndio utilizem os critérios de adequabilidade estrutural, estanqueidade e isolamento térmico, respeitando os limites tabelados de espessura e esbeltez da parede e cobrimento de armadura. A norma australiana permite também que fazer o dimensionamento das paredes de alvenaria através de ábacos fornecidos pelas indústrias de blocos, onde por esses ábacos é feita a verificação da adequabilidade estrutural, considerando já os critérios de isolamento e estanqueidade.

Já o Eurocode 6 em seu Anexo B encontra-se tabelas onde são divididas em função do tipo de material, resistência a compressão solicitante de cálculo e densidade do bloco, é possível determinar a espessura mínima da parede.

MÉTODO

Na primeira etapa é importante conhecer o que está sendo estudado e realizado no Brasil e no mundo, além de entender bem técnicas e métodos mais utilizados. Nesta etapa será realizada uma revisão bibliográfica utilizando diferentes bases de dados, Google acadêmicos, Periódicos da Capes, Web of Science, além dos periódicos das universidades, teses e artigos.

A segunda etapa será os ensaios experimentais para conhecer as características e comportamento dos materiais, nesta etapa, serão realizados ensaios em blocos e paredes de alvenaria estrutural, variando os materiais utilizados, como o tipo de bloco: concreto e cerâmico, e revestimento das paredes.

Para a caracterização do revestimento, inicialmente será realizado ensaio, de paredes e blocos sem revestimento, como referência, bem como com um revestimento padrão de argamassa com um traço que é mais utilizado em todo país. E após isso, ensaios com argamassas com aditivos, uso de materiais que melhorem no isolamento térmico da parede. Variando também a espessura utilizada, deste modo, tentando obter diferentes variações encontradas nas construções do país.

Por fim, na terceira etapa será realizado simulações numéricas com o auxílio do software, com o objetivo analisar os resultados e compreender o comportamento dos materiais para mapeamento das isotermas em boa concordância com os experimentos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

No Brasil, as fabricantes de blocos estão começando a ensaiar os blocos em situação de incêndio, no entanto o dimensionamento da alvenaria estrutural para esta situação ainda está em estudo, os projetistas utilizam as normativas internacionais para fazer o dimensionamento, o qual estes dimensionamentos foram baseados em inúmeros ensaios realizados.

No entanto os estudos e pesquisas sobre este tema está começando a surgir no país, e futuramente será possível, assim como em outros países, ter uma normativa completa para a alvenaria estrutural, contemplando todos as verificações, resistência, estanqueidade, isolamento térmico e impacto mecânico.

Como resultados esperados, pretende-se obter os comportamentos da alvenaria estrutural em situação de incêndio, juntamente com as simulações numéricas, a obtenção das curvas isotermas, comparando com os resultados experimentais, chegando em uma proposta correta de dimensionamento da estrutura de alvenaria em altas temperaturas.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2001. ACI, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE; TMS, THE MASONRY SOCIETY. **ACI/TMS 216.1-14: Code requirements for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies**. Farmington Hills. 2014.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3700-2018: Masonry Structures**. Sydney, Australia, 2018.

BUCHANAN, A. H.; ABU, A. K.. **Structural design for fire safety**. Chichester, UK. John Wiley & Sons, 2ªed., 438 p., 2017.

CTIF, **Center of Fire Statistics** (International Association of Fire and Rescue Services). Word fire statistics. Report n. 22, 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1996-1-1: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures**. Brussels. 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1996-1-2: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. Brussels. 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1996-3: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures**. Brussels. 2006.

ONO, R. **Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

PARSEKIAN, G. A.; MEDEIROS, W. A.; SIPP, G. **High-rise concrete and clay block masonry building in Brazil**. Mauerwerk, v. 22, n. 4, p. 260-272, 2018.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica no 08/2011: resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: Conforme ABNT NBR 15200-2012**. São Paulo: Blucher, 2012.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/252. São Paulo: EPUSP, 31 p. 2000.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE PRISMAS DA ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS

Experimental evaluation of clay and concrete masonry prisms submitted to high temperatures.

Discente: Cleber Eduardo Fernandes Leal, Engenheiro Civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

Por contar com paredes estruturais que também exercem função de compartimentação, o sistema construtivo alvenaria estrutural, sob situação de incêndio, deve atender a ambos os critérios: resistência, estanqueidade e isolamento térmico. Na ausência de norma local para verificação da alvenaria ao incêndio, códigos internacionais têm sido adotados pelo meio técnico brasileiro. Questiona-se, porém, a aplicabilidade de tais prescrições aos projetos nacionais, uma vez que tanto a geometria dos blocos, quanto características físicas, químicas e mecânicas dos demais elementos podem variar significativamente entre países. Visando contribuir com o desenvolvimento da normalização nacional, este estudo propõe uma ampla avaliação experimental de prismas cerâmicos e de concreto submetidos a altas temperaturas. Os espécimes serão compostos por materiais de uso corrente no Brasil, variando resistências nominais, tipo de argamassa, agregado, preenchimento ou não com graute. Propriedades físicas e mecânicas serão testadas em temperatura ambiente e após aquecimento e resfriamento a 200, 400, 600 e 800°C.

Palavras-Chave: alvenaria estrutural; situação de Incêndio; resistência ao fogo; análise experimental.

ABSTRACT

Masonry is a building system which, under fire situation, must met all the criteria: resistance, integrity and thermal insulation, because it has walls that perform structural and partitioning functions. In the absence of a local standard to check masonry under fire, international codes have been adopted by the Brazilian designers. However, the applicability of such prescriptions to the national projects is questioned, since the blocks geometry, as well as, physical, chemical and mechanical characteristics for other elements can present great variation between countries. In order to contribute to the national standardization development, this study proposes a wide experimental evaluation of ceramic and concrete prisms submitted to high temperatures. The specimens will be composed of materials commonly used in Brazil, varying the nominal resistances, mortar type, aggregate, filling or not with grout. Physical and mechanical properties will be tested at room temperature and after heating and cooling to 200, 400, 600 and 800°C.

Keywords: structural masonry; fire situation; fire resistance; experimental evaluation.

INTRODUÇÃO

Quando uma edificação é acometida por incêndio, a prioridade é preservar as vidas de seus ocupantes. Em seguida, busca-se minimizar os danos ao patrimônio e às construções adjacentes. Dessa forma, quando acometido pelo fogo, espera-se que o conjunto da edificação mantenha, por um determinado intervalo de tempo, condições satisfatórias de segurança estrutural, estanqueidade e de isolamento térmico. Por ser constituído de paredes estruturais e que ao mesmo tempo desempenham a função de compartimentar os ambientes, a alvenaria estrutural acaba sendo um sistema construtivo que em situação de incêndio, quase sempre necessita atender a esses 3 critérios simultaneamente (LEITE, MORENO JÚNIOR e TORRES, 2016).

No Brasil, construções em concreto armado, metálicas e mistas de aço e concreto já são verificadas à ação do fogo pelas normas NBR 15200 (ABNT, 2012) e NBR 14323 (ABNT, 2013), respectivamente. O mesmo não acontece para a alvenaria estrutural. Na ausência de normalização específica, a Polícia Militar do Estado de São Paulo (Corpo de Bombeiros) recomenda em sua Instrução Técnica Nº 08/2011 (IT-08) que edificações em alvenaria estrutural sejam verificadas ao incêndio segundo a última versão do Eurocode ou norma similar reconhecida internacionalmente. Porém, a aplicabilidade de códigos normativos estrangeiros aos projetos nacionais é questionável, uma vez que a geometria dos elementos bem como características físicas e mecânicas dos materiais empregados em território nacional podem apresentar grande variação em relação aos materiais de fora.

Embora tenha uso mundialmente consolidado (AYALA, 2010), o estudo de comportamento da alvenaria estrutural frente ao fogo ainda é incipiente no âmbito nacional. Pouco se conhece das propriedades térmicas e mecânicas dos componentes da alvenaria quando submetidos a altas temperaturas (LEITE, MORENO JÚNIOR e TORRES, 2016). Mesmo internacionalmente, quando comparada ao concreto armado, às construções metálicas ou de madeira, a quantidade de análises experimentais envolvendo a alvenaria estrutural sob altas temperaturas ainda é escassa, sobretudo, com elementos ensaiados em dimensões reais. Algo justificado, em parte, pelo alto custo e disponibilidade dos materiais e equipamentos requeridos para os ensaios térmicos.

De forma geral, este estudo visa avaliar experimentalmente o desempenho de prismas da alvenaria estrutural em blocos de concreto e blocos cerâmicos quando submetidos a altas temperaturas, determinando suas propriedades físicas/mecânicas antes do aquecimento e após o resfriamento. Especificamente, o estudo pretende: caracterizar sob temperatura ambiente diferentes componentes nacionais da alvenaria estrutural: argamassas, blocos cerâmicos e de concreto, grautes e prismas de 2 blocos; avaliar propriedades mecânicas residuais (após o resfriamento) dos prismas submetidos às temperaturas de 200°C, 400°C, 600°C e 800°C; avaliar a influência da resistência à compressão das argamassas, dos grautes, resistência e geometria dos blocos e preenchimento dos furos influenciam no desempenho ao fogo da alvenaria; compor um banco de dados com as propriedades dos materiais nacionais solicitados por altas temperaturas, de forma a auxiliar posteriores simulações computacionais.

REVISÃO

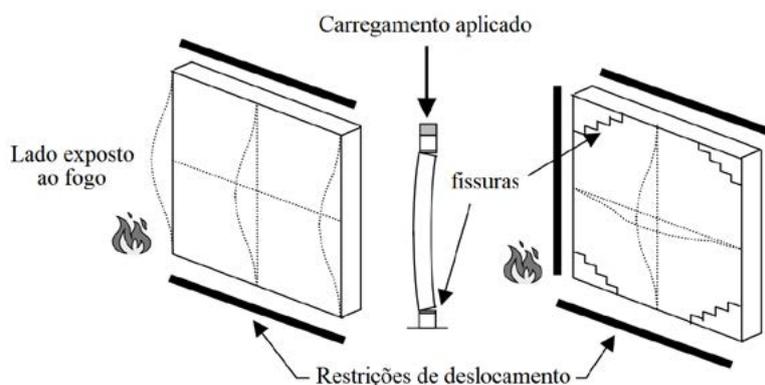
Segundo Moreno Júnior e Molina (2012), a **resistência ao fogo** de um elemento estrutural corresponde à sua capacidade de permanecer, durante um determinado período de tempo sob incêndio, exercendo as funções para que foi projetado. Esse período de tempo consiste no Tempo de Resistência ao Fogo – TRF. O **Tempo REQUERIDO de Resistência a Fogo – TRRF**, por sua vez, remete ao tempo mínimo exigido pela normalização para que a edificação como um todo se mantenha resistente ao fogo (ABNT NBR 14432, 2001). O TRRF depende, entre outros fatores, da altura da edificação, das condições de uso/ocupação, de ventilação e compartimentação, presença ou não de sistemas de combate ao incêndio.

De uma forma geral, o elemento de construção sob altas temperaturas deve atender a três critérios básicos: **Isolamento térmico (I)**, ao impedir que a temperatura na face oposta àquela solicitada pelo fogo seja suficientemente alta a ponto de desencadear combustão no cômodo seguinte, o critério de **Estanqueidade (E)**, evitando a propagação de chamas e gases quentes para os demais compartimentos e o critério de **Resistência mecânica (R)**, mantendo-se capaz de suportar os esforços solicitantes sem entrar em colapso. Existe ainda o critério de resistência à impactos mecânicos (M), apresentado pela normalização europeia como dependente da funcionalidade do elemento na edificação.

O sistema construtivo de alvenaria estrutural tem por definição o suporte dos esforços solicitantes (predominantemente de compressão) por meio da combinação e atuação conjunta dos elementos bloco, argamassa, eventual graute e eventual armadura. Assim como acontece em temperatura ambiente, o comportamento resistente ao fogo da alvenaria estrutural depende, logicamente, do desempenho sob elevadas temperaturas de cada um desses materiais, isoladamente, e em conjunto (LEITE, MORENO JÚNIOR e TORRES, 2016). No caso dos blocos de concreto para alvenaria estrutural, após a observação de vários resultados experimentais, a **resistência ao fogo** é tida como função do tipo de agregado empregado na produção da unidade e de sua espessura equivalente. A presença do revestimento também contribui com desempenho dos blocos sob altas temperaturas (NWCA, 2016).

Em situação de incêndio, elementos em alvenaria têm, na maioria dos casos, apenas uma das faces exposta ao fogo. Tal situação se reflete no surgimento de um gradiente térmico entre as faces. Com temperaturas diferentes, cada face se deforma em uma proporção, e na ausência de restrições, as deformações diferenciais induzem a uma curvatura (Figura 1) em direção à fonte de calor (NADJAI et al., 2003; NAJDAI, GARRA e ALI, 2003). Segundo os autores, o colapso estrutural depende das condições de vinculação da parede, de sua geometria e magnitude do carregamento, sendo alcançado pelo efeito combinado das deformações térmicas e da degradação dos materiais sob altas temperaturas.

