



AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA ENTRE AÇO E CONCRETO SOLIDARIZADOS POR ADESIVO ESTRUTURAL

DA ROSA, Edevam¹

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: A aderência entre o concreto e o aço é um dos principais fatores para o bom desempenho das estruturas de concreto armado. Desta forma, a pesquisa buscou avaliar a aderência entre o concreto e o aço, utilizando adesivo estrutural para a ancoragem das barras de aço nervuradas que serão introduzidas no concreto, comparando os resultados obtidos a de elementos aderidos pelo método convencional de concretagem, cujos objetivos específicos são determinar do limite de escoamento do aço por meio de ensaios de tração; determinar a resistência do concreto por meio dos ensaios de compressão axial e compressão diametral, este com a finalidade de determinar a resistência à tração; realizar ensaios de tração pelo método denominado “*pull-out test*”, afim de determinar as tensões de aderência entre aço e concreto, aderidos por meio de adesivo estrutural e pelo método convencional de concretagem. Onde, os ensaios acontecerão após o período de cura das amostras. Com base nos resultados obtidos, duas situações distintas relacionadas ao volume de adesivo entre os elementos foram observadas: quando o volume proporcionado entre as peças a para a injeção de adesivo estrutural foi menor, menor foi a aderência. Quando o volume proporcionado entre as peças para a injeção de adesivo estrutural foi maior, a aderência também foi maior, por conseguinte, houve uma resistência parecida com a resistência dos elementos unidos durante o processo de concretagem que foi de 2.569 kgf.

Palavras-chave: adesivo, ancoragem, desempenho, estrutural, resistência.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: edevampittore@hotmail.com.

² Docente, Mestre em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: vaniaperes@gmail.com.



1. INTRODUÇÃO

De acordo com Marcellino ([2013?]), o concreto armado resulta da solidez obtida da mistura entre a combinação do concreto e aço, sendo um material de propriedades peculiares e extremamente interessantes, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Devido à relação aço e concreto apresentar excelentes resistências estruturais, tal combinação é empregada em uma gama de aplicações na construção civil, pois apresenta custo relativamente baixo frente a outras opções existentes para a realização de peças estruturais. Das diversas propriedades que o concreto armado possui, destaca-se a aderência, obtida por cobrimento, e que consiste na transferência de esforços e deformações que atuam na interface entre a barra de aço e o concreto que a envolve.

Este cobrimento ocorre durante a execução de uma nova edificação, quando se “mergulha” uma barra de aço na massa do concreto. A ancoragem de novas peças estruturais faz-se necessária em algumas situações, por exemplo, em peças que já se encontram devidamente concretadas e que já passaram pelo processo de cura. Isto pode ser observado em situações de reformas, ampliações, reparos e reforços de estruturas (BASTOS, 2018).

Quando existe uma previsão de ligações futuras no projeto, a ancoragem pode ser realizada a partir de armaduras de espera. Porém, durante a fase de projeto de uma obra, raramente são previstos elementos estruturais para ligações futuras. Desta forma, a realização dessas ligações ocorre por meio de adesivos estruturais. A ancoragem das barras de aço na estrutura existente é realizada por perfurações, e a aderência entre os materiais ocorre mediante a utilização de adesivos estruturais, que são constituídos por resinas à base de epóxi e catalisadores (SOUZA; TAVARES; FERNANDES, 2018).

De acordo com Bastos (2018), o procedimento de ancoragem é considerado prático e ágil, pois não necessita de mão de obra especializada, apenas de cuidados quanto à limpeza das superfícies das barras de aço e da retirada dos materiais pulverulentos do orifício após a perfuração. O adesivo não altera as características do elemento estrutural em que a barra é introduzida e necessita de um período de cura de apenas dez dias.

Com base nas informações expostas, a pesquisa tem como justificativa para sua realização a necessidade em executar ancoragens posteriores a do momento da concretagem que visem à união de elementos estruturais, onde se faz necessária a utilização de adesivos



estruturais para a ancoragem. Portanto, a pergunta a ser respondida de acordo com a pesquisa é: a aplicação de novos materiais na construção civil, especificamente os adesivos estruturais, atende às necessidades de resistência e durabilidade a que se destinam?

Desta forma, restringe-se a esta pesquisa a determinação da resistência a compressão, resistência à tração e as tensões de aderência com adesivo estrutural e pelo método convencional de concretagem.

De acordo com todas as informações explanadas anteriormente, este estudo terá como objetivo geral avaliar a aderência entre o concreto e o aço, utilizando adesivo estrutural para a ancoragem das barras de aço nervuradas que serão introduzidas no concreto, comparando os resultados obtidos a de elementos aderidos pelo método convencional de concretagem.

Salienta-se que, para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos são propostos: determinar do limite de escoamento do aço por meio de ensaios de tração; determinar a resistência do concreto por meio dos ensaios de compressão axial e compressão diametral, este com a finalidade de determinar a resistência à tração; realizar ensaios de tração pelo método denominado “*pull-out test*”, afim de determinar as tensões de aderência entre aço e concreto, aderidos por meio de adesivo estrutural e pelo método convencional de concretagem. Onde, os ensaios acontecerão após o período de cura das amostras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

Até a época dos Grandes Descobrimentos, os materiais que predominavam eram o barro, a madeira e a pedra, os quais, geralmente, tinham a mesma aplicação; e a técnica se limitava à modelagem dos mesmos. Em menores proporções, os metais eram aplicados e em uma escala ainda menor, os couros e as fibras vegetais também eram utilizados. Com o passar dos tempos, houve a necessidade da obtenção de materiais de fácil produção que possuísem a plasticidade e o manuseio do barro, mas que possuísem resistências proporcionais a de uma pedra. O resultado então foi a concepção do concreto que, com o desenvolvimento posterior, teve aprimoramentos para que pudesse vencer grandes vãos, dando origem ao concreto armado,



resultando, mais uma vez, no desenvolvimento de aprimoramentos a partir de pesquisas dos aços que conduziram ao concreto protendido (BAUER, 2001).

