

# ESTUDO DAS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NAS ESTRUTURAS EM HABITAÇÕES RESIDENCIAIS DE INTERESSE SOCIAL

Angélica Ferronato (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) [angelica-ferronato@hotmail.com](mailto:angelica-ferronato@hotmail.com) (2) [dss.engcivil@gmail.com](mailto:dss.engcivil@gmail.com)

## RESUMO

Atualmente a facilidade em adquirir um imóvel cresceu consideravelmente com relação à década passada. Houve um grande investimento em programas governamentais que contribuem para o significativo crescimento da construção de unidades residenciais. Porém, comumente aliados à rapidez em atender essa crescente demanda e à limitação de investimentos, vem a carência de planejamento, projeto e fiscalização adequados, requisitos que podem comprometer o desempenho das edificações, deixando assim, de atender às solicitações básicas a que uma edificação está sujeita. De acordo com a NBR 15575/2013, a edificação deve manter certos requisitos para atender a finalidade habitacional ao longo do tempo, porém, a normatização vigente nem sempre é cumprida corretamente. Para conhecer a real situação dessas edificações, o presente trabalho tem como objetivo apresentar as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de imóveis de padrão popular. Para isso, foi realizado um levantamento fotográfico e análise estrutural através de ensaio não destrutivo em habitações populares pré-selecionadas em um município da região Sul Catarinense. Com os resultados obtidos foi possível concluir que 100 % das edificações apresentaram manifestações patológicas, que em sua maioria, são originadas, provavelmente, por falhas no projeto e execução e no emprego de materiais de baixa qualidade. Além disso, foi observada a diminuição do número e grau de manifestações patológicas encontradas nas edificações com 2 anos de uso, o que pode ser consequência da vigência da Norma de Desempenho que pressionou a melhoria da qualidade das edificações, alavancando o setor da construção civil.

*Palavras chave: Manifestações Patológicas. Esclerometria. Edificação. Habitação de Interesse Social.*

## 1. INTRODUÇÃO

A facilidade em adquirir a casa própria tem aumentado significativamente nos últimos anos, tornando-se um dos principais assuntos na área da construção civil. Esse crescimento se deve, principalmente, ao investimento de órgãos governamentais a programas de acesso à moradia para famílias de baixa renda.

O programa de financiamento de imóveis de baixa renda que desde 2009 vem ganhando destaque é o Programa Minha Casa Minha Vida, criado pelo governo federal e que tem como instituição financeira responsável, a Caixa Econômica

Federal. A favorável oportunidade de financiamento destes imóveis se tornou o principal quesito para o êxito do programa que, segundo dados da CAIXA (2016), já somaram 4.359.396 de unidades contratadas até o final de junho deste ano (06/2016).

Considerado o maior programa habitacional do país, o programa Minha Casa Minha Vida propiciou a acelerada construção de moradias. Aliados à crescente demanda e à limitação de investimento, alguns fatores podem ter gerado a queda considerável do desempenho dos imóveis como, por exemplo, a falha e/ou ausência de planejamento, falha no projeto e execução, a velocidade na conclusão da obra e a redução de gastos associada ao emprego de materiais de uso inadequado e/ou de baixa qualidade.

A falta de percepção a detalhes construtivos e a ausência de fiscalização adequada são alguns dos elementos que propiciam o surgimento precoce de manifestações patológicas, as quais refletem no mau funcionamento do produto final. Entende-se por patologia “como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.” (HELENE, 2000, p. 19).

Em meio às incorreções surge a incerteza se há de fato o restrito cumprimento das normas vigentes na construção civil sendo estas, responsáveis por encaminhar de forma segura todo o processo envolvido na construção e uso de uma edificação para garantir ao comerciante e ao consumidor, o resultado satisfatório.

Helene (2000, p. 20) ao abordar as etapas do processo construtivo e uso, discorre que o mesmo:

[...] pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso, esta última etapa mais longa, que envolve a operação e manutenção das obras civis [...].

As quatro primeiras etapas do processo construtivo, se executadas adequadamente, podem evitar e/ou amenizar as incorreções construtivas. Porém, sabe-se também da real influência que os usuários têm quanto ao bom funcionamento da edificação, já que serão estes, os quais permanecerão maior tempo junto ao imóvel.

Para conhecimento desse atual cenário foram realizados estudos nas edificações que têm sua solidez baseada no sistema estrutural em concreto armado. Esse sistema é composto de concreto (união de agregados e pasta de cimento) - que suporta principalmente as solicitações de compressão - e aço responsável pelo

suporte à tração. A configuração dessas edificações em concreto armado é basicamente constituída por lajes, vigas e pilares que em conjunto suportam ao carregamento à que a edificação está sujeita, sendo que as paredes funcionam apenas como elementos de vedação. Como requisito básico de resistência estrutural, tem-se a Resistência à Compressão ( $F_c$ ) que se refere à propriedade que o concreto possui de resistir aos esforços.

Além da Resistência à Compressão, outros parâmetros são utilizados para determinar as propriedades mecânicas do concreto, como por exemplo, o Módulo de Elasticidade ( $E$ ), que pode ser definido como “a relação entre a tensão aplicada e deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado”. (MEHTA, 1994 apud NETO; HELENE, 2002). É uma propriedade do concreto que é diretamente proporcional a sua resistência à compressão.

Em busca de estimar as propriedades mecânicas a fim de conduzir na determinação da qualidade estrutural, foram estudadas edificações financiadas pelo programa Minha Casa Minha Vida, localizadas em um município da região Sul Catarinense, nas quais foram analisadas as principais manifestações patológicas encontradas. Foram estudadas edificações de diferentes idades, onde foi realizado levantamento fotográfico e análise estrutural não destrutiva dos pilares, através da verificação da dureza superficial do concreto.