Figura 10 - Curvatura em direção ao fogo



Fonte: Adaptado de Najdai, Garra e Ali (2003)

MATERIAIS E MÉTODO

Para tornar a pesquisa viável, é necessário limitar as variáveis sob análise e seus níveis de controle. Assim, dentre os inúmeros materiais disponíveis e suas diversas classes de resistência, alguns serão escolhidos. Os valores nominais para a propriedade de resistência característica à compressão dos componentes a serem testados constam no Quadro 1.

- Para os **BLOCOS**: blocos de concreto - agregado graúdo de basalto ou granito ou gnaiss (de acordo com fábrica parceira); blocos cerâmicos - conforme fábrica parceira.
- Para **ARGAMASSAS**: tradicional – cimento, cal e areia; argamassa sem cal – com uso de aditivo.
- Para **GRAUTES**: agregado graúdo silicoso (basalto, granito ou gnaiss), conforme fábrica parceira).

Quadro 1 - Resistência característica à compressão dos componentes

Tipos de bloco			Resistências características à compressão (MPa)					f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}
			f_{bk}	f_a	f_{gk}	f_{pk}	f_{pk}^*		
	Bloco vazado de concreto (conforme ABNT NBR 6136:2017)	Dimensões 14 x 19 x 39 cm	3,0	4,0	15,0	2,4	4,8	0,80	2,00
			6,0	6,0	15,0	4,5	7,9	0,75	1,75
			12,0	8,0	25,0	8,4	13,4	0,70	1,60
			18,0	14,0	30,0	11,7	18,7	0,65	1,60
			24,0	18,0	40,0	14,4	23,0	0,60	1,60
	Bloco cerâmico de parede vazada (conforme ABNT NBR 15270-1:2017)	Dimensões 14 x 19 x 29 cm	6,0	6,0	15,0	3,0	4,8	0,50	1,60
			12,0	8,0	25,0	5,4	8,6	0,45	1,60
	Bloco cerâmico de parede maciça (conforme ABNT NBR 15270-1:2017)	Dimensões 14 x 19 x 29 cm	10,0	8,0	20,0	6,0	9,6	0,60	1,60
			18,0	15,0	30,0	10,8	17,3	0,60	1,60

f_{bk} =resistência característica à compressão do bloco

f_{pk} =resistência característica à compressão do prisma

f_{gk} =resistência característica à compressão do graute

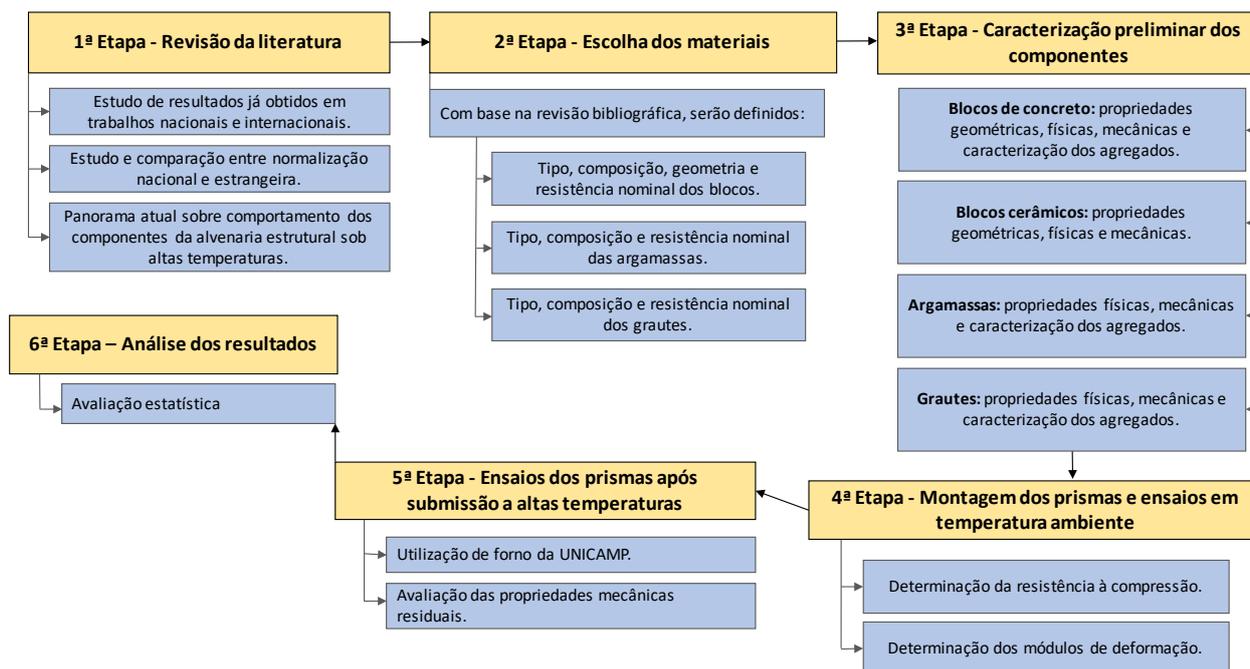
f_a =resistência característica à compressão da argamassa

f_{pk}^* =resistência característica à compressão do prisma cheio (2 furos grauteados)

Fonte: Autor (2019)

Sob o contexto geral, o desenrolar deste estudo se resumirá à sequência de passos da Figura 2.

Figura 11 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2018)

RESULTADOS ESPERADOS E CONCLUSÕES

Pretende-se, ao final desta pesquisa, reunir dados suficientes para o melhor entendimento do comportamento de prismas cerâmicos e de concreto expostos a altas temperaturas, sobretudo, no que tange às propriedades mecânicas residuais. A abordagem de classes de resistência e composições distintas, presença ou não de graute, visa contemplar grande parte dos materiais e das técnicas empregados no território nacional. Resultados de grande valia para futura normalização, desejados pelo meio técnico, além de serem ponto de partida para a calibração de modelos e simulações computacionais.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2001. 14p.

_____. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro. 2012. 48p.

_____. **NBR 15270: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria**. Rio de Janeiro. 2017.

AYALA, F. R. R. **Mechanical Properties and Structural Behaviour of Masonry at Elevated Temperatures**. 2010. 294p. Thesis (Doctorate in engineering and physical sciences) - University of Manchester, 2010.

LEITE, H. A. L.; MORENO JÚNOR, A.; TORRES, D. L. **Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2., p. 89-107, abr./jun. 2016.

MORENO JÚNOR, A.; MOLINA, J. C. **Considerações de interesse sobre a avaliação em laboratório de elementos estruturais em situação de incêndio: contribuições á revisão da NBR 5628: 2001**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 4., p. 37-53, out./dez. 2012.

NADJAI, A.; GARRA, M.; ALI, F. A.; LAVERTY, D. **A numerical model for the behavior of masonry under elevated temperatures**. Fire and Materials, v. 27, p. 163-182, 2003.

NADJAI, A.; GARRA, M.; ALI, F. A. **Finite element modelling of compartment masonry walls in fire**. Computer and Structures, v. 81, p. 1923-1930, 2003.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, C. D. B. **Instrução Técnica No. 08/2011: Resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011.

CAPTURA DE CO₂ EM BLOCOS DE CONCRETO ATRAVÉS DA CURA POR CARBONATAÇÃO ACELERADA E APLICABILIDADE INDUSTRIAL

CO₂ CAPTURE IN CONCRETE BLOCKS THROUGH CURE BY ACCELERATED CARBONATION AND INDUSTRIAL APPLICABILITY

Discente: Livia Regueira Fortunato Benitez, Engenheira civil, Doutoranda em engenharia civil

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

As mudanças climáticas são motivo de preocupação em todo o mundo, para tanto o desenvolvimento de tecnologias para sequestrar o CO₂ da atmosfera são essenciais para a mitigação das consequências deletérias do efeito estufa. Pesquisas recentes têm mostrado que materiais à base de cimento Portland possuem a capacidade de armazenar permanentemente CO₂ em sua matriz cimentícia sob a forma estável de carbonato de cálcio (CaCO₃), através da cura por carbonatação acelerada. A literatura mostra que a precipitação de CaCO₃ nos poros do material cimentício melhora suas propriedades físicas e mecânicas, e contribui com o meio ambiente ao incorporar definitivamente o CO₂. Essa tecnologia tem sido aplicada em componentes de concreto sem reforço de aço, tais como blocos e telhas. Neste sentido, o presente trabalho busca evidenciar a cura por carbonatação acelerada, os fatores que a influenciam, bem como apresentar a metodologia para sua implementação na indústria e os resultados esperados.

Palavras-Chave: sequestrar CO₂, cura, carbonatação acelerada, concreto.

ABSTRACT

Climate change is a cause of concern worldwide, and the development of technologies to sequester CO₂ from the atmosphere is essential for mitigating the deleterious consequences of the greenhouse effect. Recent research has shown that Portland cement-based materials have the ability to permanently store CO₂ in their cementitious matrix as stable calcium carbonate (CaCO₃) through accelerated carbonation cure. The literature shows that CaCO₃ precipitation in the pores of cementitious material improves its physical and mechanical properties, and contributes to the environment by definitively incorporating CO₂. This technology has been applied to concrete components without reinforcing steel such as blocks and tiles. In this sense, the present work seeks to highlight the accelerated carbonation cure, the factors that influence it, as well as to present the methodology for its implementation in the industry and the expected results.

Keywords: CO₂ sequestration, cure, accelerated carbonation, concrete.

INTRODUÇÃO

O planeta captura o CO₂ presente na atmosfera da Terra naturalmente através de mecanismos como a fotossíntese realizada pelas plantas, ciclo carbonato-silicato e processos físico-químicos e biológicos realizados pelos mares e oceanos (KASTING e CASTLING, (2003); PLASYNSKI, 2013). Porém com a intensificação das atividades humanas, a emissão de gases poluentes para a atmosfera tornou-se ligeiramente maior que a sua captura, acarretando o aquecimento global e suas consequências desastrosas (SANTOS, 2000). Nesse contexto, novas tecnologias, como a injeção do CO₂ em reservatórios geológicos e em poços de petróleo depletados, têm sido desenvolvidas visando o “sequestro” de CO₂ do meio. Neste estudo, abordar-se-á a estratégia de captura de CO₂ propiciada pela cura por carbonatação acelerada em produtos cimentícios não armados. Através da reação de carbonatação, o CO₂, presente no meio, é incorporado na matriz cimentícia sob a forma de carbonato de cálcio (CaCO₃) e precipita nos poros sob a forma mineralógica de calcita, vaterita e aragonita, promovendo ganhos ambientais relacionados ao sequestro de CO₂ do meio e benefícios à matriz cimentícia, tais como a melhora das propriedades físicas e mecânicas (YE (2003), SHAO et al. (2006), GALAN et al. (2010),

WANG et al. (2012), B. ZHAN et al. (2013), YUAN et al. (2013), NEVES JR (2014), JANG et al (2016), BERTOS et al. (2017), D. ZHANG et al. (2017)).

Em países como Estados Unidos e Canadá, a tecnologia do sequestro de carbono em materiais cimentícios já é explorada comercialmente nas indústrias. A CarbonCure Technologies Inc. desenvolveu um processo para cura de concretos utilizando o CO₂ capturado de usina termelétrica a carvão mineral e fábricas de cimento. A empresa afirma que essa tecnologia não apenas permite o armazenamento do CO₂ no concreto sob a forma de carbonatos quimicamente estáveis, mas também alivia eflorescência e fissuração devido a retração, além de melhorar a resistência ao congelamento e descongelamento (MONKMAN e MACDONALD, 2016). Outras companhias também têm utilizado benéficamente o CO₂ na cura, fabricação e modificação de cimentos, dentre elas destacam-se: Solidia Technologies, Calera Corporation, TecEco Pty. Ltd, Calix Ltd. e Kajima Corporation (JANG et al, 2016). Nessa conjuntura, a presente pesquisa objetiva desenvolver na prática, em escala industrial, o sequestro de CO₂ através da cura por carbonatação acelerada em pré fabricados cimentícios não armados, especificamente blocos de concreto; para tanto pretende-se instalar uma sala de carbonatação na empresa parceira deste trabalho.

REVISÃO

REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO ACELERADA

Através da reação de carbonatação, a qual possui natureza exotérmica, os produtos de hidratação do cimento, sendo o principal deles, o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), reagem com o CO₂, gerando produtos à base de carbonato e gel de sílica. A reação principal de carbonatação ocorre entre o Ca(OH)₂ e o CO₂ na presença de água e é apresentada a seguir:



Numerosos estudos realizados na segunda metade do século XX revelaram que não só Ca(OH)₂, mas também C-S-H pode ser submetido a carbonatação. De fato, relata-se que a carbonatação do hidrato silicato de cálcio ocorre em um segundo momento, quando a maior parte do hidróxido de cálcio já foi consumido (MORAN-DEAU et al., 2014). A reação é apresentada abaixo:



O principal produto formado pelas reações de carbonatação é o carbonato de cálcio (CaCO₃), o qual é insolúvel e aparece na forma mineralógica como, calcita, vaterita e raramente na forma de aragonita (SMOCZYK, 1976).