Dos elementos que constituem o concreto, os agregados possuem uma grande importância, pois representam 80% do peso de um concreto estrutural sem aditivos, de fck na ordem de 15 MPa e, em relação ao custo, todo esse volume representa apenas 20%. Devido às características de obtenção desses elementos, faz-se necessário um rigoroso processo de qualidade, seja nos estudos referentes à tecnologia do concreto, quanto no controle de qualidade, que deve ser tomado antes e durante a execução da obra (BAUER, 2001).

Ainda segundo Bauer (2001), os agregados devem ser inertes na presença do cimento e estáveis aos diversos fatores que reagem com o concreto. Rochas macias, friáveis ou de baixa resistência e ou que contenham pirita, gesso e componentes ferrosos ou ainda argila, matéria orgânica que prejudiquem a aderência à argamassa devem ser excluídos da composição do concreto.

2.2 AÇO

A definição do aço como uma liga ferrosa que apresenta, em geral, teor de carbono entre 0,008% e 2%, sujeita à deformação plástica foi definida pela NBR 6215 (ABNT, 2011a).

A variação da composição química pode permitir que uma barra sem tratamento térmico atinja desempenhos semelhantes ou maiores que barras que passaram pela têmpera e revenimento. Segundo Costa (2014 *apud* BODANESE, 2018),

[...]a adição de boro, por exemplo, pode gerar a estrutura da martensita e aumentar a resistência à tração e a resistência ao impacto. Além disso, o aumento de alguns elementos como o carbono pode melhorar características de dureza e de resistência à tração do material, mas altera negativamente a ductilidade e soldabilidade (COSTA, 2014 *apud* BODANESE, 2018).

As barras de aço CA-50 são produzidas a partir da laminação a quente, seguida da têmpera e do revenimento. O procedimento de têmpera e revenimento ocorrem pelo processo do resfriamento abrupto das barras laminadas a quente, por jatos d'água, que dão origem às camadas superficiais e subsuperficiais martensítica. Isto ocorre devido ao resfriamento que é rápido o suficiente para impedir a difusão do carbono, quando a austenita passa por uma transformação polimórfica e distorce a rede cristalina, com seus grãos para assumir formas de



placas ou agulhas. Porém, no núcleo, as temperaturas mantêm-se superiores a 1000°C para que, desta forma, permaneça o austenítico (CALLISTER *et al.*, 2008, *apud* BODANESE, 2018).

De acordo com Callister *et.al.* (2006) citados por Bodanese (2018), faz-se necessário conhecer as características dos materiais para projetar estruturas para, dessa forma, evitar intensas deformações ou a ocorrência de rupturas dos materiais. A deformação ou respostas apresentadas por um material reflete seu comportamento mecânico a uma força aplicada. Normalmente, durante os ensaios de tração, as amostras são submetidas a cargas aplicadas gradativamente de maneira uniaxial até a fratura.

2.3 ADERÊNCIA

Considerada como a causa da interação entre o aço e o concreto, componentes do concreto armado, a aderência permite que ambos os materiais trabalhem em conjunto devido à inexistência de deslocamentos relativos entre ambos. Esta relação é fundamental para a aplicação do concreto armado como material estrutural (SANTANA, 2014).

Assim, de acordo com Beushausen e Alexander (2008, *apud* DORIA, 2014), a aderência ocorre por mecanismos de interação mecânica, termodinâmica e química. Fazendo-se necessário compreender que aderência mecânica difere, consideravelmente, da resistência à tensão de cisalhamento.

A partir da análise da aderência realizada por Barbosa (2001, *apud* SANTANA, 2014), verificou-se a relação existente no aumento da tensão em função do aumento do diâmetro das barras de aço. Isto ocorreu devido aos ensaios de curta duração de arrancamento monotônicos, e foi observado ainda que, conforme houve o aumento da resistência do concreto, a tensão de aderência também aumentou.

A partir do ensaio de arrancamento, *Pull-out Test*, foi possível observar o arranjo das tensões de aderência por toda a extensão da barra de aço. Ao final, foi constatada uma concentração de tensões na região confinante ao apoio do corpo de prova, para a medição contou com o auxílio de extensômetros mecânicos (WATSTEIN, 1941, *apud* SANTANA, 2014).

O método predominante dos ensaios de aderência é o teste de arrancamento, mas se ocorrerem falhas, os valores adquiridos serão meramente um limite inferior do vínculo da força



devido às imperfeições no substrato ou na sobreposição, situação que não ocorre quando as falhas são na interface (BISSONNETTE *et al.*, 2013, *apud* DORIA, 2014).

A partir das análises experimentais elaboradas por Ribeiro (1985, *apud* SANTANA, 2014) utilizando os ensaios do tipo *Pull-out Test* e do tipo extremo de viga, a fim de fossem determinados os principais aspectos que exercem influência na aderência de barras nervuradas, foram analisadas diversas propriedades: a resistência à compressão do concreto, o diâmetro da barra de aço, a porcentagem de estribos e o cobrimento.

Os resultados do estudo de Ribeiro (1985, *apud* SANTANA, 2014) apontam que,

[...] ao se aumentar o cobrimento, a tensão última de aderência também aumenta; quando se aumenta a quantidade de estribos, percebe-se um aumento na resistência de aderência e a presença de estribos altera também o modo de ruptura, menos brusca quando comparada aos corpos-de-prova sem a presença de estribos; aumentando-se a resistência do concreto, obtém-se um acréscimo na tensão última de aderência (RIBEIRO, 1985, *apud* SANTANA, 2014).