Com o intuito de validar os estudos realizados em campo, foram moldados em concreto, corpos de prova (CPs) cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm (diâmetro x altura), nos quais foram realizados os ensaios de esclerometria (IE), Módulo de Elasticidade ( $E$ ) e Resistência à Compressão ( $F_c$ ). Os CPs foram dosados com diferentes traços e ensaiados em idades distintas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para maior conhecimento das possíveis manifestações patológicas às quais o concreto está suscetível, foram estudadas as principais ocorrências em edificações de tipologia residencial unifamiliar isolada, financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida. Foram realizadas visitas *in loco* para análise e registro das manifestações patológicas nas edificações residenciais, e também foi elaborado um estudo laboratorial em CPs cilíndricos 100 x 200 mm de concreto, a fim de estimar as propriedades mecânicas das edificações através da correlação com os dados obtidos em campo.

## 2.1 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O ensaio de esclerometria foi realizado com o aparelho denominado esclerômetro de Schmidt (Figura 1) que é normalizado pela NBR 7584/2012. O ensaio tem a função de determinar a dureza superficial do concreto através do fornecimento do Índice Esclerométrico (IE) por meio de um método considerado não destrutivo.

O tipo de esclerômetro utilizado para os ensaios foi o modelo N com energia de percussão 2,25 N.m (BOTTEGA, 2010). Para esclerômetros com essa energia de percussão, segundo a NBR 7584 (2012, p. 11), “fornece informações a respeito da dureza superficial do concreto, a cerca de 20 mm de profundidade”.

Após a aplicação do impacto é possível visualizar junto ao aparelho o valor da dureza superficial aferida. Esse valor se refere ao IE.

Figura 1 – Esclerômetro de Schmidt



Fonte: Do Autor

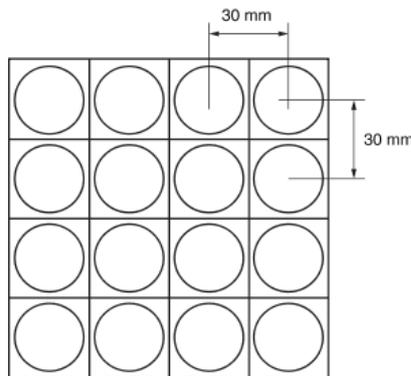
## 2.2 ENSAIOS EM CAMPO

A pesquisa foi realizada em edificações financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida que, foram localizadas no município Sul Catarinense com o auxílio de construtoras, imobiliárias e através de pesquisa realizada em *sites*, acerca de informações sobre a localização de edificações e/ou loteamentos de habitação popular. As residências foram visitadas no período de agosto a setembro de 2016.

Num primeiro contato com o morador foi explicada a finalidade da pesquisa e detalhada a realização de levantamento fotográfico da edificação e análise estrutural não destrutiva. Após o esclarecimento e a aceitação do morador em dar prosseguimento ao estudo, foi entregue ao morador um Termo de Declaração, cujo foi assinado declarando estar ciente da realização da pesquisa juntamente com os ensaios, declarando assim, a permissão para efetivação do estudo.

O levantamento fotográfico contemplou as manifestações patológicas visíveis na estrutura e paredes de vedação. O ensaio de esclerometria foi realizado em, pelo menos 3 áreas onde possivelmente estariam locados os pilares de cada edificação. Para a execução do ensaio nas edificações foi utilizado gabarito com áreas espaçadas de acordo com a norma NBR 7584/2012 (Figura 2). O ensaio consistiu na efetivação de 16 impactos com o equipamento em cada elemento estrutural estudado. O equipamento foi utilizado na posição horizontal.

Figura 2 – Gabarito



Fonte: NBR 7584, 2012

### 2.3 ESTUDO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO

Em laboratório foram moldados em concreto com cimento CII-Z e de acordo com a NBR 5738/2015, CPs cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm. Os CPs foram dosados para 4 traços distintos com o intuito de obter as resistências de 20, 30, 40 e 50 MPa aos 28 dias. Os materiais foram misturados em betoneira e os traços foram determinados empiricamente de forma a apresentarem uma variação gradativa do  $F_c$ .

Para cada traço foram realizados ensaios de compressão axial ( $F_c$ ) - NBR 5739/2007 - módulo de elasticidade (E) - NBR 8522/2008 - e esclerometria (IE), onde foram submetidos 4 CPs para cada ensaio, sendo que os ensaios para determinação do módulo de elasticidade e IE foram realizados nos mesmos CPs, aos 28, 90 e 120 dias.

Ao longo do estudo foi determinado um ensaio complementar aos 150 dias, sendo que foram ensaiados 4 CPs para cada traço e cada CP foi submetido à determinação do IE e  $F_c$ .

Os ensaios foram realizados com o objetivo de correlacionar as propriedades mecânicas com a dureza superficial do concreto.

Tabela 1 – Dosagem e ensaio laboratorial para cada idade

Traço	a/c	28, 90 e 120 dias			150 dias	
		E	I.E.	Fc	I.E.	Fc
1:3,825	0,38	4 CP		4 CP	4 CP	
1:5	0,46	4 CP		4 CP	4 CP	
1:6	0,56	4 CP		4 CP	4 CP	
1:7	0,64	4 CP		4 CP	4 CP	

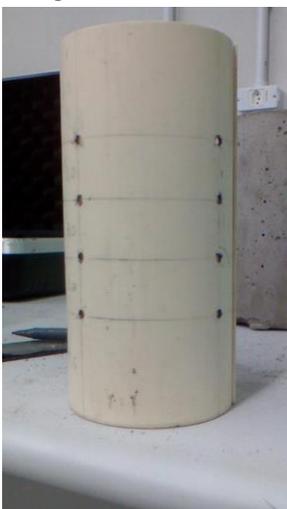
Fonte: Do Autor

De acordo com Mendes e Turra (2007, p.5), os ensaios de esclerometria em CPs cilíndricos devem ser realizados com 9 impactos (o valor mínimo de impactos de acordo com a NBR 7584/1995), os quais foram aplicados em 3 geratrizes afastadas entre si 120° (NM 78, 1996).