Desde o início do século XX, diversos autores têm estudado a carbonatação de hidratos de cimento, dentre eles destacam-se: Neville (1963), Ho e Lewis (1987), Parrot (1987), Saetta e Vitaliani (2004), Pauletti (2004), Villain et al. (2007). Historicamente o foco é dado a “carbonatação intempérica” do concreto armado, a qual ocorre a longo prazo e é deletéria à armadura, uma vez que causa a redução do pH do concreto promovendo a destruição da película passivadora que envolve o aço, deixando o material suscetível à corrosão, acarretando o declínio da durabilidade da estrutura de concreto armado (JANG et al., 2016).

Estudos recentes de Ye (2003), Shao et al. (2006), Galan et al. (2010), B. Zhan et al. (2013), Neves Jr (2014), Jang et al (2016), Bertos et al. (2017), D. Zhang et al. (2017), Fortunato et al. (2018) têm analisado e demonstrado que a reação de carbonatação quando utilizada como cura não acarreta a deterioração do material cimentício não armado, ao contrário, promove benefícios a este, dentre os quais destacam-se a capacidade potencial do concreto em absorver CO₂ da atmosfera, ganhos referentes as propriedades mecânicas, além de maior durabilidade.

CURA POR CARBONATAÇÃO ACELERADA

A cura de produtos cimentícios não armados por meio da carbonatação acelerada vem diretamente ao encontro da grande necessidade industrial referente ao aumento da produção e ganho de tempo, uma vez que

o tempo morto (tempo de cura) é extremamente reduzido (SHAO et al 2006). Ye (2003), Shao et al. (2006), Galan et al. (2010), B. Zhan et al. (2013), Neves Jr (2014), Jang et al (2016), Bertos et al. (2017), D. Zhang et al. (2017), Fortunato et al. (2018), mostraram que a referida cura além de capturar CO_2 promove a densificação da microestrutura e alterações nas ligações químicas dos produtos cimentícios, levando ao aumento de resistência mecânica e durabilidade. Segundo essas referências bons resultados são obtidos nos processos em que a cura por CO_2 é utilizada para substituir totalmente ou parcialmente a cura úmida e cura térmica, tradicionalmente empregadas. Shao e Morshed (2015), verificaram que a cura por CO_2 permite duração consideravelmente menor do que as curas tradicionais, além de contribuir para melhorar as propriedades de alta resistência e baixa permeabilidade do concreto. Boyd et al (2012) compararam a cura por carbonatação acelerada com a cura à vapor e verificaram que após a cura por carbonatação o concreto passa a exibir maior resistência à permeabilidade de cloretos e à ataques de sulfatos e menores danos foram observados por congelamento e descongelamento; tais fatos foram atribuídos ao teor significativamente reduzido de hidróxido de cálcio na superfície do concreto carbonatado. Alguns estudos tem associado a cura por CO_2 às curas tradicionais, He et al. (2016) submetem amostras à cura de CO_2 e posterior cura úmida, a pós-hidratação através da cura com água aumentou a formação de gel C-S-H, etringita e monocarboaluminato, os quais promoveram a diminuição da porosidade da matriz cimentícia. Já Pauletti (2004) analisou a cura úmida, realizada antes da cura por CO_2 , e verificou que a cura submersa ou úmida ao passo que promoveu condições satisfatórias para hidratação do cimento, acabou ocasionando o fechamento dos poros, reduzindo a velocidade da reação de carbonatação, não sendo, contudo, a mais indicada para a finalidade abordada neste trabalho. Lo e Lee (2002) compararam a cura ao ar com a cura úmida realizadas anteriormente à Cura por CO_2 e observaram que concretos curados em água apresentam 72% da carbonatação dos concretos curados ao ar, após 03 meses de ensaio acelerado. Os estudiosos concluíram que a cura ao ar faz com que os poros fiquem mais abertos, o que propicia o aumento da quantidade de canais intercomunicáveis e consequente aumento da velocidade de difusão de dióxido de carbono.

MÉTODO

A fim de atender aos objetivos propostos para o presente trabalho, a metodologia utilizada buscará verificar a absorção de CO_2 em blocos de concreto que serão submetidos à carbonatação acelerada e a influência desta nas suas propriedades mecânicas. O programa experimental será dividido em três fases, sendo estas:

Fase 01: serão verificados a absorção de CO_2 e ganho de resistência inicial em blocos de concreto fabricados com mesmo traço da indústria. Nesta fase, será construída a câmara de carbonatação para realização da cura;

Fase 02: serão verificados a absorção de CO_2 e ganho de resistência inicial em blocos de concreto fabricados com resíduos ricos em Ca(OH)_2 ;

Fase 03: investigação e obtenção da fonte emissora de CO_2 mais limpa (usinas produtoras de álcool, cimenteiras, entre outras) e levantamento do custo para possibilitar o procedimento de cura por carbonatação nas indústrias.

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE

Na primeira fase do estudo será realizado o levantamento do estado da arte relacionado ao sequestro de CO_2 , propiciado pela cura por carbonatação acelerada, em blocos de concreto; bem como a definição teórica dos processos e tempos de cura inicial e cura por carbonatação. Na sequência, dar-se-á início a confecção da câmara de carbonatação e produção dos blocos de concreto em indústria parceira da pesquisa através de máquina vibro prensa, com posterior submissão destes ao processo de cura inicial com posterior cura por carbonatação. Nesta fase, pretende-se utilizar os mesmos materiais e traço desenvolvidos pela indústria, objetivando-se aproximar a teoria da realidade praticada no mercado. Ensaio de verificação e quantificação da absorção de CO_2 , bem como ensaios para avaliação da resistência mecânica dos blocos carbonatados e referenciais serão realizados nos laboratórios da UFSCar.

Na segunda fase serão produzidos blocos com resíduos ricos em hidróxido de cálcio, visando-se maximizar a carbonatação; estes também serão submetidos à cura inicial e cura por carbonatação utilizando-se as mesmas variáveis já citadas. Ensaio de verificação e quantificação da absorção de CO_2 , bem como ensaios para

avaliação da resistência mecânica dos blocos carbonatados e referenciais serão realizados nos laboratórios da UFSCar.

Na terceira etapa será efetuado o levantamento da fonte emissora de CO₂ mais limpa, bem como o custo para viabilização da cura por carbonatação acelerada nas indústrias.

CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Através dos resultados e informações a serem obtidos neste trabalho espera-se que o processo de cura por carbonatação acelerada implementado na empresa parceira possa ser executado em outras indústrias fabricantes de pré-fabricados não armados. O intuito é estimular a produção de blocos de concreto sustentáveis devido a captura de CO₂ do meio e mais eficientes do ponto de vista da resistência mecânica, reduzindo-se o tempo de espera nos pátios das fábricas.

REFERÊNCIAS

SHAO Y., ZHOU X., MONKMAN S., —A new CO₂ sequestration process via concrete products production. EIC Climate Change Technology, Canada, Ottawa, 10-12 May 2006.

GALAN, I.; Andrade C.; Mora, P.,Sanjuan,M. Sequestration of CO₂ by Concrete Carbonation. Environmental Science and Technology. Vol. 44, 2010.

WANG, YC., CHANG, EE., PAN, SY., et al. — CO₂ capture by using blended hydraulic slag cement via a slurry reactor||, Aerosol and Air Quality Research, v.12, n.6, pp 1433-1443, 2012.

Zhan, B; Poon, C, Caijun, S. CO₂ curing for improving the properties of concrete blocks containing recycled aggregates. Cement & Concrete Composites 42 (2013) 1–8.

Damineli, Bruno Luis, Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Ed.Rev. São Paulo, 2013, 237p.

KASTING, J.F.; CATLING,D. Evolution of an habitable planet. Annu. Rev. Astron. Astrophys, New York, n.41, p.429-463,2003.

PLASYNSKI, S., DAMIANI, D. —Carbon Sequestration through Enhanced Oil Recovery||, U. S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory. Disponível em: , Acesso em 25 out. 2017.

YE, G., 2003, —Carbon Dioxide Uptake By Concrete Through Early-Age Curing||. M.Sc Dissertation, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canadá.

Jang, J.G., Kim, H.J., Park, S.M., Lee, H.K., The influence of sodium hydrogen carbonate on the hydration of cement. Constr. Build. Mater. 94 (2015).

Bertos M, S.J.R. Simons. A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂. Journal of Hazardous Materials B112 (2004).

Fernández Bertos M, S.J.R. Simons. A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂. Journal of Hazardous Materials B112 (2004).

Monkman, S, MacDonald, M, Carbon dioxide upcycling into industrially produced concrete blocks, Constr. Build. Mater. 124 (2016) 127–132.

ShaoY, Morshed A.Z., Early carbonation for hollow-core concrete slab curing and carbon dioxide recycling, Mater. Struct. 48 (2015).

Boyd, Andrew J., Rostami, V., Shao, Y. Carbonation Curing versus Steam Curing for Precast Concrete Production. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 24, No. 9, September 1, 2012.

He, Zirui , Yingjie Li,* , Xiaotong Ma , Wan Zhang , Changyun Chi, Zeyan Wang. Influence of steam in carbonation stage on CO₂ capture by Ca-based industrial waste during calcium looping cycles. international journal of hydrogen energy 41 (2016).

Pauletti, C. Análise Comparativa de Procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação. Dissertação - UFRS, Porto Alegre, 2004.

LO, Y; LEE, H;.M. Curing effects on carbonation of concrete using phenolphthalein indicator and Fourier- transform infrared spectroscopy. Building and Environment, v.37, n5, May 2002.

FENÔMENOS DE PASSIVAÇÃO E CORROSÃO DE ARMADURAS DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Passivation and corrosion phenomena of cementitious composite reinforcement

Discente: Mariana de Almeida Motta Rezende, Engenheira Civil, Mestra em Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Almir Sales

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar (ACBC) pode ser utilizada como substituição à areia fina em compósitos cimentícios, especificadamente em concretos para fins estruturais. Entretanto, pouco é sabido sobre seu efeito na corrosão de armaduras de concreto. Para avaliar esse efeito, duas soluções de poros de concreto simuladas serão feitas (com e sem ACBC). O potencial de circuito aberto, as curvas de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica serão técnicas eletroquímicas utilizadas para estudar a formação do filme passivador formado no aço imerso nessas soluções. Além disso, estudos de superfície do aço por meio de microscopias eletrônicas de varredura com espectroscopia de dispersão de raios-X serão realizados para verificar as espécies presentes no filme passivador. As mesmas técnicas serão utilizadas para verificar a corrosão de armaduras em meios dessas soluções com agentes agressivos como cloreto e carbonatos.

Palavras-Chave: “areia de cinza de bagaço de cana-de-açúcar”, armadura, concreto, corrosão, passivação.

ABSTRACT

Sugarcane bagasse ash (SBAS) can be used as a replacement for fine sand in cementitious composites, specifically in concrete for structural purposes. However, little is known about its effect on corrosion of concrete reinforcement. To evaluate this effect, two simulated concrete pore solutions will be made (SBAS and SBAS-free). Open circuit potential, linear sweep voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy will be the electrochemical techniques used to study the formation of the passivating film formed in the steel immersed in these solutions. In addition, steel surface will be studied by scanning electron microscopy with X-ray scattering spectroscopy to verify the species present in the passivating film. The same techniques will be used to verify the corrosion of reinforcement in media of these solutions with aggressive agents such as chloride and carbonates.

Keywords: “sugarcane bagasse ash”, “concrete reinforcement”, concrete, corrosion, passivation.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, gerando milhões de toneladas de bagaço em sua produção. O resíduo gerado na queima do bagaço de cana, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (ACBC) atualmente não possui destinação correta, ficando armazenada aos montes nas usinas. Pesquisas já realizadas no grupo de estudos da autora verificaram a possibilidade de incorporação desse resíduo em compósitos cimentícios, especialmente em concretos para fins estruturais (MORETTI *et al.*, 2016; MORETTI *et al.*, 2018; MORETTI; NUNES; SALES, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2019). Verifica-se, porém, a necessidade de aprofundar o estudo de passivação do aço em meio com ACBC e melhorar os estudos de corrosão associados ao mesmo sistema.

Em um contexto de dificuldade de avaliação do potencial de corrosão e análise de formação de filme passivo do aço em amostras de compósitos cimentícios devido à alta resistividade do concreto, esta pesquisa tem por objetivo a utilização de técnicas eletroquímicas no aço de construção civil imerso em soluções de poros de concreto simuladas (SPCS) por meio da comparação dos resultados em amostras sólidas com SPCS. Serão utilizados compósitos cimentícios convencional e com areia de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (ACBC), traços já estudados pelo grupo de pesquisa, com intuito de ratificar os resultados a serem obtidos nessa nova proposta.

REVISÃO

A partir da publicação da norma americana C876-91 (ASTM, 1991) de avaliação do potencial de corrosão de armaduras de concreto, muitas pesquisas foram realizadas no sentido de verificar a taxa de corrosão de aços de construção civil em diferentes tipos de compósitos cimentícios. Além das intrínsecas dificuldades de entender o processo eletroquímico do sistema metal | filme passivo | eletrólito | face do compósito cimentício (KOGA; ALBERT; NOGUEIRA, 2018), a corrosão no concreto armado não é diretamente acessível por meio de sondas. Por essa razão, o protocolo da ASTM C876-15 (ASTM, 2016) recomenda uma solução empírica para o problema por meio da comparação de potenciais de corrosão obtidos em um sistema e os potenciais de parâmetro da respectiva norma.