2.4 RESINAS EPÓXI

No Brasil, as resinas epoxídicas resultam da combinação da epocloridina e do bifenol, derivados do petróleo, e possuem como característica a presença em sua molécula, de um grupo epóxi em cada extremo de sua cadeia. Portanto, devido à possibilidade de dosagem dos componentes das resinas epoxídicas, é possível controlar as características conforme a aplicação. Devido às formulações epoxídicas serem indiferentes à umidade, aquelas possuem como aplicação o combate à corrosão nas barras das armaduras. Possuem boa viscosidade na maioria dos materiais, porém, não aderem a superfícies sujas de óleos, ceras ou graxas ou a materiais desagregados (RIPPER e SOUZA, 1998 *apud* SANTOS, 2008).

A ausência quase total de retração durante o processo de cura é uma das propriedades mais importantes das resinas epóxi, porém, as resinas possuem coeficiente de dilatação térmica bastante superior ao do concreto, devido a isto, fissuras ou deslocamentos relativos podem ocorrer em trabalhos realizados, provocados pelas variações acentuadas de temperatura (RIPPER e SOUZA, 1998 *apud* SANTOS, 2008).

Segundo Cánovas (1988 *apud* DORIA, 2011), as resinas epóxi são amplamente empregadas na realização de reforços e consertos. São também resultantes da combinação da Epicloridrina com o Bifenol, portanto, caracterizam-se pela presença de uma molécula epóxi no extremo de cada cadeia. Motivos pelos quais são largamente utilizadas:



- Retração química quase insignificante;
- Retração térmica diminuta;
- Reação pode ser sistematizada dentro de amplos limites;
- Adaptável à umidade;
- Confere ótima união na junção ao concreto e ao aço;
- Notável resistência mecânica;
- Totalmente estável frente às intempéries e aos meios agressivos;
- Possui a capacidade de formar uma rede mais ou menos flexível.

Cánovas (1988, *apud* DORIA, 2011) ressalta ainda que as atividades de maior utilização das resinas epóxi são: a união de concretos de diferentes idades em reforços; união de argamassas ou concretos em reparos; injeções em fissuras e trincas; revestimentos anticorrosivos; a união de aços a concretos em reforços e selagens em proteções. Tendo como principais propriedades:

- Resistência à tração de 30 até 90 MPa;
- Resistência à compressão entre 120 e 210 MPa;
- Variação de tempo entre 0,5 até 10 horas para atingir resistência e sete dias até a máxima resistência;
- Retração mínima em relação à do concreto;
- Módulo de elasticidade variável entre 15 e 30 GPa;
- Excelente adesão ao concreto, geralmente em situações relacionadas a esforços por tração, onde os elementos estruturais são aderidos ao concreto com o uso de resinas epóxi, sempre é o concreto que rompe.

3. METODOLOGIA

O presente artigo foi desenvolvido em duas etapas com a intenção de alcançar o objetivo almejado, para melhor aproveitamento do estudo. Na primeira etapa foi realizado um estudo do tema proposto, assim como houve a revisão bibliográfica dos ensaios e métodos a serem realizados e a qualificação dos materiais a serem empregados. A revisão bibliográfica teve como fonte preeminente referências oriundas da internet, mas buscou-se a diversidade de fontes



de informação, para que fossem evidenciadas referências obtidas a partir de publicações físicas, os livros.

Em seguida, na segunda etapa, foram executadas tanto a moldagem dos corpos de prova como a análise dos ensaios que ocorreram no Laboratório de Modelos Reduzidos – LMR da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Após a obtenção dos resultados, esses foram analisados a fim de que se obtivesse a conclusão adequada para o presente estudo.

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Concreto

O concreto foi confeccionado segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), utilizando cimento Portland CPII-F32, a areia quartzosa proveniente do Rio Paraná e brita nº 1, de origem basáltica, da região de Cascavel-PR, respectivamente, agregado miúdo e graúdo. A resistência definida para o concreto utilizado nos experimentos foi de 25MPa.

3.1.2 Aço estrutural

Os ensaios experimentais utilizaram barras de aço CA-50 do tipo nervurada, com Ø 10,0mm e Ø 12,5mm, o comprimento foi de 40,0cm, com 10,0cm de engaste e 30,0cm fora dos corpos de provas. Foram também utilizadas barras de aço CA-50 do tipo nervurada, com comprimento de 60,0cm, para os ensaios de escoamento do aço, conforme NBR ISO 6892-1:2013 (ABNT, 2018c).

3.1.3 Adesivo estrutural ou Resina epóxi

A resina epóxi fabricada pela Vedacit utilizada nos ensaios de aderência entre o concreto e as barras de aço CA-50 foi o COMPOUND ADESIVO, que apresenta altas resistências em baixas idades, uma fluidez média e possibilita grande facilidade de manuseio. Conforme as informações do fabricante, esta resina proporciona grande resistência aos meios agressivos, à água e aos graxos, bem como possibilita a aplicação em superfícies úmidas, porém não



encharcadas. Indica ainda, que para a realização de ancoragens o substrato deverá ser perfurado conforme especificado em projeto, em seguida deverá ser realizada a limpeza com jato de ar ou água, eliminando qualquer partícula solta. Durante a preparação da mistura dos componentes os cuidados necessários deverão ser, a homogeneidade da mistura, a coloração cinza e a ausência de grumos, devendo o composto ser aplicado no tempo máximo de 50 minutos após o preparo, à temperatura de 25 °C. Por fim, a aplicação em processos de ancoragens, o componente deverá ser despejado no furo em sua totalidade e as peças deverão ser inseridas sob pressão e com leves movimentos de rotação, até a profundidade determinada em projeto. Devendo permanecer imóveis até a completa secagem do produto, que apresenta resistência inicial em 24 horas e máxima final em 7 dias, podendo variar conforme a temperatura ambiente.