A nova versão da norma (NBR 7584/2012) preconiza um número de 16 impactos sobre a área de estudo, portanto, para o ensaio de esclerometria foram ensaiados 16 pontos que foram locados com o auxílio de um molde em PVC (Figura 3). Com o auxílio do molde a realização dos impactos foi espaçada de acordo com a NBR 7584/2012, e a cada 90° da circunferência foram realizadas 4 leituras (Figura 4).

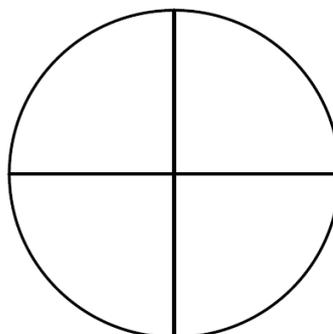
Os CPs foram fixados na mesma prensa onde foram realizados os ensaios de compressão axial (Fc) apenas para manter o corpo estático e evitar vibrações, através da aplicação de uma pequena carga sobre o CP (Figura 5).

Figura 3 – Molde de PVC



Fonte: Do Autor

Figura 4 – Leitura IE para 16 impactos



Fonte: Do Autor

Figura 5 – Ensaio IE



Fonte: Do Autor

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Foram estudadas as edificações com diferentes idades anuais de uso com a finalidade de verificar a influência de fatores dependentes do tempo. Posteriormente foi correlacionado os resultados obtidos em campo com os resultados laboratoriais, equação do aparelho e equações montadas por outros autores.

#### **3.1 ENSAIOS EM CAMPO**

Foram estudadas ao todo 23 edificações financiadas pelo programa Minha Casa Minha Vida, compreendidas entre as idades de 2 e 6 anos de uso. As idades das edificações foram coletadas junto aos moradores que forneceram as idades aproximadas de cada edificação.

Cabe ressaltar que se procurou visitar loteamentos de habitação popular que continham edificações executadas por empresas diferentes, porém, a maioria dos moradores não soube informar qual a empresa construtora da edificação. Essa informação serviria apenas para comprovar a diversificação de agentes construtores, o que é de extrema importância para o estudo, pois se estima que as incorreções (especificamente vícios construtivos decorrentes de projetos e execução) cometidas por uma empresa, sejam recorrentes em todas, ou na maioria das edificações por ela executadas.

##### **3.1.1 Principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de concreto das edificações**

Para diagnosticar a causa de uma manifestação patológica se faz necessário um estudo minucioso, porém, de acordo com a configuração da manifestação patológica é possível propor sua provável causa. São várias as prováveis causas de ocorrência para uma única falha, no entanto, foram citadas as causas consideradas predominantes para cada manifestação patológica.

No estudo foram encontradas edificações que apresentaram manifestações patológicas com decorrências prováveis na retração de revestimentos argamassados, até edificações com manifestações patológicas originadas, possivelmente em recalques de fundação.

A seguir foram relacionadas as principais manifestações patológicas encontradas nas edificações, juntamente com suas possíveis causas de decorrência.

- 1) Fissuras em direções aleatórias e fissuras mapeadas: decorrentes da retração da argamassa de revestimento (Figura 6).
- 2) Infiltrações de umidade à nível de fundação: tem como causas prováveis a carência de impermeabilização dos elementos de fundação (Figura 7 e 8).

Figura 6 – Fissuras mapeadas



Fonte: Do Autor

Figura 7 – Infiltração de umidade



Fonte: Do Autor

Figura 8 – Pilar com infiltração de umidade



Fonte: Do Autor

Figura 9 – Desplacamento reboco



Fonte: Do Autor

Figura 10 – Descolamento reboco



Fonte: Do Autor

- 3) Descolamento do reboco: resultante da falha de aderência entre substrato e revestimento, conforme ilustram as figuras 9 e 10.
- 4) Infiltrações de umidade em paredes do banheiro: decorrente da carência de impermeabilização das áreas molhadas.
- 5) Fissuras/trincas à nível de cobertura: ocasionada devido a falha ou falta de amarração adequada da alvenaria por elemento estrutural (Figura 11).
- 6) Fissuras verticais à nível de fundação: decorre da retração do revestimento e/ou do concreto (Figura 12).

- 7) Manchas de umidade no centro de paredes: tem como causas prováveis vazamento de tubulações ou infiltrações de águas pluviais através da cobertura (Figura 13).

Figura 11 – Trinca vertical



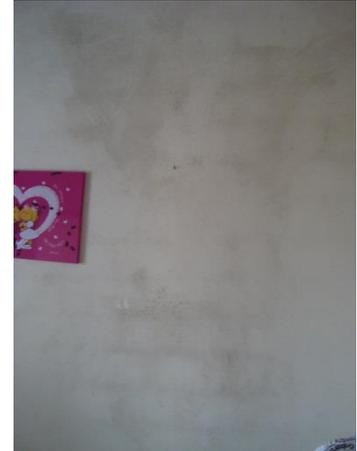
Fonte: Do Autor

Figura 12 – Fissuras verticais



Fonte: Do Autor

Figura 13 – Manchas de umidade



Fonte: Do Autor

- 8) Fissuras/ trincas verticais no centro de paredes: consequência da movimentação estrutural, originada por recalque de fundação, conforme apresenta a figura 14.
- 9) Fissuras/ trincas junto às esquadrias: decorre da ausência ou ineficiência de vergas e contra-vergas, em alguns casos aliados ao recalque de fundação, conforme destacam as figuras 15, 16, 17 e 18. Também pode resultar da movimentação estrutural aliada à carência de ligação entre elemento estrutural e alvenaria (Figura 19).