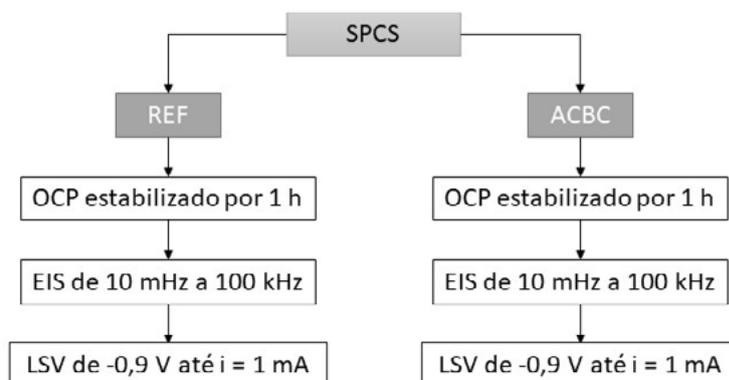
Embora tenha sido um grande avanço para o estudo da corrosão em concreto armado, a norma americana é questionável, pois há muitos parâmetros que influenciam a corrosibilidade de um material complexo como o concreto, tais como: tipo de cimento (o experimento normativo seria para avaliar apenas compósitos de cimento Portland) e suas características; processo construtivo; as condições de serviço, entre outros. Dessa forma, é difícil utilizar apenas os parâmetros de uma norma para avaliar a probabilidade de uma armadura estar corroída. Dessa forma, a tendência atual é de utilizar apenas as técnicas eletroquímicas já consagradas no universo físico-químico, deixando de serem seguidos os padrões da norma americana, para avaliação da corrosibilidade de armaduras (JIN *et al.*, 2019; KARTHICK *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2018; RENGARAJU; NEELAKANTAN; PILLAI, 2019; TAHERI, 2019).

Atualmente, observa-se a crescente utilização de soluções de poros de concreto simuladas de várias formas para avaliação da passivação e corrosão do aço nesse meio (PU *et al.*, 2012; XU *et al.*, 2019; OGUNSANYA; HANSSON, 2019). Com base nessas pesquisas, serão elaboradas SPCS para esta pesquisa, com adição de ACBC e agentes agressivos, tais como cloretos e carbonatos.

MÉTODO

Para verificar se a incorporação de ACBC aumenta a resistência à corrosão da armadura do concreto em SPCS, uma solução de poros de concreto simulada sem ACBC (REF) e uma solução com ACBC (ACBC) serão produzidas. Em cada uma das soluções será adotado o procedimento de técnicas eletroquímicas descrito na Figura 12. Conforme a figura, serão feitas em cada uma das soluções o monitoramento do potencial de circuito aberto (OCP) por 1 h, para que os eletrodos se estabilizem. Em seguida, será feita uma medida de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) de 10 mHz a 100 kHz com amplitude de 10 mV. Por fim, serão feitas curvas de polarização (LSV) com varredura de potencial de -0,9 V até que o potencial em que a densidade de corrente seja igual a 1 mA.

Figura 12 - Procedimento de técnicas eletroquímicas que serão utilizadas



Fonte: própria autora.

A célula eletroquímica montada para estudar o sistema é composta pelo eletrodo de referência de Hg/HgO, o contra-eletrodo de platina e o eletrodo de trabalho feito do aço CA-60 limpo segundo a G1-03 (ASTM INTERNATIONAL, 2011), embutido em resina epóxi, desengordurado, lixado e soldado a um cabo de cobre (Figura 13).

Figura 13 - Eletrodo de trabalho feito de CA-60

Fonte: própria autora.

O procedimento de ensaios eletroquímicos da Figura 12 será feito para as SPCS REF, ACBC e as combinações dessas soluções com cloretos e carbonatos para avaliar a influência da corrosão por cloretos e por carbonatação no eletrodo de referência.

Ao final, serão realizadas microscopias eletrônicas de varredura (MEV) com espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX) para verificar os compostos que formam os produtos de oxidação do aço ou formação do filme passivo.

RESULTADOS

Os resultados de monitoramento de OCP serão exibidos em forma de gráfico de potencial de circuito aberto *versus* Hg/HgO em V por tempo de monitoramento em s. Esse resultado será utilizado apenas para ratificar que o eletrodo de trabalho se encontra em equilíbrio no momento de análise eletroquímica. Os resultados de EIS serão exibidos em diagramas de Nyquist e Bode. Além disso, serão utilizados circuitos equivalentes para fitar os dados, para que seja possível calcular a capacitância do filme passivador e a resistência da dupla camada de elétrons entre o aço e a solução. Através do gráfico de densidade de corrente e potencial aplicado das curvas de polarização, será possível traçar as retas de Tafel e calcular a resistência à polarização do filme passivador formado no aço. As análises de imagem feitas por MEV com EDX serão úteis para verificar se os produtos de corrosão formados na superfície do aço condizem com as análises eletroquímicas verificadas anteriormente. Espera-se, dessa forma, verificar a influência da adição de ACBC na corrosibilidade do aço em SPCS.

CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

Até o momento, já foram estudados vários tipos de procedimentos eletroquímicos em SPCS para se chegar ao procedimento apresentado na Figura 12. Os eletrodos de trabalho já foram confeccionados e algumas medidas preliminares de teste já foram executadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. C. R.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; MENDES, P. C. D. Use of sugarcane bagasse ash sand (SBAS) as corrosion retardant for reinforced Portland slag cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 226, p. 72–82, 2019.

ASTM. **ASTM C876-91 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete** Philadelphia, 1991.

- ASTM. **ASTM C876-15 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete** Philadelphia, 2016.
- ASTM INTERNATIONAL. **G1 - 03 Standard Practice for Preparing , Cleaning , and Evaluating Corrosion Test Significance** Philadelphia, 2011.
- JIN, M.; JUANG, Y.; CHU, H.; ZHI, F.; GAO, S. Fabrication and characterization of pseudo reference electrode based on graphene-cement composites for corrosion monitoring in reinforced concrete structure. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 144–157, 2019.
- KARTHICK, S.; MURALIDHARAN, S.; LEE, H.; KWON, S. Reliability and long-term evaluation of GO-MnO₂ nano material as a newer corrosion monitoring sensor for reinforced concrete structures. **Cement and Concrete Composites**, v. 100, n. March, p. 74–84, 2019.
- KOGA, G. Y.; ALBERT, B.; NOGUEIRA, R. P. Revisiting the ASTM C876 standard for corrosion of reinforcing steel: On the correlation between corrosion potential and polarization resistance during the curing of different cement mortars. **Electrochemistry Communications**, v. 94, n. July, p. 1–4, 2018.
- MA, X.; LIU, H.; WANG, M. L.; BIRKEN, R. Automatic detection of steel rebar in bridge decks from ground penetrating radar data. **Journal of Applied Geophysics**, v. 158, p. 93–102, 2018.
- MORETTI, J. P.; SALES, A.; ALMEIDA, F. C. R.; REZENDE, M. A. M.; GROMBONI, P. P. Joint use of construction waste (CW) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 317–323, 15 jun. 2016.
- MORETTI, J. P.; SALES, A.; QUARCIONI, V. A.; SILVA, D. C. B.; OLIVEIRA, M. C. B.; PINTO, N. S.; RAMOS, L. W. S. L. Pore size distribution of mortars produced with agroindustrial waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 473–484, 2018.
- MORETTI, J. P.; NUNES, S.; SALES, A. Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. v. 172, p. 635–649, 2018.
- OGUNSANYA, I. G.; HANSSON, C. M. The semiconductor properties of passive films and corrosion behavior of stainless steel reinforcing bars in simulated concrete pore solution. **Materialia**, v. 6, n. April, p. 100321, 2019.
- PU, Q.; JIANG, L.; XU, J.; CHU, H.; XU, Y.; ZHANG, Y. Evolution of pH and chemical composition of pore solution in carbonated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 28, n. 1, p. 519–524, 2012.
- RENGARAJU, S.; NEELAKANTAN, L.; PILLAI, R. G. Investigation on the polarization resistance of steel embedded in highly resistive cementitious systems – An attempt and challenges. **Electrochimica Acta**, v. 308, p. 131–141, 2019.
- TAHERI, S. A review on five key sensors for monitoring of concrete structures. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 492–509, 2019.
- XU, P.; JIANG, L.; GUO, M.; ZHA, J.; CHEN, L.; CHEN, C.; XU, N. Influence of sulfate salt type on passive film of steel in simulated concrete pore solution. **Construction and Building Materials**, v. 223, p. 352–359, 2019.

ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO NA EXECUÇÃO DE SISTEMAS DE ALVENARIA: COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM O SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Ergonomic Work Analysis in the execution of masonry systems: comparison between the Brick Masonry System and the Reinforced Masonry System

Discente: Andreia Sofia Moreira Martins, Engenheira Civil, Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Qualificada (19/02/2019) Banca: Prof. Dr. Daniel Braatz e Prof. Dra. Christine Werba Sandanha

RESUMO

Esta pesquisa procura analisar as tarefas de dois sistemas construtivos de alvenaria, vedação e estrutural, determinando qual o sistema que apresenta maiores riscos para a saúde física e mental dos trabalhadores, adotando o método da análise ergonômica do trabalho (AET). O estudo foi dividido por três etapas, a pesquisa bibliográfica, a pesquisa empírica, definida por vários estudos de caso em ambos sistemas de alvenaria. E, por último, a análise dos resultados, aplicando o método da AET, com o auxílio das ferramentas de avaliação dos riscos ergonômicos, *Ovaco Working Posture Analysing System (OWAS)*, *Rapid Entire Body Assesement (REBA)*, *Metabolic Equivalent (MET)* e *Ergonomic Worplace Analysis (EWA)*, obter um diagnóstico dos vários estudos de caso que permita avaliar as posturas mais críticas, para posteriormente serem desenvolvidas recomendações que possam melhorar o ambiente de trabalho e evitar o desenvolvimento de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho. Para os estudos de caso realizados, durante a etapa de aplicação dos blocos, o sistema de alvenaria de vedação obteve resultados mais prejudiciais para a saúde do trabalhador, comparado com o sistema de alvenaria estrutural.

Palavras-Chave: Análise Ergonômica do Trabalho; Construção Civil; Alvenaria de Vedação; Alvenaria Estrutural; OWAS.

ABSTRACT

This research seeks to analyze the tasks of two masonry construction system, brick masonry and reinforced masonry, determining which system presents the greatest risks to the physical and mental health of workers, adopting the method of ergonomic work analysis (AET). The study was divided into three stages, bibliographic research, empirical research, defined by several case studies in both masonry systems. And finally, the analysis of the results, applying the AET method, with the aid of ergonomic risk assessment tools, *Ovaco Working Posture Analysis System (OWAS)*, *Rapid Entire Body Assessment (REBA)*, *Metabolic Equivalent (MET)* and *Ergonomic Worplace Analysis (EWA)*, obtain a diagnosis of the various case studies to assess the most critical postures, to further develop recommendations that can improve the work environment and prevent the development of work-related musculoskeletal disorders. For the case studies performed, during the block application stage, the brick masonry system obtained more detrimental results for the worker health compared to the reinforced masonry system.

Keywords: Ergonomic Workplace Analysis; Construction; Brick Masonry; *Reinforced Masonry*; OWAS.

INTRODUÇÃO

Os distúrbios musculoesqueléticos são lesões ou dor que afetam músculos, articulações e tendões, resultando das posturas inadequadas definidas pelas atividades praticadas diariamente (VALERO et al., 2016) in particular with regard to work-related musculoskeletal disorders (WMSDs). Quando essas atividades estão associadas ao trabalho, as lesões resultantes são referidas como Distúrbios Musculoesqueléticos Relacionados

ao Trabalho (DORT). Os problemas de saúde ocupacional resultantes da inadequação das condições de trabalho impactam o bem-estar da população trabalhadora, como também as economias dos países (VALERO et al., 2017) we present a novel system and data processing framework to deliver intuitive and understandable motion-related information about workers. The system uniquely integrates Inertial Measurement Unit (IMU.

De acordo com o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) em 2017 foram concedidos 39 425 benefícios auxílios-doença acidentários a trabalhadores que precisavam de ficar mais de 15 dias afastados do trabalho por causa de algum tipo de doença do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo (BRASIL, 2018a). Este valor representou 20,63% de todos os benefícios concedidos pelo Ministério da Fazenda, sendo a dorsalgia (desconforto físico que ocorre em qualquer ponto da coluna ou das costas) com 30,10% e as lesões do ombro com 27,01%, as doenças mais encontradas na população brasileira, dentro dos distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (BRASIL, 2018a).