3.2 Produção das amostras

Os corpos de prova foram fabricados em moldes cilíndricos metálicos conforme a especificação da NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram moldados ao todo trinta e quatro corpos de prova, sendo 29 com dimensões de 150mm x 300mm (diâmetro/altura) e os outros cinco com dimensões de 100mm x 200mm (diâmetro/altura).

Os corpos de provas produzidos foram destinados aos ensaios conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Destinação dos corpos de prova.

Quant.	Dimensão	Forma	Classificação do ensaio
05	100mm x 200mm	Metálica	Compressão
05	150mm x 300mm	Metálica	Compressão diametral
24	150mm x 300mm	Metálica	Tração (<i>pull out test</i>)

Fonte: Autor (2020).

O concreto utilizado nos corpos de prova teve sua confecção em betoneira, tendo como traço a relação de materiais por Kg/m³, da seguinte forma: 350 Kg de cimento, 825 Kg de areia, 1.120 Kg de brita nº. 01 e 190 Kg de água. Ao final foi realizado o *slump test*, conforme especificações da NBR NM 67 (ABNT, 1998) e obteve-se um abatimento de 90 mm.

A produção das amostras destinadas aos testes de arrancamento, foi dividida em dois grupos, cada grupo composto por doze peças, com a finalidade de comparar os resultados obtidos entre os grupos, onde, o primeiro grupo recebeu a inserção da barra de aço do tipo

vergalhão nervurada durante a concretagem e o segundo grupo recebeu a inserção de uma barra de aço nervurada após o período de cura, com a utilização do adesivo estrutural para fixação entre os elementos.

Para a produção do primeiro grupo foi elaborado um aparato de compensado utilizado para garantir o correto posicionamento, de modo que os vergalhões com comprimento de 400mm se localizassem no centro do corpo de provas a uma profundidade de 100mm do mesmo (Figuras 1 e 2), e as peças receberam vergalhões conforme a Tabela 2.

Figura 1: Detalhe dos vergalhões nos CP.



Fonte: Autor (2020).

Figura 2 – Aparato para moldagem dos CP.



Fonte: Autor (2020).

Tabela 2: Corpos de prova com vergalhão incorporado no momento da concretagem.

Quant.	Corpo de prova	Tipo do vergalhão
06	150mm x 300mm	10mm nervurado
06	150mm x 300mm	12,5mm nervurada

Fonte: Autor (2020).

Todos os corpos de prova foram moldados na posição vertical, tiveram o lançamento do concreto pela face superior das formas metálicas e foram vibrados manualmente. Por fim, as peças tiveram suas faces superiores regularizadas com o auxílio de uma colher de pedreiro. Após o período inicial de cura de 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados (Figuras 3 e 4).

Figura 3: Desmolde dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2020).

Figura 4 – Desmolde dos CP com vergalhões.



Fonte: Autor (2020).

Logo em seguida, os corpos de prova foram inseridos em um reservatório com água e ficaram imersos para o processo de cura do concreto por 28 dias (Figura 5).

Figura 5: Cura dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2020).

Já o segundo grupo, respeitado o período de cura, recebeu perfuração com profundidade de 100mm com diâmetros de 13mm e 16mm, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Corpos de prova com vergalhão introduzido.

Quant.	Corpo de prova	Ø da perfuração	Tipo do vergalhão
06	150mm x 300mm	13mm	10,0mm nervurado
06	150mm x 300mm	16mm	12,5mm nervurado

Fonte: Autor (2020).



A perfuração foi realizada com o auxílio de furadeira de bancada e brocas de vídea, após, houve limpeza, lavagem e secagem do interior das peças, onde seria injetado o adesivo epóxi para que depois fosse inserida uma haste de vergalhão nervurada com comprimento de 400mm até a profundidade de 100mm.

O processo de fixação entre os elementos obedeceu ao seguinte fluxo: introduziu-se no interior dos orifícios a quantidade necessária de adesivo epóxi para que a pasta chegasse à borda superior após a imersão da barra no interior do corpo de prova sem que houvesse falta ou excesso, de maneira que a massa formasse um plano com o topo do corpo de prova.

Após a inserção, conforme a recomendação do fabricante, as peças permaneceram imóveis até a completa secagem do produto, o período indicado pelo fabricante é sete dias para obtenção da resistência máxima, no experimento foram aguardados dez dias para o prosseguimento dos estudos.