Figura 14 – Trinca em parede



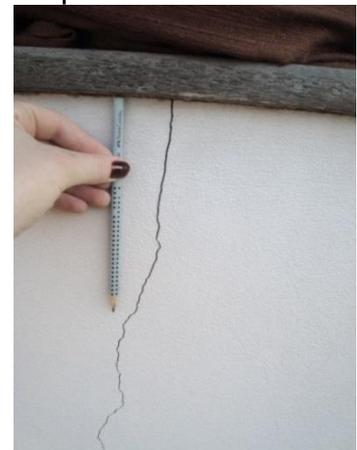
Fonte: Do Autor

Figura 15 – Trinca sobre esquadria



Fonte: Do Autor

Figura 16 – Trinca sob esquadria



Fonte: Do Autor

Figura 17 – Trinca horizontal junto à esquadria



Fonte: Do Autor

Figura 18 – Solo com baixa capacidade de suporte



Fonte: Do Autor

10) Infiltrações de umidade junto às esquadrias: decorrente da carência de impermeabilização, aliada à falha de fixação da esquadria, conforme exemplifica a figura 20.

Figura 19 – Trinca horizontal sobre esquadria



Fonte: Do Autor

Figura 20 – Manchas de infiltração junto à esquadria



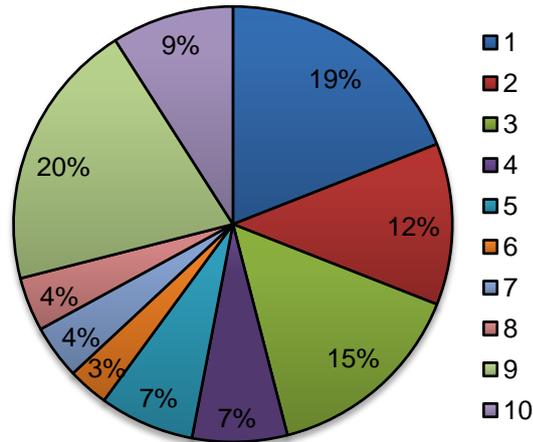
Fonte: Do Autor

Através do rol de manifestações patológicas apresentadas juntamente com suas prováveis causas é notável que a maioria das edificações estudadas apresentou incorreções, provavelmente, decorrentes de falhas no projeto e/ou execução, ou até mesmo devido à baixa qualidade dos materiais empregados.

Em 3 edificações examinadas as manifestações patológicas não puderam ser imputadas pois, estes imóveis tiveram sua célula habitacional ampliada.

De acordo com o gráfico 1 é possível observar a frequência com que as manifestações patológicas listadas acima foram encontradas nas edificações. Os valores se referem aos percentuais de edificações estudadas em que foram encontradas as determinadas manifestações patológicas.

Gráfico 1 – Ocorrência de manifestações patológicas



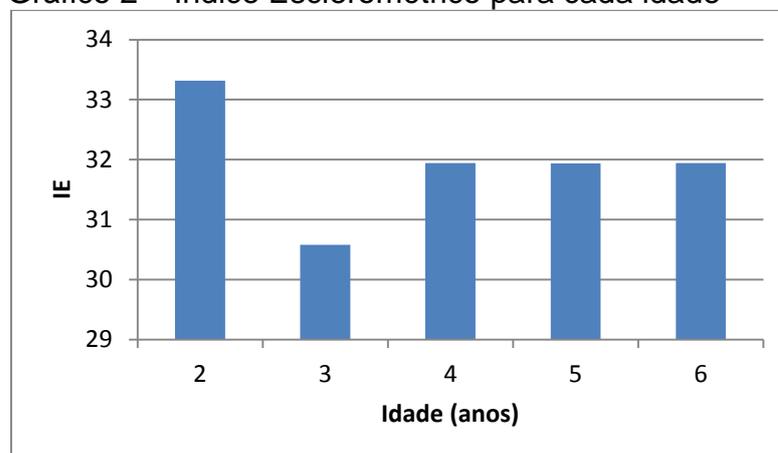
Fonte: Do Autor

### 3.1.2 Índice Esclerométrico médio encontrado nas residências para diferentes idades

Houve uma significativa variação entre os IE médios de acordo com a idade de uso das edificações, sendo que as edificações com 2 anos de uso foram as quais apresentaram maiores IE, conforme se observa no gráfico 2. Além disso, foram essas edificações que apresentaram menor grau e número de manifestações patológicas.

Entende-se como gravidade das manifestações patológicas, a interferência destas sobre a estabilidade estrutural da edificação, como por exemplo, manifestações patológicas decorrentes de retração da argamassa não são caracterizadas por gerar risco estrutural, já recalques de fundação, estão diretamente ligados à estrutura, podendo causar a movimentação e deformação da mesma.

Gráfico 2 – Índice Esclerométrico para cada idade



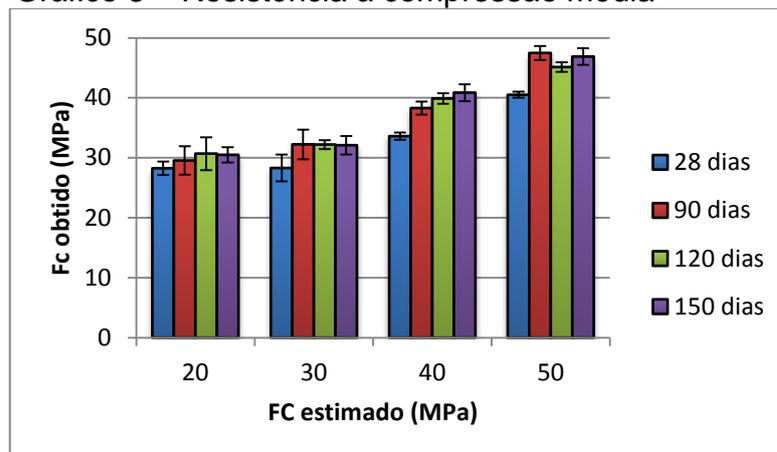
Fonte: Do Autor

## 3.2 ESTUDO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO

### 3.2.1 Resistência à compressão axial

Para determinação da resistência à compressão dos CPs moldados em laboratório, foram ensaiados 4 CPs para cada idade e traço. Foram desconsiderados valores espúrios, sendo que no mínimo para cada média foram considerados 3 CPs.