Por meio da análise ergonômica do trabalho (AET) propõe-se realizar um levantamento dos riscos ergonômicos desenvolvidos pelas atividades exercidas dentro do canteiro de obras, com a finalidade de preencher a lacuna no conhecimento científico relativamente ao posto de trabalho de alvenaria de vedação e alvenaria estrutural. O objetivo desta pesquisa é avaliar qual o sistema construtivo, alvenaria de vedação ou alvenaria estrutural, que apresenta maiores riscos ergonômicos para a saúde dos trabalhadores, durante as etapas de recebimento, transporte, estocagem, processamento intermediário e aplicação dos blocos, em edifícios verticalizados, aplicando o método da análise ergonômica do trabalho, com o auxílio das ferramentas de avaliação de risco ergonômico OWAS, REBA, MET e EWA.

REVISÃO

A indústria da construção civil é um segmento importante da economia brasileira, gera um grande volume de riquezas e empregos para diversos setores da sociedade, especialmente para a classe socioeconômica mais baixa. Apesar de ter sofrido uma queda no crescimento setorial durante os últimos anos, o mercado da construção continua a ser o setor que mais produz em toda a sua cadeia produtiva, em 2017 a construção representou 61,0% do PIB de toda a cadeia, seguindo-se a indústria de materiais com apenas 11,4% e o comércio de materiais com 9,0% (ABRAMAT; FGV, 2017). Conseqüentemente, a construção civil é uma das indústrias com maior desenvolvimento de risco de DORT e LER no Brasil. Segundo os dados fornecidos pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) para a atividade da construção de edifícios foram atribuídos 4551 benefícios auxílios-doença acidentários em 2017 (BRASIL, 2018b). Os autores Inyang et al. (2012) criticam esta indústria pela falta de implementação de estruturas ou políticas, para avaliar tarefas de forma contínua, com o intuito de determinar o efeito instantâneo ou cumulativo da exposição aos riscos, a maior parte do foco é na segurança voltada para acidentes, quedas e cortes. O trabalho na indústria da construção normalmente envolve tarefas fisicamente exigentes, frequentemente realizadas em condições ambientais adversas, que podem causar fadiga, tomada de decisões prejudiciais, má qualidade do trabalho, aumento do risco de acidentes e redução da produtividade (CHENG et al., 2013) the authors deployed nonintrusive real-time worker location sensing (RTLS). Em 2016 foi elaborada uma pesquisa na capital paulista pelo Serviço Social de Construção (Seconci-SP) sobre quais os motivos que levaram os trabalhadores da construção civil a procurarem atendimento médico, o levantamento considerou 51.244 consultas (SECONCI-SP; SINDUSCON-SP, 2017). Esta pesquisa revelou uma grande prevalência de atendimentos relacionados à prevenção (check-ups), com uma percentagem de 16% das consultas, o segundo motivo com mais demanda refere-se a doenças do sistema osteomuscular e tecido conjuntivo, com 15% (SECONCI-SP; SINDUSCON-SP, 2017). Entre os cargos dos profissionais que mais demandaram exames preventivos estão o servente de obra (12,1%) e o pedreiro (9,4%) (SECONCI-SP; SINDUSCON-SP, 2017).

Apesar das melhorias nos equipamentos de construção, métodos, segurança e ergonomia no local de trabalho, a indústria da construção está entre as indústrias mais perigosas e exigentes fisicamente (GATTI; SCHNEIDER; MIGLIACCIO, 2014). A ergonomia tem definida, tecnicamente, um conjunto de ciências e tecnologias que procuram o ajuste produtivo, confortável e seguro entre o ser humano e seu trabalho, basicamente procurando adaptar o trabalho às características do ser humano (COUTO, 2014). Torna-se assim necessário encontrar maneiras de identificar e avaliar efetivamente os riscos de DORT, que é a chave para resolver esse problema. Portanto, observar a maneira como os trabalhadores executam as suas tarefas repetitivas em uma empresa de construção, por exemplo, é de grande importância para a saúde e para o desenvolvimento de

programas de segurança, pois apoia medidas preventivas para prevenir ou reduzir os riscos de lesões nos trabalhadores (Li et al., 2017).

MÉTODO

Quadro 1 - Quadro resumo dos estudos de caso realizados

Classificação do EC	Numeração do EC	Período de Realização	Local do EC
Alvenaria de Vedação – Contratação Própria	EC01	22/05/2018 a 30/05/2018	Maringá - PR
	EC02	14/09/2018 a 20/09/2018	São Carlos - SP
	EC03	Não foi realizado	-
Alvenaria de Vedação - Subcontratada	EC04	06/05/2019 a 15/05/2019	São Carlos-SP
	EC05	Não foi realizado	-
	EC06	Não foi realizado	-
Alvenaria Estrutural – Contratação Própria	EC07	10/08/2018 a 20/08/2018	São Carlos - SP
	EC08	Não foi realizado	-
	EC09	Não foi realizado	-
Alvenaria Estrutural - Subcontratada	EC10	24/08/2018 a 31/08/2018	Ribeirão P. - SP
	EC11	10/09/2018 a 17/09/2018	São Carlos - SP
	EC12	29/04/2019 a 09/05/2019	São Carlos-SP

Fonte: Autora

A presente pesquisa foi dividida em vários pontos que permitam a estruturação do estudo da AET para os sistemas de alvenaria, sendo este o plano de trabalho referente à investigação a desenvolver durante o doutorado, algumas destas etapas já foram realizadas:

1. Já foi realizado o levantamento do referencial teórico sobre os temas referentes à situação da construção civil no Brasil, estudos ergonômicos na construção civil num contexto nacional e internacional, análise ergonômica do trabalho referente às atividades da alvenaria e ferramentas de avaliação do risco ergonômico mais utilizadas para a avaliação da AET, consultado por meio de teses, dissertações, livros, manuais, artigos de periódicos, anais e sites organizacionais;
2. Também já foi implementado o método da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) utilizando diferentes strings de busca com palavras-chaves referentes ao tema. A RBS procurou artigos de periódicos relevantes em diferentes bases de dados científicas internacionais, que auxilia no desenvolvimento da revisão bibliográfica tornando o referencial teórico mais detalhado;
3. Foram estudadas as ferramentas de avaliação do risco ergonômico, que auxiliam na análise da posturas e avaliações do meio de trabalho, as ferramentas selecionadas foram REBA, OWAS, EWA e MET;
4. Execução de doze estudos de caso para os dois tipos de alvenaria e de contratação (alguns já foram realizados, Quadro 1), sendo os dois primeiros considerados estudos exploratórios:
 - 4.1 Realização de entrevistas aos trabalhadores que executam a construção dos sistemas de alvenaria e aos responsáveis pela fiscalização dos trabalhos e pela saúde e segurança em obra, de modo a coletar informações relevantes para os estudos de caso;
 - 4.2 Identificação das operações (método prescrito) a serem realizadas pelos trabalhadores, no posto de trabalho de execução de alvenaria, de vedação e estrutural;
 - 4.3 Identificação das operações realizadas pelos trabalhadores (método executado), para os diferentes sistemas construtivos, coletando dados referentes às posturas de trabalho e avaliação de riscos, com o auxílio de fotografias, filmagens e registros das atividades durante o acompanhamento em obra;
5. Aplicação de diferentes ferramentas de avaliação ergonômica do trabalho (AET) em ambos os sistemas de alvenaria, por meio dos dados coletados no estudo de campo, para conhecer quais os riscos ergonômicos nas diversas etapas da execução;
6. Elaboração de um diagnóstico comparando e avaliando qual o sistema de alvenaria mais crítico de acordo com a avaliação de riscos ergonômicos e qual o tipo de contratação que apresenta maior risco para a saúde dos trabalhadores e a comparação de resultados entre os dois tipos de contratação;

7. Identificação das barreiras do posto de trabalho, dentro das ferramentas aplicadas quais as atividades que demonstram impactos com um potencial mais significativo, para cada sistema construtivo e para cada tipo de contratação. De modo a identificar quais as posturas e gestos mais prejudiciais para a saúde dos trabalhadores;
8. Discussão dos resultados e apresentação de recomendações ergonômicas para os dois sistemas construtivos, com o intuito de melhorar as condições de trabalho dos operários, visando a correção das posturas, e a prevenção de riscos e lesões de trabalho durante as atividades.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Até ao momento apenas foram aplicadas todas as ferramentas, OWAS, REBA, MET e EWA, para os estudos de caso exploratórios, EC01 e EC07. A ferramenta MET que calcula o gasto calórico, obteve resultados mais críticos para o estudo EC01, em que duas tarefas, marcação da vedação e elevação da vedação – parte inferior, obtiveram classificação de trabalho pesado, já o EC07 obteve em todas as suas tarefas classificação de trabalho moderado. A ferramenta REBA e OWAS, responsáveis pela observação e análise das posturas exercidas pelos trabalhadores, também obtiveram piores resultados no EC01 em relação ao estudo EC07, principalmente durante a tarefa de marcação da vedação. A ferramenta REBA obteve uma classificação majoritariamente de risco elevado para o EC01 e para o EC07 a classificação ficou em torno de risco médio. A OWAS permitiu observar que no EC01 para a tarefa de marcação da vedação obteve uma classificação maioritária nível 3, comprovando que os trabalhadores passam muito tempo com o dorso inclinado e os joelhos fletidos. Já para o EC07 a classificação é um pouco mais baixa, nível 2, no entanto também se comprovou uma grande percentagem do tempo com o dorso inclinado. A ferramenta EWA classifica o local de trabalho e a opinião dos trabalhadores quanto ao ambiente e tarefas realizadas, em ambos estudos os trabalhadores têm uma boa avaliação quanto ao seu trabalho e ao local. No entanto ainda faltam várias avaliações por implementar e realização dos estudos em falta, para ser possível obter um diagnóstico mais sólido.

REFERÊNCIAS

- ABRAMAT; FGV. Perfil da Indústria de Materiais de Construção. Disponível em: <<http://www.abramat.org.br/lista-interna&codigo=9>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- BRASIL. Acompanhamento Mensal dos Benefícios Auxílios-Doença Previdenciários Concedidos segundo os Códigos da CID-10 - Janeiro a Dezembro de 2017. Anuário Estatístico Da Previdência Social, p. 98, 2018a.
- BRASIL. Acompanhamento Mensal dos Benefícios Auxílios-Doença Acidentários Concedidos segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). Anuário Estatístico Da Previdência Social, p. 6, 2018b.
- CHENG, T. et al. Data fusion of real-time location sensing and physiological status monitoring for ergonomics analysis of construction workers. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 27, n. 3, p. 320–335, 2013.
- COUTO, H. DE A. A prevenção dos acidentes e doenças ocupacionais no sistema de gestão de risco. *Revista do Tribunal Superior do Trabalho*, v. 80, n. 1, p. 128–144, 2014.
- GATTI, U. C.; SCHNEIDER, S.; MIGLIACCIO, G. C. Physiological condition monitoring of construction workers. *Automation in Construction*, v. 44, p. 227–233, 2014.
- INYANG, N. et al. Ergonomic Analysis and the Need for Its Integration for Planning and Assessing Construction Tasks. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 138, n. 12, p. 1370–1376, 2012.
- LI, X. et al. A framework for evaluating muscle activity during repetitive manual material handling in construction manufacturing. *Automation in Construction*, v. 79, p. 39–48, 2017.
- SECONCI-SP; SINDUSCON-SP. Motivos que levaram os trabalhadores da construção civil a procurarem atendimento médico. Disponível em: <<https://www.sindusconsp.com.br/pesquisa-expoe-os-motivos-que-levaram-os-trabalhadores-da-construcao-civil-a-procurarem-atendimento-medico/>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- VALERO, E. et al. Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network. *Applied Ergonomics*, v. 54, p. 120–130, 2016.
- VALERO, E. et al. Analysis of construction trade worker body motions using a wearable and wireless motion sensor network. *Automation in Construction*, v. 83, p. 48–55, 2017.

BIM-4D APLICADO AO PROJETO PARA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

BIM-4D APPLIED TO CONSTRUCTION SAFETY PROJECT

Discente: Carla Barroso O. Leão, Engenharia Civil, M.Sc. Construção Civil

Orientador: Profa.Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

Nível: Doutorado

Estágio da pesquisa: Qualificação - 11/09/19 - Banca: Prof(a). Dr(a). Regina Coeli Ruschel - UNICAMP e Prof(a). Dr(a). Assed Naked Haddad - UFRJ.

RESUMO

Este texto apresenta os passos iniciais de uma pesquisa cujo propósito é a Automatização de regras para elaboração de projetos de proteção coletiva em BIM. Nesta fase inicial, o objetivo foi **identificar pontos de melhoria na integração do planejamento dos sistemas de proteção coletiva ao cronograma utilizando a prototipagem virtual em modelo BIM-4D**. Para tanto, a abordagem desta etapa consistiu em: Definição do projeto; Modelagem da biblioteca; Desenvolvimento do projeto de proteção coletiva em BIM-3D; Planejamento de atividades e simulação. Como resultado, foram detectadas oportunidades de melhoria no detalhamento do projeto e deficiências na programação. Pretende-se contribuir com o que já foi desenvolvido pela comunidade científica, verificando a aplicabilidade do BIM a Itens de Normas Técnicas de Saúde e Segurança do Trabalho, tanto no que se refere à identificação de riscos como suas respectivas medidas preventivas, através da visualização em 3D, quanto à entrada de informações paramétricas relacionadas à segurança.