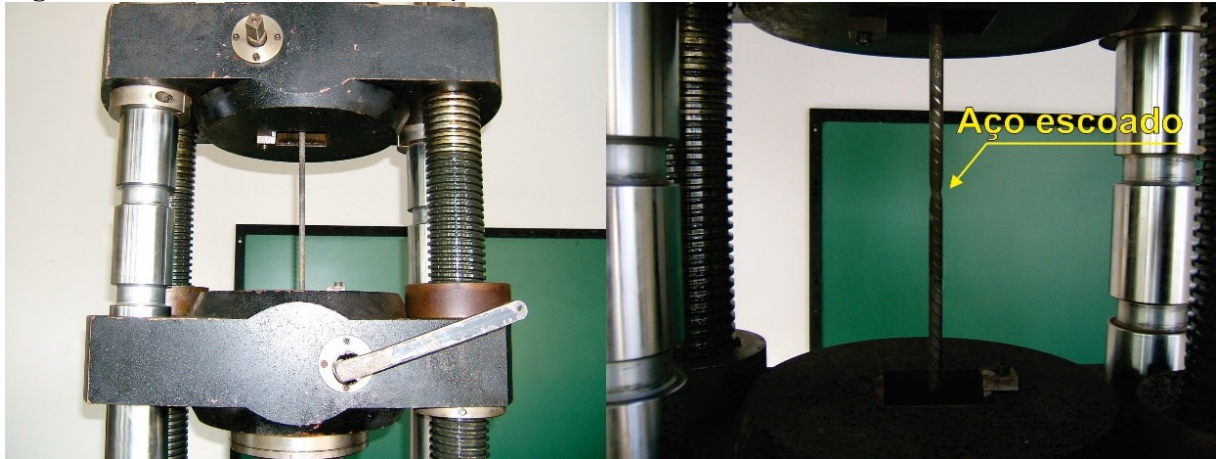
3.3 Ensaaios

A determinação das propriedades mecânicas ocorreu com base nos ensaios mecânicos que expressam a função das tensões e/ou das deformações, bem como das forças externas que atuam sobre um objeto, em determinada área, o comportamento do material sob a ação de tais esforços. Existem vários tipos de ensaios que, em geral, são destrutivos, pois provocam rupturas e a inutilização dos materiais. Há também os denominados não destrutivos, cuja finalidade é determinar as propriedades físicas ou detectar falhas internas dos elementos (GARCIA *et al*, 2000 *apud* BARBOSA, 2014).

3.3.1 Ensaio de tração no aço

Precedente à realização dos ensaios de arrancamento, foi realizado o ensaio de resistência à tração do aço, ensaio realizado no equipamento na Máquina Universal de Ensaaios - MUE, para determinar o limite de escoamento dos vergalhões do aço CA 50 de 3/8" e 1/2" (Figura 6). O ensaio foi realizado em 3 (três) amostras para cada bitola, conforme NBR ISO 6892-1:2013 (ABNT, 2018).

Figura 6: Ensaio de escoamento do aço.

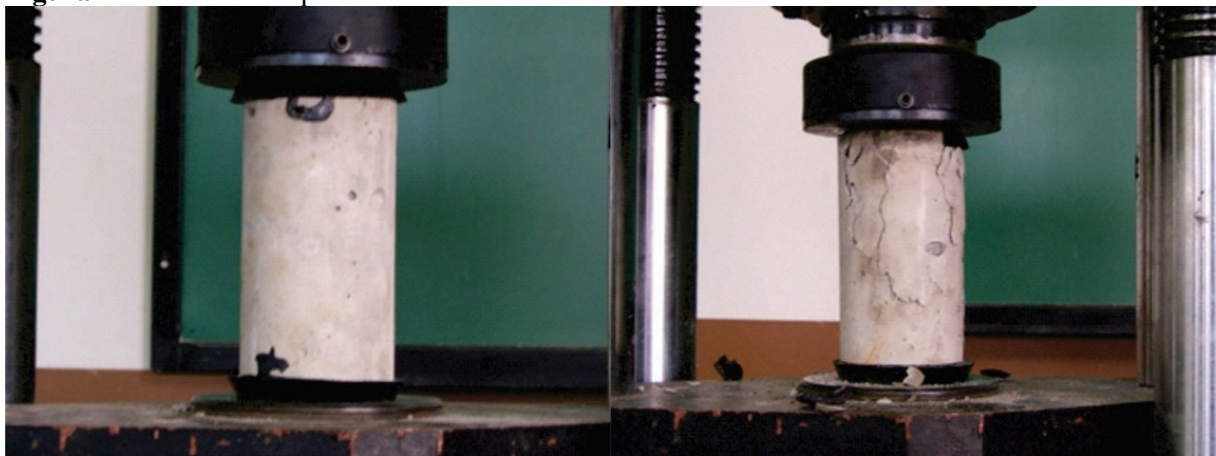


Fonte: Autor (2020).

3.3.2 Ensaio de compressão axial

Os cinco corpos de prova com dimensões de 100,0mm x 200,0mm foram submetidos ao ensaio de compressão na MUE (Figura 7). O objetivo do ensaio é a obtenção da resistência do concreto, informação essa que será utilizada como parâmetro para os demais ensaios. Os ensaios de compressão seguiram a NBR 5739 (ABNT, 2018a), que define os procedimentos para os ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Figura 7: Ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor (2020).

3.3.3 Ensaio de tração por compressão diametral

Os primeiros cinco corpos de prova com dimensões de 150mm x 300mm foram submetidos ao ensaio de compressão diametral na Máquina Universal de Ensaio – MEU (Figura 8), conforme NBR 7222 (ABNT, 2011b). Os resultados obtidos servirão de parâmetros de comparação para os demais ensaios.

Figura 8: Ensaio de compressão diametral.



Fonte: Autor (2020).

3.3.4 Ensaio de arrancamento.

Os ensaios de tração foram iniciados pelo método denominado “*pull-out test*” após os testes de compressão. O teste *pull out* consiste na extração da barra de aço que foi posicionada no centro do corpo de prova de concreto. É considerado o ensaio de aderência mais tradicional e para tal utiliza-se uma máquina de ensaio (MUE). Esse ensaio é normalizado pelo Comitê Euro – Internacional do Concreto - RILEM/CEB/FIP RC6/83) e recomendado pela *American Society for Testing and Materials* - ASTM.

3.3.4.1 Ensaio de arrancamento com vergalhões incorporados na concretagem

O primeiro grupo submetido ao ensaio de tração no equipamento MUE (Figura 9) foi composto por seis corpos de prova, com dimensões de 150,0mm x 300,0mm, e foram moldados já com as barras de vergalhão nervuradas de 10,0mm de diâmetro por 400,0mm de

comprimento; desses, 100,0mm foram incorporados ao corpo de prova no momento da concretagem.

Figura 9: Ensaio de arrancamento, aço 10,0mm.



Fonte: Autor (2020).