Gráfico 3 – Resistência à compressão média



Fonte: Do Autor

De acordo com o gráfico 3 é possível observar a tendência de crescimento da resistência diretamente proporcional à idade, característica usual do concreto. Também foi observado o crescimento do Fc inversamente proporcional à relação cimento/agregados.

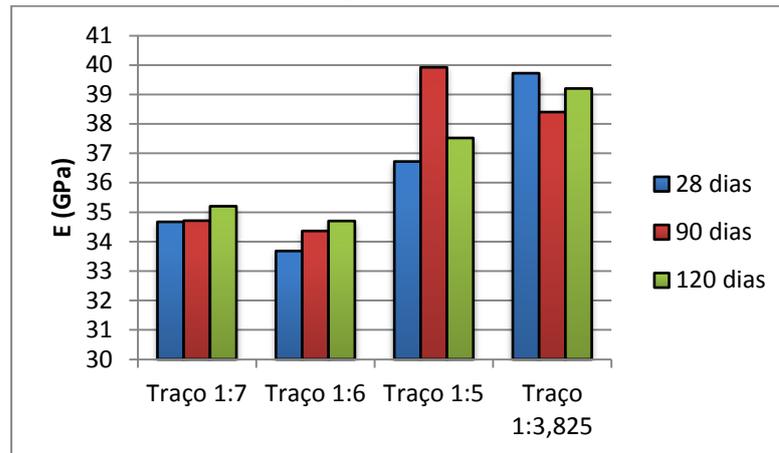
Com relação às médias das resistências à compressão para cada traço, houve um crescimento em torno de 51,28 %, sendo que o aumento entre os dois primeiros traços não apresentou variações significativas.

O Fc inicialmente desejado não foi alcançado, podendo dever isso à um equívoco de dosagem, ou seja, na composição do concreto (traço), além de outros fatores como, por exemplo, e cura e o adensamento do concreto nos CPs que também podem ter influenciado nos resultados.

### 3.2.2 Módulo de Elasticidade

Para determinação do módulo de elasticidade dos CPs moldados em laboratório, foram ensaiados 4 CPs para cada idade e traço. Foram desconsiderados valores espúrios, sendo que no mínimo para cada média foram considerados 3 CPs.

Gráfico 4 – Módulo de Elasticidade médio



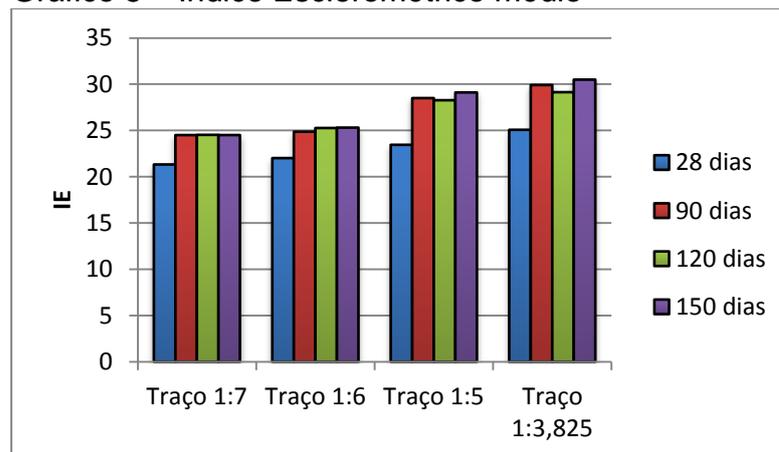
Fonte: Do Autor

Os valores de módulo de elasticidade para o mesmo traço podem apresentar significativas variações decorrentes da dosagem e teor de agregado utilizado. (NETO; HELENE, 2002).

### 3.2.3 Índice Esclerométrico

Devido aos baixos IE obtidos nos CPs ensaiados em laboratório, conforme apresenta o gráfico 5, foi levantada a hipótese de que o prato com disco de neoprene utilizado na prensa para estabilização do CP, poderia ter dissipado a energia deferida pelo equipamento (PALACIOS, 2012).

Gráfico 5 – Índice Esclerométrico médio



Fonte: Do Autor

A fim de comprovar a hipótese, aos 150 dias os CPs foram ensaiados para obtenção do IE e correspondente  $F_c$ , onde foram comparados os resultados de IE entre CPs com e sem a utilização do disco de neoprene (dureza 70 shore).

A hipótese foi confirmada, sendo que no ensaio realizado aos 150 dias, os IE médios dos CPs ensaiados sem a utilização do disco de neoprene apresentaram valores entre 29,67 % e 53,21 % acima dos IE médios obtidos em CPs ensaiados com a utilização do disco de neoprene. O acréscimo variou de acordo com os traços.

Com o objetivo de minimizar os efeitos causados pela dissipação de energia, foi realizada a correção dos IE utilizando um coeficiente médio de acréscimo dos valores, com base nas variações observadas nos ensaios realizados em laboratório.

Com relação à estabilização dos CPs na prensa para realização do ensaio esclerométrico, RILEM NDT 3 (1984, apud CÂMARA, 2006), cita que os CPs devem ficar fixos sob uma tensão de 1 MPa. Já a NM 78 (1996) preconiza que para esclerômetros com energia de percussão de 2,25 N.m, os CPs devem ser fixados na prensa com força igual a 15 % da carga de ruptura estimada.