Palavras-Chave: Planejamento de segurança, Prototipagem virtual, Prevention Trough Design (PtD), Building Information Modeling (BIM).

ABSTRACT

This text presents initial steps of a research whose purpose is the Automation of rules for elaboration of collective protection projects in BIM. In this initial phase, the objective was to identify points for improvement in integration of collective protection systems planning into schedule using BIM-4D virtual prototyping. To this end, the approach of this step consisted of: Project definition; Library modeling; Development of collective protection project in BIM-3D; Activity planning and simulation. As a result, opportunities for improvement in project detail and schedule deficiencies were detected. It is intended to contribute with what has already been developed by the scientific community, verifying the applicability of BIM to Items of Technical Standards of Health and Safety at Work, as regards the identification of risks as their respective preventive measures, through the visualization in 3D, for the entry of safety related parametric information.

Keywords: Safety Planning, Virtual Prototyping, Prevention Trough Design (PtD), Building Information Modeling (BIM).

INTRODUÇÃO

A Prevenção através do projeto ou “Prevention Trough Design” (PtD) tem como propósito integrar as decisões de segurança e saúde em todas as etapas do desenvolvimento do projeto, no entanto a maioria das pesquisas abordam PtD com enfoque nos elementos permanentes de projeto. Usualmente, estruturas temporárias não possuem projetos adequadamente detalhados para que sejam executados, fazendo com que estruturas temporárias sejam frequentemente instaladas no local sem o planejamento e a análise necessária. A prototipagem virtual possibilita que arquitetos e engenheiros incorporem aspectos de segurança e saúde dos trabalhadores da construção em seus projetos. Introdução com objetivo e justificativa.

Esta pesquisa, que se encontra em estágio inicial, pretende contribuir com o que já foi desenvolvido pela comunidade científica, verificando a aplicabilidade do BIM a Itens de Normas Técnicas de Saúde e Segurança do Trabalho, tanto no que se refere à identificação de riscos como suas respectivas medidas preventivas, através da visualização em 3D, quanto à entrada de informações paramétricas relacionadas à segurança.

Para tanto, neste primeiro momento, o objetivo foi **identificar pontos de melhoria na integração do planejamento dos sistemas de proteção coletiva ao cronograma utilizando a prototipagem virtual em modelo BIM-4D.**

REVISÃO

Prevenção através do Projeto (PtD)

Eliminar riscos na fonte pode ser um meio bastante eficaz para lidar com os riscos de acidentes. Talvez a definição mais simples de PtD seja “Construção Segura” ou “Projeto para segurança da construção”. Weinstein et al. (2005, p.1125) declararam que “projetar para a segurança da construção implica em abordar a segurança dos trabalhadores da construção na concepção das características permanentes de um empreendimento”. Cooke et al. (2008) e Zarges e Giles (2008) argumentam que alguns projetistas não estão preparados para esta abordagem, pois a Saúde e Segurança do Trabalho, tradicionalmente, não foi bem integrada durante a formação de arquitetos ou engenheiros.

Para Ku e Mills (2010), é possível o suporte computacional para o desenvolvimento dos PtD por meio do uso da Prototipagem virtual, integrando planejamento e visualização de planos de construção de projetos de construção.

Building Information Modeling (BIM)

Atualmente, dada a sua abrangência o BIM possui vários domínios (nD) que caracterizam diferentes fases do ciclo de vida de uma edificação, dentre elas: o modelo 3D usado na concepção e o 4D corresponde ao processo de planejamento (KAMARDEEN, 2010).

As ferramentas de modelagem de informações de construção (BIM) oferecem novas abordagens para “projetar” ou minimizar perigos e riscos integrando modelos 3D com procedimentos de construção com o conhecimento da segurança. Acredita-se que o processo de aplicação do BIM possa ser visto, até certo ponto, como uma forma sistemática de gerenciar os riscos (ZOU et al., 2017).

Gambatese, Toole e Behm (2008) afirmam que as pesquisas nesse tema precisam ser aplicadas e apontam meios para medir o impacto e eficácia do PtD. Behm (2008) reitera que o uso do BIM para planejar segurança apresenta vantagens significativas. Com isso, é possível melhorar o desempenho dos projetos, minimizar perigos e riscos integrando modelos 3D por meio de processos de design iterativo.

Sistema de Proteção Coletiva (SPC)

Para prevenção das quedas em altura, existem três tipos de SPC que são as principais soluções utilizadas atualmente nas obras no Brasil para edifícios.

De acordo com item 18.13.6 da NR-18 (BRASIL, 2018), recomenda-se que em todo perímetro da construção de edifícios com mais de quatro pavimentos ou altura equivalente, seja obrigatória a instalação de uma plataforma principal de proteção na altura do primeiro pavimento que esteja, no mínimo, um pé-direito acima do nível do terreno. Essa plataforma deve ter, no mínimo, 2,50m de projeção horizontal da face externa da construção e um complemento de 0,80m de extensão, com inclinação de 45º, a partir de sua extremidade.

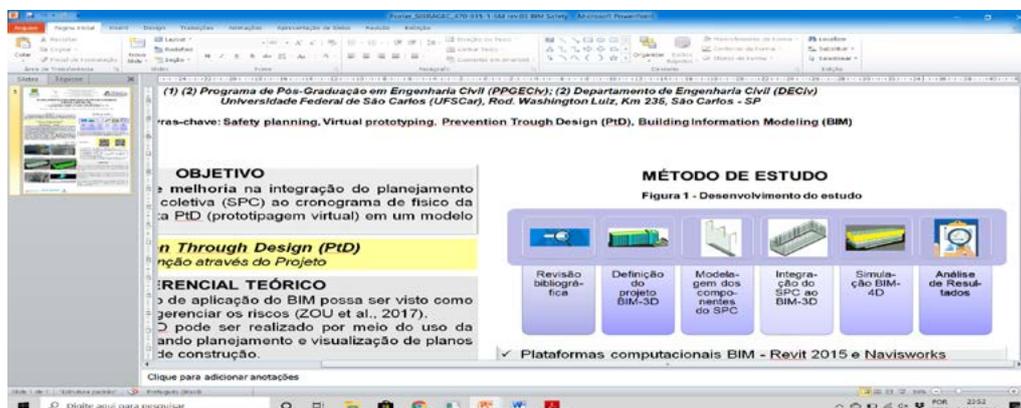
No que se refere à plataforma secundária, o item 18.13.7 da NR-18 (BRASIL, 2018), recomenda como medida alternativa ao seu uso, a instalação de Sistema Limitador de Quedas de Altura (SLQA) com a utilização de redes de segurança do sistema “V”.

Conforme o item 18.13.12.6 da NR-18 (BRASIL, 2018), na parte inferior do SLQA, a rede deve permanecer o

mais próximo possível do plano de trabalho. No projeto analisado a rede foi fixada dois pavimentos abaixo do plano de trabalho. Essa solução é justificada pelo mesmo item da NR-18 o qual recomenda que entre a parte inferior do SLQA e a superfície de trabalho deve ser observada uma altura máxima de seis metros.

MÉTODO

Figura 1 – Delineamento da pesquisa



As Plataformas computacionais BIM utilizadas foram: Revit 2019 e Navisworks. Foi utilizado projeto real de uma edificação escolar de 8.400 m² - 7 pavimentos. Os projetos do Sistema de Proteção Coletiva foram fornecidos por engenheiro de segurança.

GCL Barreira Hidráulica

RESULTADOS

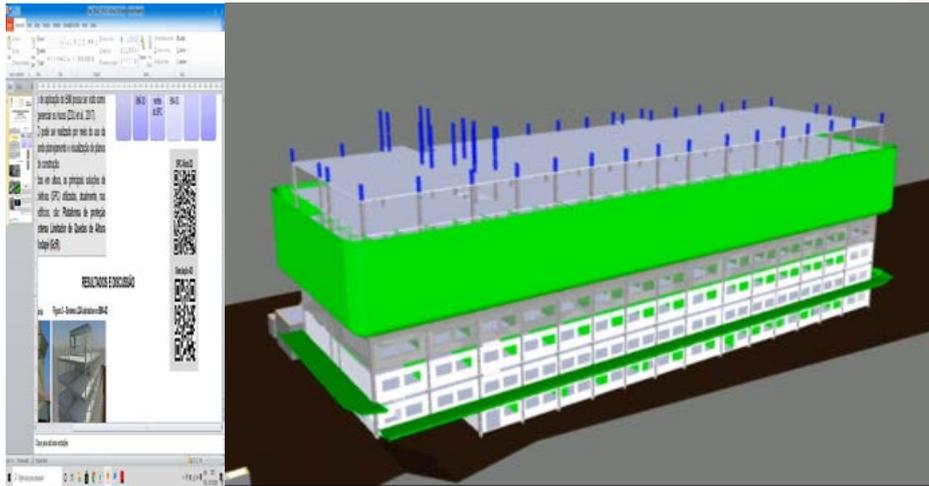
Oportunidades de melhoria na programação

Antes da elaboração deste cronograma, a construtora não possuía registros sobre a sequência e programação de montagem e desmontagem dos SPC citados neste estudo. A inclusão das atividades no cronograma facilitou o registro e o controle das mesmas. Por exemplo, após a concretagem do primeiro pavimento, os serviços de montagem de forma para o segundo pavimento continuariam, sem que tivesse nenhuma predecessora relacionada aos SPC.

Com a integração das atividades relacionadas à montagem e desmontagem dos SPC, outra atividade não deve ser iniciada, antes que a bandeja primária seja instalada. A inserção dos SPC como predecessora pode ajudar a reduzir o risco de acidentes.

A prototipagem virtual, além de auxiliar na detecção de inconsistências no projeto, possibilita a identificação de deficiências na programação. Na Figura 1, observa-se a falha no agendamento da montagem do GcR que foi registrada durante as primeiras etapas da modelagem 4D. Na imagem, percebe-se dois pavimentos concretados e sem a presença de GcR. Essa visualização, por meio da simulação 3D, facilita a detecção de falhas como essa.

Figura 2 – Ausência de GcR na etapa de concretagem do pavimento e acesso a simulação



CONSIDERAÇÕES GERAIS/CONCLUSÕES

O objetivo do artigo foi identificar pontos de melhoria na integração do planejamento dos sistemas de proteção coletiva (SPC) ao cronograma de físico da obra utilizando a ferramenta PtD (prototipagem virtual) em um modelo BIM-4D. O uso da ferramenta PtD (prototipagem virtual) integrada com BIM-4D mostrou-se como um possível instrumento para prevenção dos riscos de acidentes, na etapa de planejamento da obra. Por meio do modelo, foi possível simular e visualizar a obra, de modo que o construtor possa antever o risco das atividades e planejar com antecedência as alocações de recursos de segurança. Ao longo da continuidade da pesquisa poderão ser apresentadas diretrizes para melhoria dos projetos de SPC, de forma a retroalimentar o processo de concepção do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- BEHM, M. Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. **Safety Science**, 2005, v.43, n.8, p.589-611.
- BEHM, M. Construction Sector. **Journal of Safety Research**, 2008, v.39, n.2, p.175-178.
- COOKE, T.; LINGARD, H.; BLISMAS, N.; STRANIERI, A. ToolSHedTM: the development and evaluation of a decision support tool for health and safety in construction design. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2008, v.15, n.4, p.336-351.
- KAMARDEEN, I. **8D BIM: Modelling tool for accident prevention through design**. Faculty of Build Environment, University of New South Wales, Australia, 2010.
- KU, K.; MILLS, T. Research needs for Building Information Modeling for Construction Safety. In: **Proceedings of the 44th ASC National Conference**, April 2–5, 2010. Auburn, AL, USA.
- WEINSTEIN, M.; GAMBATESE, J.; HECKER, S. Can Design Improve Construction Safety?: assessing the impact of a collaborative safety-in-design process. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2005, v.131, n.10.
- ZARGES, T.; GILES, B. Prevention through Design (PtD). **Journal of Safety Research**, 2008. v.39, n.2, p.123-126.
- ZOU, Y., KIVINIEMI, A.; JONES, S.W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. **Safety Science**, 2017, v.97, p.88-98.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) concedido por meio de bolsa de estudo.

GEOTECNIA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SUBLEITO NA RETRAÇÃO DE GCLS

Study of the influence of subgrade on GCL shrinkage

Discente: José Wilson Batista da Silva, Engenheiro Civil.

Orientador: Profa. Dra. Natália de Souza Correia

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Martins Portelinha

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Início

RESUMO

A estanqueidade dos aterros de resíduos sólidos é garantida pelo uso de barreiras hidráulicas, compostas em sua grande maioria, por geomembranas e geocompostos bentoníticos (geosynthetic clay liner - GCL). O estudo do desempenho do GCL é fundamental, uma vez que ele atua como barreira hidráulica de segurança. Atualmente, a maior preocupação é o comportamento de retração deste material, que ocorre principalmente durante a etapa de construção, quando este fica exposto às intempéries. A exposição aos ciclos térmicos diários impõe uma perda de umidade do GCL para o solo de fundação. No entanto, condições específicas de umidade do subleito podem reidratar este material, anulando ou atenuando seu comportamento de retração. Para avaliar este comportamento, o presente trabalho pretende avaliar a retração de GCLs, em contato com subleito, submetidos a ciclos térmicos compatíveis às condições climáticas brasileiras.