Os ensaios de tração continuaram e o segundo grupo foi composto por outros seis corpos de prova, com dimensões de 150,0mm x 300,0mm, e foram moldados já com as barras de vergalhão nervurado, agora com a dimensão de 12,5mm de diâmetro por 400,0mm de comprimento; desses, 100,0mm foram incorporados ao corpo de prova no momento da concretagem (Figura 10). Assim como o ensaio anterior, esses tiveram a finalidade de quantificar a força necessária para a extração dos vergalhões do interior dos corpos de prova.

Figura 10: Ensaio de arrancamento, aço 12,5mm.



Fonte: Autor (2020).

3.3.4.2 Ensaio de arrancamento com vergalhões incorporados com adesivo estrutural

Após os ensaios de tração com os corpos de prova com os vergalhões incorporados na concretagem, iniciaram-se os ensaios de tração com os corpos de prova com os vergalhões que foram incorporados ao elemento utilizando adesivo estrutural.

Todos os ensaios ocorreram no equipamento MUE (Figura 11), e foi realizado em um grupo de seis corpos de prova, com dimensões de 150,0mm x 300,0mm, que foram moldados e posteriormente tiveram o vergalhão nervurado de 10,0mm de diâmetro por 400,0mm de comprimento; desses, 100,0mm foram incorporados aos corpos de prova pelo uso de adesivo estrutural.

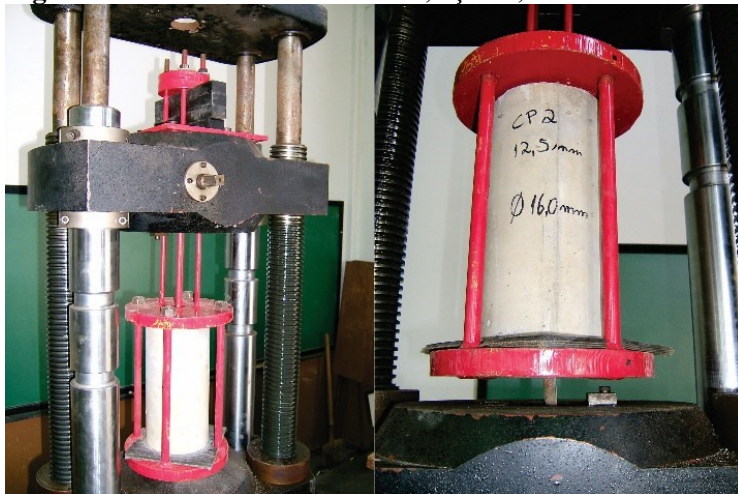
Figura 11: Ensaio de arrancamento, aço 10,0mm com adesivo.



Fonte: Autor (2020).

Os ensaios de tração continuaram e outro grupo de seis corpos de prova (Figura 12), com dimensões de 150,0mm x 300,0mm, os quais foram moldados e posteriormente tiveram o vergalhão nervurado de 12,5mm de diâmetro por 400,0mm de comprimento; destes, 100,0mm foram incorporados aos corpos de prova pelo uso de adesivo estrutural. Todos os ensaios tiveram como finalidade quantificar a força necessária para a extração dos vergalhões do interior dos corpos de prova.

Figura 12: Ensaio de arrancamento, aço 12,5mm com adesivo.



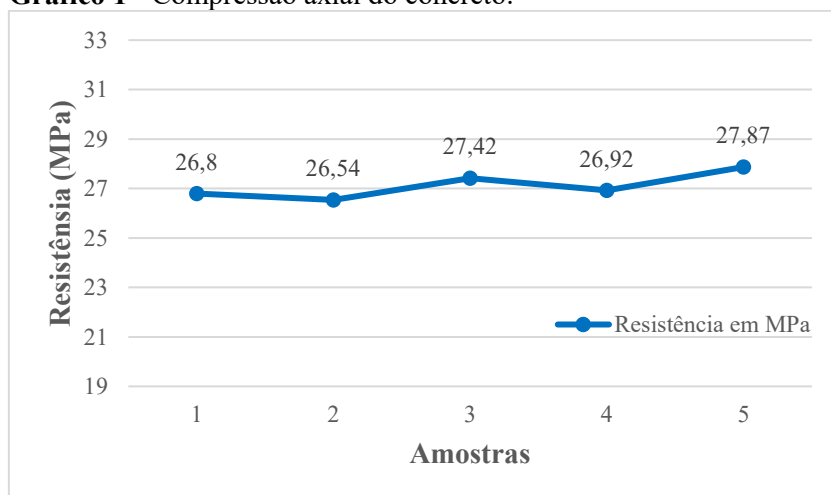
Fonte: Autor (2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à compressão

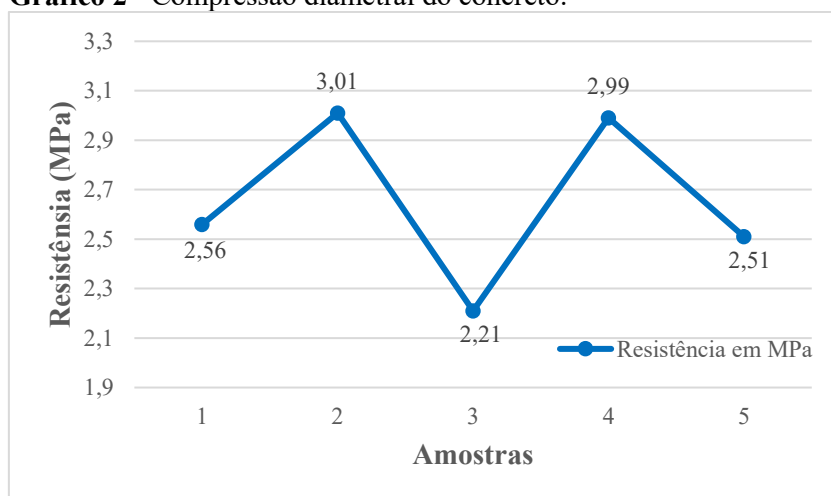
Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral encontram-se, respectivamente, nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Compressão axial do concreto.