De acordo com PALACIOS (2012, p. 120), para CPs cilíndricos com  $F_c$  em torno de 50 Mpa, foi comparada a variação do IE para carga na prensa com 1,3 MPa, 14,94 MPa e 24,91 MPa (aproximadamente 2,60 %, 30 % e 50 % da carga de ruptura, respectivamente). O acréscimo médio do IE entre a aplicação de 2,60 % e 30 % da carga de ruptura foi de aproximadamente 14 %.

Para os ensaios foram utilizadas cargas entre 6,80 % e 17,50 % da carga de ruptura e, portanto, a influência da carga sobre o IE foi desconsiderada.

### 3.2.4 Correlação entre Índice Esclerométrico e propriedades mecânicas

De acordo com Papadakis e Venaut (1969, apud MENDES; TURRA, 2007) é apresentada a classificação qualitativa da correlação (coeficiente  $R^2$ ) para diferentes composições de concreto, conforme apresenta a tabela 2.

Tabela 2 – Classificação  $R^2$

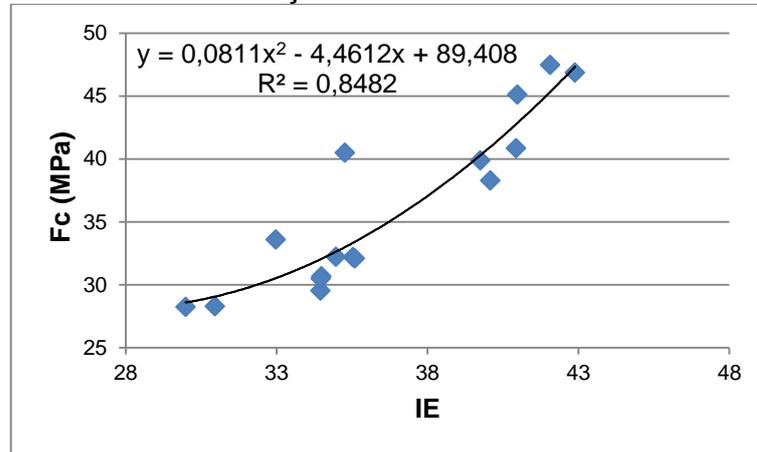
Valores de $R^2$	Classificação
1,00 - 0,81	Bom
0,80 - 0,50	Razoável
0,49 - 0,25	Baixo
0,24 - 0,00	Muito baixo

Fonte: Do Autor

#### 3.2.4.1 Correlação IE x $F_c$

Por meio da correção realizada no IE para minimizar os efeitos causados pela dissipação de energia através da utilização do disco de neoprene, obteve-se a equação apresentada pelo gráfico 6, com correlação satisfatória entre as variáveis.

Gráfico 6 – Correlação IE x Fc



Fonte: Do Autor

A correlação entre as propriedades mecânicas do concreto e o IE, pode ter sido influenciada pela ação de fatores relacionados ao tempo. A influência de carbonatação no concreto, por exemplo, faz com que haja um aumento da resistência superficial do concreto, enquanto sua resistência à compressão não é influenciada (MARTINS, et al., 2014).

De acordo com Rocha (2015, p. 12), a carbonatação é a reação entre o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) encontrado na atmosfera, e os componentes gerados durante a cura do cimento. A entrada do dióxido de carbono no concreto ocorre através dos poros, e resulta na redução do pH do concreto.

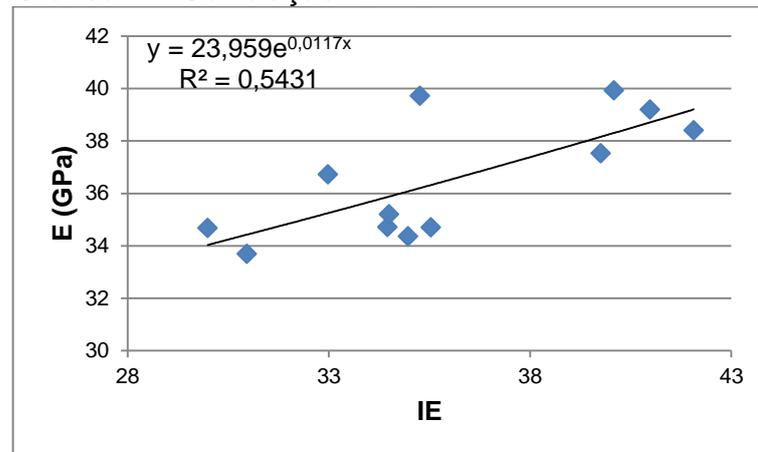
A carbonatação é responsável por ocasionar o acréscimo da resistência superficial do concreto, em casos extremos, podendo apresentar valores 50% maiores do que os valores reais, devido ao efeito de carbonatação. (NBR 7584, 2012, p. 9).

Para a NBR 7584 (2012, p. 13), após 60 dias já é considerada a influência de fatores nos resultados do IE nessa idade com relação aos resultados obtidos em idade normalizada (28 dias), devendo esse fato à cura, carbonatação e outros.

#### 3.2.4.2 Correlação IE x E

Em função da variabilidade dos resultados obtidos no módulo de elasticidade, a correlação entre IE e E, não apresentou relação satisfatória entre as variáveis, conforme se observa no gráfico 7.