Palavras-Chave: GCL; Retração; Ciclos Térmicos; Aterros de resíduos sólidos; Subleito;

ABSTRACT

The tightness of solid waste landfills is ensured by the use of hydraulic barriers, mostly composed of geomembranes and geosynthetic clay liners (GCL). Studying the performance of the GCL is critical as it acts as a hydraulic safety barrier. Currently, the main concern is the shrinkage behavior of this material, which occurs mainly during the construction stage, when it is exposed to weather conditions. Exposure to daily thermal cycles imposes a moisture loss of GCL to the foundation soil. However, specific subgrade moisture conditions may rehydrate this material, nullifying or attenuating its shrinkage behavior. To evaluate this behavior, the present work intends to evaluate the shrinkage of GCLs, in contact with subgrade, submitted to thermal cycles compatible with Brazilian climatic conditions.

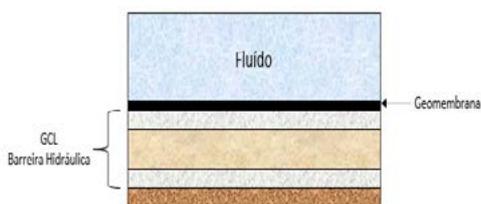
Keywords: GCL; Shrinkage; Thermal Cycles; Solid waste landfill; subgrade;

INTRODUÇÃO

Aterros de resíduos sólidos são obras geotécnicas complexas e onerosas, e que demandam um alto controle técnico para seu correto funcionamento. Uma das partes mais sensíveis deste tipo de construção é a garantia de que os lixiviados do processo de degradação dos resíduos sejam destinados e tratados corretamente, evitando a contaminação do solo de fundação e corpos hídricos. É com o objetivo de impermeabilizar a base do aterro sanitário que se executam barreiras hidráulicas, conhecidas como *liners*. Essas barreiras apresentam muito baixa permeabilidade, capacidade de adsorção e cicatrização, e considerável resistência mecânica. A Figura 1 apresenta um dos modelos de barreira hidráulica muito utilizados atualmente em aterros de resíduos sólidos, onde o sistema empregado é com o uso de geocompostos bentoníticos ou também conhecidos como geosynthetic clay liners (GCLs) e geomembranas. Este sistema garante segurança contra a contaminação do

subsolo e corpos hídricos por lixiviados e gases do aterro (Rowe, 2018), sendo considerado como uma das melhores combinações existente atualmente para esse fim (Touze e Bannour, 2019).

Figura 1 - Barreira Hidráulica de aterro sanitário com GCL



Fonte: Próprio Autor, (2019).

Os GCLs são materiais geossintéticos que ganharam viabilidade técnica e econômica frente aos *liners* constituídos de solos argilosos, os quais apresentam altos custos oriundos principalmente pelo transporte da matéria prima (solo) das jazidas nem sempre próximas e por se tratar de um recurso natural não renovável. Os GCLs são geossintéticos planares, cuja a estrutura é composta por no mínimo três camadas, sendo usualmente uma base geotêxtil tecida, que dá suporte a um núcleo de bentonita sódica, coberto por outro geotêxtil não tecido onde a fixação dos geotêxteis é usualmente realizada através do processo de agulhamento.

A construção e manutenção de aterros de resíduos sólidos requer uma gama de ações da engenharia. O controle dos lixiviados se mostra como o maior desafio operacional deste tipo de solução, resultado das sérias implicações que os vazamentos podem causar ao meio ambiente e à população. As barreiras hidráulicas são o mecanismo responsável pela estanqueidade do sistema, e em sua composição apresentam os GCLs, os quais são materiais relativamente novos e poucos estudados em termos de comportamento em condições de serviço. Neste contexto, o estudo do comportamento de retração de GCLs mostra-se necessário em razão da sua ampla aplicabilidade em barreiras hidráulicas. O risco desta falha de desempenho é demonstrado nos trabalhos de Thiel e Richardson (2005), Bostwick et al. (2010), Thiel e Rowe (2010), Rowe et al. (2012) e Rowe et al. (2013), onde os valores de retração encontrados e o resultante comportamento hidráulico do GCL requerem atenção dos projetistas. Recentes pesquisas demonstram também a necessidade de estudo de retração de GCL em contato com o subleito, umas de suas fontes de hidratação.

Diante o exposto, o presente trabalho pretende avaliar a retração de GCLs produzidos no Brasil quando submetidos a ciclos térmicos compatíveis às condições climáticas brasileiras, sob diferentes teores de umidade inicial do GCL e contato com solos tropicais. As análises realizadas em laboratório, representando as condições típicas de campo de uma barreira hidráulica.

REVISÃO

As principais vantagens do GCL, em comparação com o uso de camadas argilosas compactadas são: a reduzida espessura das camadas e a capacidade de manter suas propriedades hidráulicas frente aos eventuais recalques diferenciais do solo de fundação ou dos RSUs; facilidade de instalação e custo relativamente baixo, o potencial de cicatrização frente aos esforços pontuais; além da maior capacidade final de armazenamento de volume de resíduos. Por outro lado, conforme relatado por Bouazza (2002), a reduzida espessura desse tipo de barreira pode resultar na vulnerabilidade a acidentes mecânicos, limitada capacidade de sorção, perda da eficiência quando hidratados com alguns tipos de lixiviados, e possibilidade de trincamento frente as ações de hidratação e secagem estabelecidas pelas condições climáticas.

Atualmente, a recomendação dos fabricantes de GCL requer que este tipo de material seja sobreposto nas emendas em 15 cm e que se adicione nestes locais bentonita solta, de forma a garantir impermeabilidade na região da emenda, antes da sobreposição do liner com a geomembrana (Rowe et al., 2012). Após construída a barreira hidráulica, deve-se colocar uma camada de solo de proteção e confinamento, a qual deve ser aplicada o mais rápido possível, dentro de um período de até 30 dias (Rowe et al., 2013). No entanto, as limitações construtivas deste tipo de obra apresentam, na maioria dos casos, empecilhos à execução correta destes procedimentos, podendo submeter a geomembrana e os GCLs a longos períodos de exposição as intempéries, especialmente a ciclos de altas e baixas temperaturas, além de chuvas (Take et al., 2012 e 2015).

Tal condição não deveria implicar em grandes problemas técnicos, pensamento consolidado no meio técnico até meados de 2005, quando Thiel e Richardson (2005) expuseram os potenciais riscos de um efeito da retração dos painéis de GCLs nas regiões de sobreposição. Thiel et al., (2006) também apresentam seis estudos de casos em obras de aterros de resíduos sólidos (sem a camada de solo de coberturas nos liners), onde a retração nas regiões de sobreposição foi identificada mesmo com a aplicação de um transpasse de 15 cm nas emendas. As análises de Thiel et al. (2006) revelaram retrações de 20 a 120 cm e abrangeram aterros de resíduos sólidos com diferentes tipos de GCLs expostos às intempéries por tempos diferentes. Atualmente, tem-se diversos relatos na literatura de casos reais de retração em painéis de GCLs (Koener e Koener, 2005; Brachman et al., 2014; Brachman et al., 2018). Este mesmo efeito foi constatado em análises de laboratório nos trabalhos de Thiel e Richardson (2005), Thiel et al. (2006), Bostwick et al. (2007) e Ackiel et al. (2018). É válido destacar que há ainda grande divergência de magnitude dos valores de retração observados em campo e em laboratório, para um mesmo tipo de GCL. Assim, as análises da retração dos GCLs em condições simuladas de campo são limitadas na literatura.

Rayhani et al. (2009) avaliaram, em laboratório, os efeitos da exposição a ciclos térmicos na umidade relativa do ar nos “bolsões” de dobras de geomembranas. Já e Rowe et al. (2013), utilizando três amostras de GCLs submetidos a ciclos de aquecimento e resfriamento em uma célula teste com um solo siltoso como subleito, avaliaram a influência dos teores de umidade inicial (8%, 56% e 110%) dos GCLs e dos períodos (30, 50 e 60 dias) de resfriamento nos valores de retração. Os resultados revelaram que a amostra com umidade inicial de 110 % sofreu uma retração 300% maior do que a de 56% e 450% quando comparada a amostra de 8% de umidade inicial. Já longos períodos de resfriamento mostraram uma alta capacidade de reidratação do GCL pelo solo de fundação, a qual interferiu nos valores de retração.

Com relação as condições de campo que o GCL pode estar submetido e seu comportamento de retração, não existem ainda na literatura relatos de estudos em condições climáticas tropicais, bem como situações de estudos com solos de subleitos laterizados.

METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios que simulem condições de campo do sistema de barreira hidráulica em aterros de resíduos sólidos, será construído em laboratório, um sistema que permitirá a instalação da barreira hidráulica, bem como a imposição de ciclos de aquecimento e resfriamento.

RESULTADOS ESPERADOS

A partir da comprovação da viabilidade da metodologia empregada neste trabalho para a previsão dos valores de retração de painéis de GCLs aplicados em liners de aterros de resíduos sólidos, espera-se que esta pesquisa contribua para uma melhor compreensão do comportamento de retração do GCL em campo sob condições climáticas tropicais, especialmente em contato com solos locais laterizados. Como resultados, pretende-se fornecer uma relação direta entre o aumento nos valores de retração dos GCLs, de demais propriedades físicas e hidráulicas, com a umidade do solo de fundação. A somatória de todas essas análises fornecerá ao meio geotécnico, ferramentas a serem aplicadas no Brasil para a remedição ou previsão dos efeitos de retração em GCLs, evitando que este tipo de problema venha a comprometer o correto desempenho das barreiras hidráulicas na contenção de lixiviados.

REFERÊNCIAS

- ACIKEL, A. S. et al. Insufficient initial hydration of GCLs from some subgrades: Factors and causes. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 46, n. 6, p. 770-781, 2018.
- BOSTWICK, L. E. et al. The effect of sample size on shrinkage of a nonscrim reinforced geosynthetic clay liner in laboratory tests. In: *Proceedings Conference Ottawa*. 2007. p. 2123-2128.
- BOSTWICK, L. et al. Anisotropy and directional shrinkage of geosynthetic clay liners. *Geosynthetics International*, v. 17, n. 3, p. 157-170, 2010.
- BRACHMAN, Richard WI et al. Comparison of field and laboratory measurements of GCL shrinkage. In: *Proceedings of the 10th International Conference of Geosynthetics*, Berlin. 2014.
- BRACHMAN, Richard WI; ROWE, R. Kerry; TAKE, W. Andy. Reductions in GCL Overlap Beneath an Exposed Geomembrane. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 144, n. 12, p. 04018094, 2018.
- KOERNER, R. M., and KOERNER, G. R. (2005a). "In-situ separation of GCL panels beneath exposed geomembranes." GRI White Paper #5, Geosynthetic Institute, Folsom, PA.
- RAYHANI, M. H. T. et al. Prototype modeling of GCL hydration and shrinkage under simulated field conditions. *Geosynthetics 2009*, p. 1-9, 2009.
- ROWE, R. Kerry; BOSTWICK, L. E.; THIEL, Richard. GCL Shrinkage and the potential benefits of heat-tacked GCL seams. In: *Proceedings of Geosynthetics*. 2009. p. 10-18.
- ROWE, R. Kerry. Short-and long-term leakage through composite liners. The 7th Arthur Casagrande Lecture. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 49, n. 2, p. 141-169, 2012.
- ROWE, R. Kerry et al. Physical modelling of nonwoven/nonwoven GCL shrinkage under simulated field conditions. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 40, p. 12-19, 2013.
- ROWE, R. Kerry. Geosynthetic clay liners: Perceptions and misconceptions. In: *11th International Conference on Geosynthetics*. 2018..
- TAKE, W. A. et al. Thermal expansion and contraction of geomembrane liners subjected to solar exposure and backfilling. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 138, n. 11, p. 1387-1397, 2012.
- TAKE, W. A. et al. Thermal exposure conditions for a composite liner with a black geomembrane exposed to solar radiation. *Geosynthetics International*, v. 22, n. 1, p. 93-109, 2015.
- THIEL, R., and RICHARDSON, G. (2005). Concern for GCL shrinkage when installed on slopes. *JGRI-18 at GeoFrontiers*, GII Publications, Folsom, PA, p. 231.
- THIEL, R., GIROUD, J. P., ERICKSON, R., CRILEY, K., and BRYK, J. (2006). Laboratory measurements of GCL shrinkage under cyclic changes in temperature and hydration conditions. *Eighth International Conf. on Geosynthetics*, Vol. 1, Ios Press, Fairfax, VA, 21-44.
- THIEL, R. et al. (2006) Laboratory measurements of GCL shrinkage under cyclic changes in temperature and hydration conditions. In: *8th International Conference on Geosynthetics*. 2006. p. 21-44.
- THIEL, R.; ROWE, R. K. Technical developments related to the problem of GCL panel shrinkage when placed below an exposed geomembrane. In: *Proceedings of the 3rd International Symposium on GCLs*, Würzburg, Germany. 2010. p. 15-16.
- TOUZE, N., and BANNOUR, H. Geomembrane Over GCLs: The Optimal Combination for Barriers Against Contaminant Transport. 2019.

AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE RSU BRASILEIROS

Statistical evaluation of Brazilian MSW shear strength parameters

Discente: Leonardo Vinícius Paixão Daciolo, Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil

Orientadora: Profa.Dra. Natália de Souza Correia

Nível: Mestrado

Estágio da pesquisa: Qualificação (02 de Maio de 2019). Banca: Profa. Dra. Natália de Souza Correia, Profa. Dra. Ana Elisa Silva de Abreu, Prof. Dr. Edmundo Rogério Esquivel.

RESUMO

Rupturas em aterros sanitários têm sido presentes no cenário mundial, sobretudo pela falta de compreensão do comportamento dos materiais e esforços presentes nestes maciços. As propriedades dos resíduos sólidos urbanos (RSU) apresentam grande variabilidade na literatura decorrente de fatores de composição e estágio de degradação. Neste sentido, a partir da coleta de resultados de parâmetros de resistência ao cisalhamento dos RSU brasileiros, foi analisado o comportamento estatístico das variáveis ângulo de atrito e coesão, a fim de contribuir para a mitigação dos riscos envolvidos em projetos de aterros sanitários. Resultados mostraram a coesão se mostrou mais sensível, decorrente de sua elevada dispersão estatística. Os RSU brasileiros apresentaram características distintas das recomendações internacionais, evidenciando a necessidade de análises em categorias, principalmente considerando-se a implementação destes dados em análises determinísticas e probabilísticas de estabilidade de taludes de aterro sanitário.

Palavras-Chave: Aterros sanitários, RSU, resistência ao cisalhamento, análise estatística, confiabilidade.

ABSTRACT

Landfill failures have been present in the world scene, mainly due to the misunderstanding of the behavior of municipal solid waste (MSW) materials and efforts present in these massifs. The properties of MSW present great variability in the literature due to composition factors and degradation stage. In this sense, literature data of results of Brazilian MSW shear strength parameters was collected, and the statistical behavior of the friction angle and cohesion were analyzed in order to contribute to the mitigation of the risks involved in landfill projects. Results showed that cohesion was more sensitive due to its high statistical dispersion. Brazilian MSW presented diverse characteristics in relation to international recommendations, highlighting the need of sub-categories classification, mainly considering the implementation of these data in deterministic and probabilistic analysis of landfill slope stability.

Keywords: Sanitary landfill, MSW, shear strength, statistical analysis, reliability.

INTRODUÇÃO

Diversos são os casos relatados na literatura e na mídia acerca de rupturas de aterros sanitários (BATISTA, 2010; KAMIJI e OLIVEIRA, 2019). Dentre os fatores que afetam a estabilidade destas obras complexas destacam-se: a configuração geométrica dos maciços, a pressão neutra exercida pelos gases e lixiviados e as propriedades dos materiais empregados, sobretudo, no que tange aos resíduos sólidos urbanos (RSU), uma vez que governam o comportamento da estrutura (KAMIJI e OLIVEIRA, 2019).

Embora a resistência dos RSU seja um fator primordial nestes projetos, sua especificação é realizada majoritariamente de maneira empírica a partir de recomendações da literatura, cujas condições nestes trabalhos não

descrevem necessariamente o comportamento específico dos materiais que serão empregados no projeto de aterro sanitário em questão. No tangente às avaliações estatísticas e recomendações dos parâmetros de resistência, Petrovic et al. (2016) reuniram 103 valores de ângulo de atrito e 82 de coesão, oriundos de trabalhos da literatura, observando amplitude de variação de 55° e 80 kPa destas ocorrências. Análises semelhantes foram realizadas por Jahanfar et al. (2017) a partir de dados de RSU com diferentes características de composição, verificando-se a influência de sua proposta de caracterização nos parâmetros de resistência obtidos.

Neste sentido, a avaliação das propriedades de resistência dos RSU apresenta muitas dificuldades decorrente da ausência de normatizações específicas e das características intrínsecas destes materiais e metodologias de ensaio. Estes fatores contribuem para que os parâmetros de resistência apresentem grande variabilidade na literatura, dificultando o processo de escolha dos parâmetros e agravando o risco associado às estruturas (PETROVIC et al., 2016; JAHANFAR et al., 2017).

A partir da reunião de parâmetros de resistência de RSU brasileiros presentes na literatura, o presente trabalho objetiva avaliar o comportamento estatístico deste banco de dados a fim de propor regiões de incidência e probabilidade de ocorrências para análises determinísticas e probabilísticas de estabilidade de taludes de aterro sanitário. Na próxima fase, esta pesquisa se estenderá em análises de RSU presentes em 29 trabalhos da literatura.

MÉTODO

Foram coletados resultados de ensaios laboratoriais de resistência ao cisalhamento de RSUs presentes em diferentes trabalhos da literatura (Tabela 1). Os RSU são oriundos de diferentes localidades do território brasileiro, comportando diferentes características presentes nos resíduos brasileiros. A coleta de dados resultou em um banco de 254 pares de parâmetros de ângulo de atrito e coesão, acolhendo envoltórias de resistência obtidas em diferentes níveis de deformação dos ensaios de resistência ao cisalhamento. Os resultados foram analisados a partir de descrição estatística e com recomendações prévias da literatura.

Tabela 1. Tamanho da amostra (N), correspondente aos pares de atrito-coesão, obtida em cada trabalho.

#	Referência	Número de Pares de ϕ e c	Localização das Amostras
1	Abreu e Vilar (2017)	18	São Carlos (SP)
2	Cardim (2008)	6	Brasília (DF)
3	Carvalho (1999)	58	São Paulo (SP)
4	Correa et al. (2015)	40	Recife (PE)
5	Karimpour-Fard et al. (2011)	72	Salvador (BA)
6	Lamare Neto (2004)	6	Jacarepaguá (RJ)
7	Machado et al. (2014)	2	Salvador (BA)
8	Martins (2006)	12	Belo Horizonte (MG)
9	Nascimento (2007)	40	Salvador (BA)
Total	9 trabalhos	254 pares	6 estados

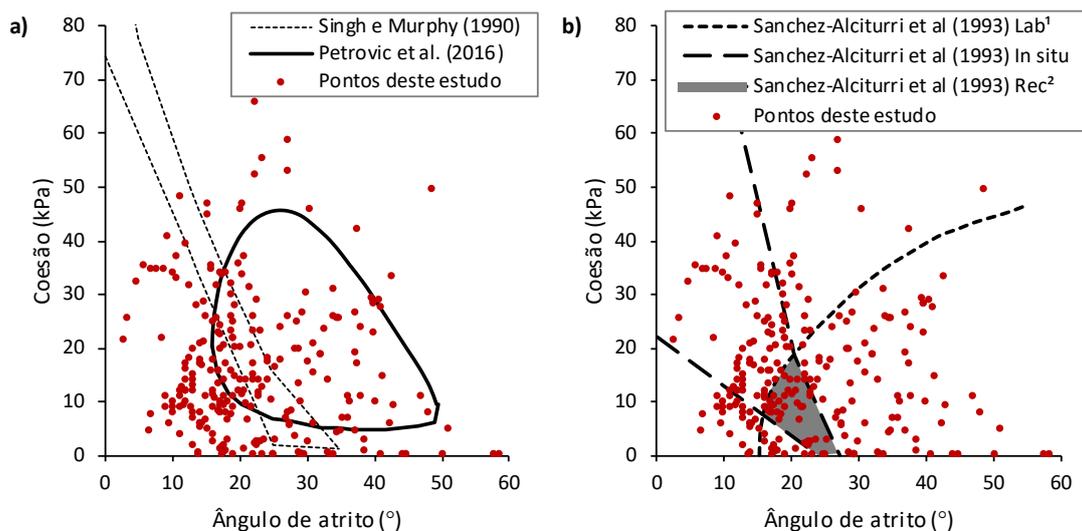
RESULTADOS

A Tabela 2 sintetiza as principais estatísticas descritivas obtidas para os parâmetros de resistência dos RSU. Observa-se que o ângulo de atrito concentrou seus valores de ocorrência nos intervalos de 12,9° a 34,5°, centrado sua média em 22,5°; ao passo que a coesão apresentou maior amplitude de ocorrência (77,8 kPa), concentrando seus valores no intervalo de 2,5 kPa a 31,6 kPa. Estes valores demonstram que ambas as parcelas de resistência (atritiva e coesiva) são presentes no comportamento mecânico dos RSU. Também se observa que a coesão apresentou maior dispersão de incidência, devendo ser avaliada com maior cautela em projetos.

Tabela 2. Estatísticas descritivas gerais dos parâmetros de resistência dos RSU analisados.

Estatística	ϕ (°)	c (kPa)
Tamanho Amostral (N)	254	254
Média (μ)	22,5	17,0
Coefficiente de Variação (δ)	47%	85%
Mínimo	2,7	0,0
15º Percentil (P15)	12,9	2,5
Mediana (P50)	19,8	13,8
85º Percentil (P85)	34,5	31,6
Máximo	66,0	77,8

Observando a dispersão conjunta dos parâmetros de resistência dos RSU (Figura 1a), se verifica que as recomendações internacionais não contemplam em sua totalidade o comportamento dos RSU brasileiros, uma vez que as características culturais, operacionais e sazonais contribuem para a dispersão de valores de resistência. Na Figura 1b, verifica-se também que as restrições e previsões de ocorrência de resultados in situ e laboratoriais também não contemplam os resultados obtidos, uma vez que todos os dados da pesquisa são de ensaios laboratoriais mas apresentaram ocorrência em todas as regiões.



¹Laboratório. ²Recomendações de Sanchez-Alciturri et al. (1993).

Figura 1. Dispersões conjuntas dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos RSU brasileiros em conjunto com recomendações de: (a) Singh e Murphy (1990) e Petrovic et al. (2016); (b) Sanchez-Alciturri et al. (1993).

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A partir do levantamento de parâmetros de resistência ao cisalhamento dos RSU brasileiros, verifica-se que as variáveis apresentaram elevada dispersão, devendo ser consideradas com expertise e cautela, principalmente diante da própria variabilidade entre as amostras estudadas no Brasil. Ademais, a determinação destes resultados não exime a necessidade de realização de ensaios in situ para a compreensão do comportamento dos RSU locais. Por fim, análises adicionais serão realizadas para a mitigação da dispersão dos dados de resistência dos resíduos nacionais, os quais serão classificados de acordo com classes propostas, e na sequência serão implementadas em análises probabilísticas de estabilidade de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. E. S.; VILAR, O. M. (2017). **Influence of composition and degradation on the shear strength of municipal solid waste**. Waste Management. v. 68, p. 263-274.
- BATISTA, H. P. (2010). **Desenvolvimento de Diretrizes para Monitoramento Geotécnico e Plano de Continência/Emergência em Aterros Sanitários**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 160p.
- CARDIM, R. D. (2008). **Estudo da Resistência de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Ensaios de Cisalhamento Direto de Grandes Dimensões**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Brasília, Brasília. 107p.
- CARVALHO, M. F. (1999). **Comportamento Mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 330p.
- CORREA, C. et al. (2015). **Análise da influência do plástico mole na resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 20, p. 427-436.
- JAHANFAR, A. et al. (2017). **Municipal solid waste slope stability modeling: a probabilistic approach**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 143, n. 8, p. 04017035.
- KAMIJI, T. S. M. M.; OLIVEIRA, F. J. P. (2019). Reflexões a respeito de rupturas em aterros sanitários brasileiros. In IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO), 2017. São Carlos. **Anais...**
- KARIMPOUR-FARD et al. (2011). **A laboratory study on the MSW mechanical behavior in triaxial apparatus**. Waste Management. v. 31, p. 1807–1819.
- LAMARE NETO, A. (2004). **Resistência ao Cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos e de Materiais Granulares com Fibras**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 214p.
- MACHADO, S. et al. (2010). **Evaluation of the geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills**. Waste management, v. 30, n. 12, p. 2579-2591.
- MARTINS, H. L. (2006). **Avaliação da Resistência de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Ensaios de Cisalhamento Direto em Equipamentos de Grandes Dimensões**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 131p.
- NASCIMENTO, J. C. F. (2007). **Comportamento Mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 160p.

PETROVIC, I. et al. (2016). **Application of continuous normal–lognormal bivariate density functions in a sensitivity analysis of municipal solid waste landfill.** Waste management, v. 55, p. 141-153.

SANCHEZ-ALCITURRI, J. M. et al (1993). Mechanical properties of wastes in a sanitary landfill, waste disposal by landfill. Green '93. **Anais...**Rotterdam (The Netherlands): 1993.

SINGH, S.; MURPHY, B. (1990). **Evaluation of the stability of sanitary landfills,** in Landva, Knowles (Eds), Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice, ASTM, Philadelphia, PA.



AEASC

APOIO:



CREA-SP

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo



ISBN 978 85 5510 053 6



9 788555 100536