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 2 - Compressão diametral do concreto.



Fonte: Autor (2020).

Os resultados do ensaio de compressão axial atingiram uma média de 27,11MPa e os resultados do ensaio por compressão diametral atingiram uma média de 2,65Mpa. Os índices

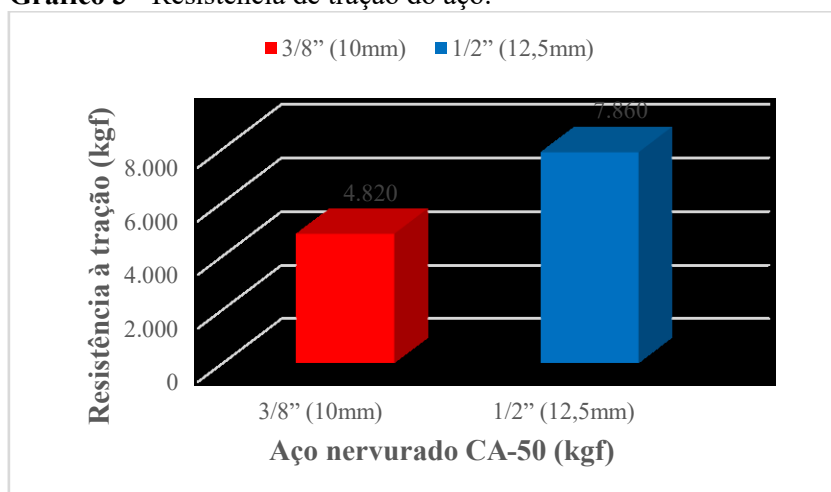


atingidos foram acima do esperado para o traço estipulado no estudo, f_{ck} 25MPa. Somente em uma das amostras no ensaio compressão diametral foi obtida uma resistência abaixo do valor esperado. Os resultados servirão de parâmetro de comparação para os demais ensaios.

4.2 Resistência à tração

No Gráfico 3 pode-se observar a carga média de escoamento para o aço nervurado CA-50 de 3/8" e para o aço CA-50 de 1/2".

Gráfico 3 - Resistência de tração do aço.



Fonte: Autor (2020).

O resultado de tração do aço serviu para determinar a carga média de escoamento. Para o aço nervurado CA-50 de 3/8" (10,0mm), atingiu-se a marca de 4.820 kgf, e para aço nervurado CA-50 de 1/2" (12,5mm), 7.860 kgf, conforme dados apresentados no Gráfico 3.

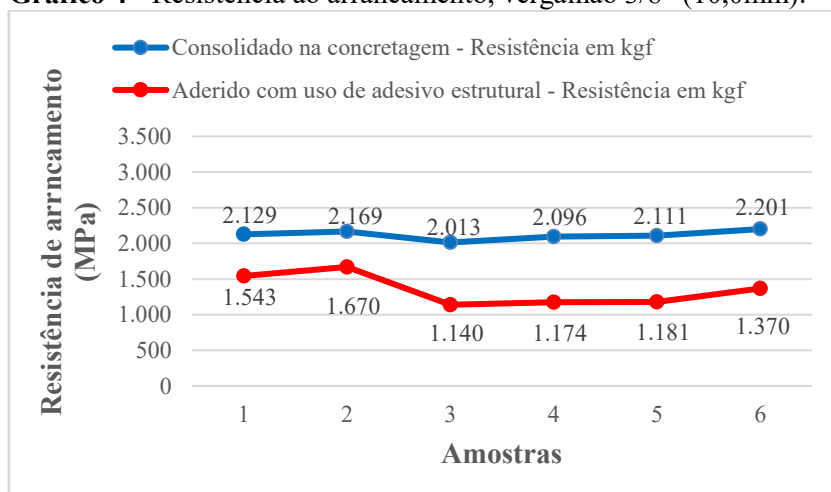
Com base nestas informações, concluiu-se que as forças máximas encontradas para o arrancamento das barras dos corpos de prova foram, na totalidade, inferiores à resistência observada nos testes de tração dos vergalhões, isto é, em nenhum momento do estudo, nos ensaios de aderência, a carga de arrancamento se aproximou da carga de escoamento do aço, desta forma, não houve prejuízo para os resultados dos ensaios.



4.3 Resistência de arrancamento

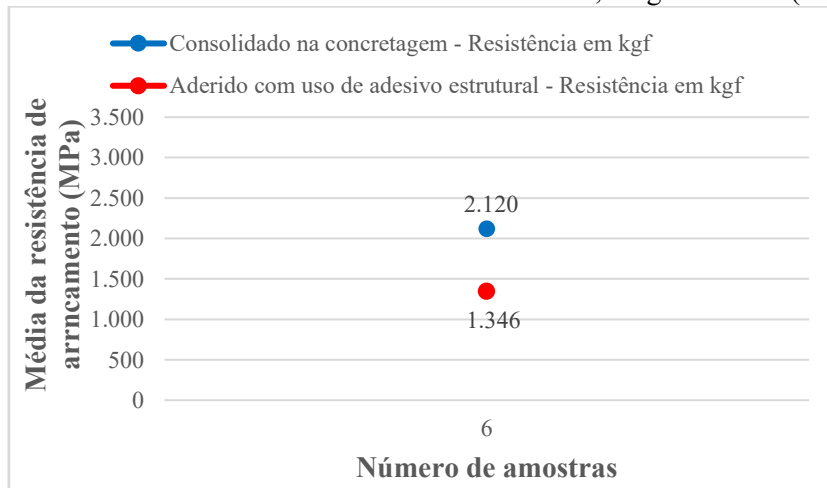
Os exemplares de aço 3/8" (10,0mm), unidos no momento da concretagem, e os exemplares de aço 3/8" (10,0mm), com furo de 13,0mm de diâmetro e profundidade de 100,0mm, que foram solidarizados com adesivo estrutural, apresentaram os resultados conforme Gráfico 4. E, a partir destes resultados, calculou-se a média da resistência ao arrancamento dos elementos, que foram consolidados no momento da concretagem ou aderidos com a utilização de adesivo estrutural, com os seguintes valores de 2.120 kgf, e 1.346 kgf respectivamente, conforme Gráfico 5.