Gráfico 7 – Correlação IE x E



Fonte: Do Autor

### 3.3 APLICAÇÃO DO ESTUDO EXPERIMENTAL NO ESTUDO DE CASO

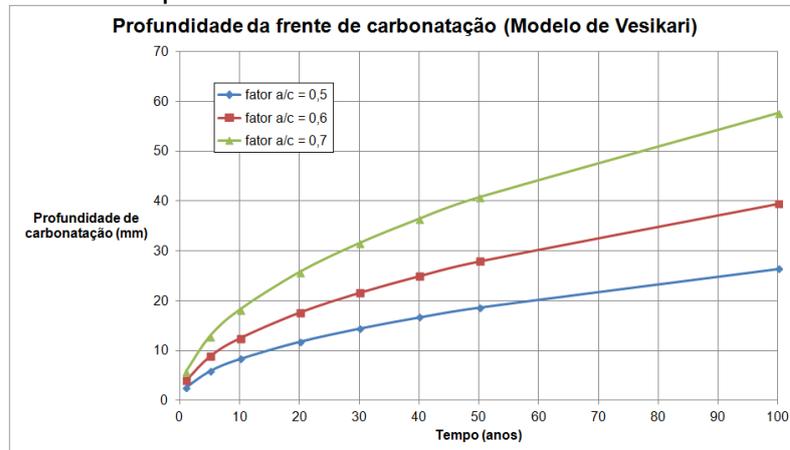
#### 3.3.1 Estimativa de resistência à compressão axial das estruturas pesquisadas

De acordo com BS 1881: Part 202, 1986; Qaswari, 2000; Malhotra, 2003, os principais fatores que influenciam na leitura da dureza da superfície do concreto são: tipo de agregado, tipo de acabamento superficial, tipo de cimento, proporções do concreto, temperatura, carbonatação, idade, resistência, umidade e inclinação do esclerômetro.

Com relação a esses fatores e considerando a espessura admissível de revestimentos para paredes externas entre 20 e 30 mm (NBR 13749, 2012. p. 8), pode-se afirmar que, supondo que a espessura do revestimento argamassado nas edificações tenha sido respeitada e, admitindo que todas as edificações ensaiadas possuíam revestimento de argamassa, a leitura do IE em campo pode ter sido significativamente influenciada por esse fator.

Além disso, o efeito de carbonatação também pode influenciar na leitura do IE, superestimando seu valor. Analisando a correlação entre profundidade de carbonatação e idade do concreto, Rocha (2015, p. 27) apresentou curvas de correlação com diferentes relações a/c, através de um modelo proposto por Vesikari (1988).

Figura 21 – Profundidade de carbonatação de acordo com o tempo



Fonte: Rocha, 2015

De acordo com o modelo proposto e levando em consideração que a idade máxima das edificações analisadas seja de aproximadamente 6 anos, para uma relação a/c de 0,70 a profundidade de carbonatação atinge quase 1,5 mm, influenciando significativamente na leitura do IE.

Considerando que as edificações estudadas estão localizadas numa mesma região, e que as leituras não foram realizadas em períodos de ocorrência de chuvas (relativo à influência da umidade, sendo que as leituras foram realizadas em elementos externos), relaciona-se como principais fatores que podem ter influenciado na leitura do IE, os revestimentos argamassados e a carbonatação.

Com relação aos revestimentos argamassados foi notável a diferença entre IE obtido num elemento estrutural e numa parede de vedação, onde ambos possuem revestimentos. Esse fato reflete indiretamente a rigidez do elemento.

Por esses motivos e sabendo que todas as edificações estudadas estão sob efeito dos mesmos fatores, os quais podem ter influenciado na leitura do IE de todas as edificações, apesar da limitação da correlação entre IE x Fc foi apresentado um comparativo das resistências obtidas através da correlação entre o IE com a equação do equipamento, equação elaborada pelos autores e equações apresentada por outros autores, obtendo o valor de Fc estimado para cada edificação (Tabela 3).

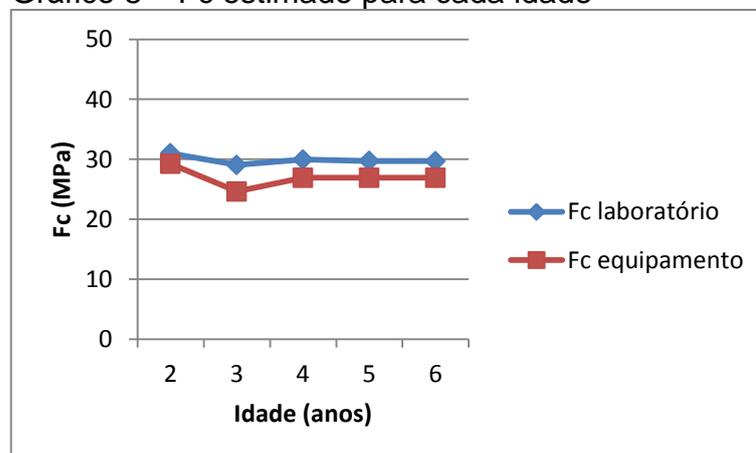
Tabela 3 – Resistências estimadas das estruturas de concreto

Dado	Idade (anos)	IE	Fc equipamento (MPa)	Fc laboratório (MPa)	Fc Silva (MPa)	Fc Qasrawi (MPa)	Fc Evangelista (MPa)
1	2	34,1875	30,7042	31,6792	28,5734	28,8627	41,3929
2	2	30,7968	24,9899	28,9360	22,5363	24,2751	33,5194
3	2	33,7008	29,8839	31,1708	27,6162	28,2041	40,2111
4	2	34,5714	31,3512	32,1073	29,3517	29,3821	42,3373
5	3	32,6130	28,0507	30,1735	25,5915	26,7324	37,6325
6	3	32,4833	27,8321	30,0674	25,3602	26,5569	37,3308
7	3	29,1458	22,2075	28,2754	20,0767	22,0413	29,9888
8	3	29,3438	22,5410	28,3313	20,3568	22,3091	30,4015
9	3	30,5625	24,5950	28,8154	22,1697	23,9581	33,0062
10	3	28,3192	20,8143	28,1107	18,9479	20,9229	28,2955
11	3	31,5744	26,3003	29,4003	23,7970	25,3272	35,2510
12	4	33,1590	28,9708	30,6501	26,5885	27,4711	38,9160
13	4	34,0875	30,5357	31,5716	28,3741	28,7274	41,1487
14	4	29,2619	22,4031	28,3074	20,2405	22,1984	30,2305
15	4	31,2583	25,7677	29,1998	23,2763	24,8995	34,5418
16	5	30,4521	24,4089	28,7616	21,9990	23,8087	32,7658
17	5	31,9688	26,9649	29,6733	24,4630	25,8607	36,1460
18	5	32,6071	28,0408	30,1686	25,5810	26,7245	37,6189
19	5	32,4207	27,7266	30,0171	25,2493	26,4722	37,1856
20	5	32,2424	27,4261	29,8775	24,9362	26,2310	36,7737
21	6	31,5769	26,3046	29,4020	23,8012	25,3306	35,2566
22	6	31,6429	26,4157	29,4459	23,9113	25,4198	35,4055
23	6	32,6063	28,0393	30,1679	25,5794	26,7233	37,6168

Fonte: Do Autor

Para melhor visualização foram apresentadas as médias das resistências à compressão estimadas para cada idade, de acordo com o gráfico 8.

Gráfico 8 – Fc estimado para cada idade



Fonte: Do Autor

Destaca-se que muitas das manifestações patológicas apresentadas se restringem às paredes de vedação, não possuindo vinculação direta com a resistência à compressão do concreto estimada nas edificações.

De acordo com o gráfico 7 é possível observar que as edificações com 2 anos de uso apresentaram maior  $F_c$  médio. Em uma análise global, essas edificações foram as mesmas que apresentaram menor número e grau de manifestações patológicas. Essa variação pode ser atribuída à Norma de Desempenho NBR 15575, que entrou em vigor em 19 de julho de 2013. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013, p. 12), a CAIXA demonstra preocupação com o desempenho e qualidade das construções, e espera que com a aplicação desta norma, haja a melhoria da qualidade das edificações.

#### 4. CONCLUSÃO

Através do presente estudo conclui-se que:

- Todas as edificações estudadas apresentaram manifestações patológicas, de maior ou menor gravidade;
- A maioria das manifestações patológicas visualizadas nas edificações tem como origens prováveis, falhas de projeto e/ou execução, ou ainda no emprego de materiais de baixa qualidade;
- A carbonatação e presença de revestimentos argamassados são fatores que podem ter influenciado significativamente na leitura do IE realizada nas edificações. Do mesmo modo, a carbonatação pode ter influenciado na leitura do IE realizada em laboratório, após 60 dias;
- Mesmo com a limitação da correlação IE x  $F_c$ , pode-se observar que todas as edificações apresentaram  $F_c$  estimado satisfatório, concluindo por esse motivo, que as manifestações patológicas apresentadas podem não estar relacionadas à resistência à compressão do concreto;
- Foi observada uma redução significativa do número e grau de manifestações patológicas apresentadas em edificações com 2 anos de uso.

No presente estudo é evidenciado que foram registradas desde falhas que interferem na estética da construção, até falhas de ordem estrutural que põe em risco a integridade da edificação. Também se pode observar que, após entrar em vigor, a Norma de Desempenho promoveu a melhoria da qualidade dos imóveis e a

atenção à detalhes construtivos, trazendo assim, um avanço para o setor da construção civil e uma nova fase para programas destinados à habitação social.

#### 4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendações para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo nas edificações através do ensaio de esclerometria, juntamente com a extração do revestimento argamassado e verificar sua influência sobre a leitura do IE;
- Realizar em laboratório a comparação entre a leitura do IE em CPs de concreto com e sem aplicação de revestimento argamassado;
- Verificar a influência de carbonatação na leitura do IE para diferentes idades;
- Estimar o custo de reparos para as manifestações patológicas apresentadas.

#### 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7584**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: concreto: determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BOTTEGA, Fábio. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. 2010. 136 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1881**: Part 202: recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. London, 1986.

CAIXA. Agência Caixa de Notícias. **Minha Casa Minha Vida vai ultrapassar a marca dos 3 milhões de unidades entregues**. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=3943>> Acesso em: 14 set. 2016.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2013. Disponível em:  
<[http://www.cbic.org.br/arquivos/guia\\_livro/Guia\\_CBIC\\_Norma\\_Desempenho\\_2\\_edicao.pdf](http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf)>. Acesso em: 5 nov. 2016.

CÂMARA, Everlei. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos**. 2006. 193 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992.

MALHOTRA, V. M; CARINO, N. J., 1984. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**: second edition. 2 ed. Detroit: CRC Press, 2003.

MARTINS, R. O. G, et al. Análise do comportamento da resistência a compressão do concreto carbonatado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT, 21, 2014, Cuiabá. Viçosa: UFV. p. 7.

MENDES, Sandro Eduardo da Silveira; TURRA, Celso. Ensaios não destrutivos para avaliação da qualidade do concreto nas primeiras idades. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais**. Curitiba: UTFPR. p. 16.

NETO, Antonio Acacio De Melo; HELENE, Paulo Roberto do Lago. Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 44, 2022, Belo Horizonte. São Paulo: USP.

NORMA MERCOSUR. **NM78**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. 1996.

PALACIOS, Maria Del Pilar Guzman. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. 2012. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2012.

QASRAWI, H. Y. **Concrete strength by combined nondestructive methods Simply and reliably predicted**. Cement and Concrete Research. 2000, p.739–746.

ROCHA, Bruno dos Santos. **Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. 2015. 63 f. Monografia (Especialização em construção civil) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SILVA, Daiane dos Santos da. **Avaliação estrutural do edifício Jigue da antiga indústria carboquímica catarinense, visando sua reutilização para uma nova ocupação.** 2006. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2006.

VESIKARI, E. **Service life prediction of concrete structures with regard to corrosion of reinforcement.** In: TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND, Report n. 553, Espoo - Finland, 1988, p. 53.