Gráfico 4 - Resistência ao arrancamento, vergalhão 3/8" (10,0mm).



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 5 - Média da resistência ao arrancamento, vergalhão 3/8" (10,0mm).



Fonte: Autor (2020).

Por meio dos resultados apresentados no Gráfico 5 foi possível aferir que os exemplares solidarizados com adesivo estrutural demonstraram resistência bastante inferior aos exemplares unidos no momento da concretagem, conforme demonstrado no Gráfico 4, que apresenta a força necessária para a extração dos vergalhões do interior dos corpos de prova.

A partir da análise da Figura 13 observa-se a diferença de comportamento, decorrente da diferença das cargas exigidas nos ensaios de arrancamento, dos corpos de prova solidarizados no momento da concretagem e dos solidarizados com adesivo estrutural. Em decorrência desta maior quantidade força para o arrancamento do vergalhão do interior dos corpos de prova, os exemplares solidarizados no momento da concretagem, apresentaram maiores danos, fissuramento aparente (Figura 13).

Figura 13 - Grupo com vergalhão 3/8".



Fonte: Autor (2020).

Por sua vez, os solidarizados com adesivo estrutural, apresentaram, aparentemente, uma menor quantidade de danos, visíveis principalmente na região de interface do concreto (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Grupo de CPs com vergalhão 3/8", solidarizados com adesivo.



Fonte: Autor (2020).

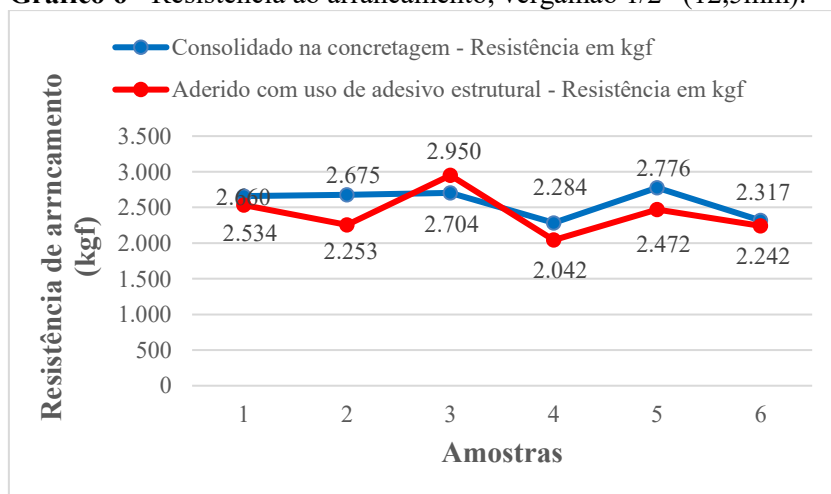
Figura 15 - CP 3/8" com adesivo, rompimento do concreto na interface.



Fonte: Autor (2020).

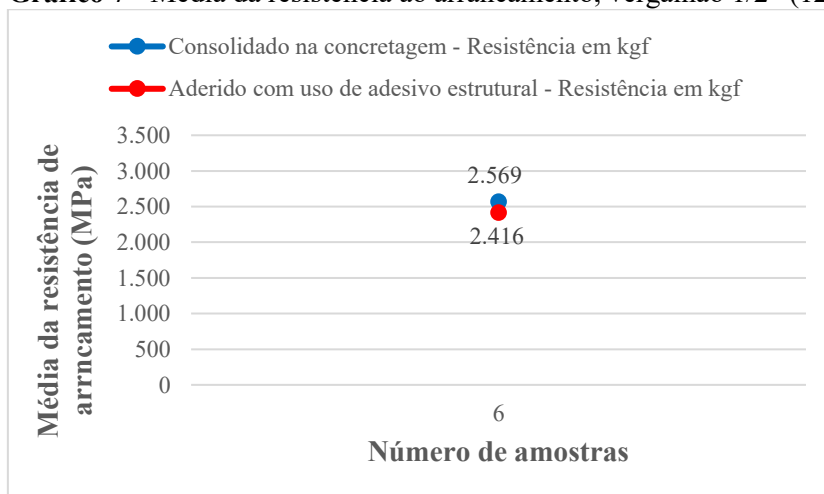
Os resultados obtidos a partir dos exemplares de aço 1/2" (12,5mm), unidos no momento da concretagem, foram aproximados aos obtidos a partir dos exemplares com aço 1/2" (12,5mm), com furo de 16,0mm de diâmetro e profundidade de 100,0mm, que foram solidarizados com adesivo estrutural existente entre aço e concreto, conforme apresentado no Gráfico 6. E, a partir destes resultados, calculou-se a média da resistência ao arrancamento dos elementos, sendo eles, consolidados no momento da concretagem ou aderidos com a utilização de adesivo estrutural, com os seguintes valores de 2.569 kgf, e 2.416 kgf, respectivamente, conforme Gráfico 7.

Gráfico 6 - Resistência ao arrancamento, vergalhão 1/2" (12,5mm).



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 7 - Média da resistência ao arrancamento, vergalhão 1/2" (12,5mm).

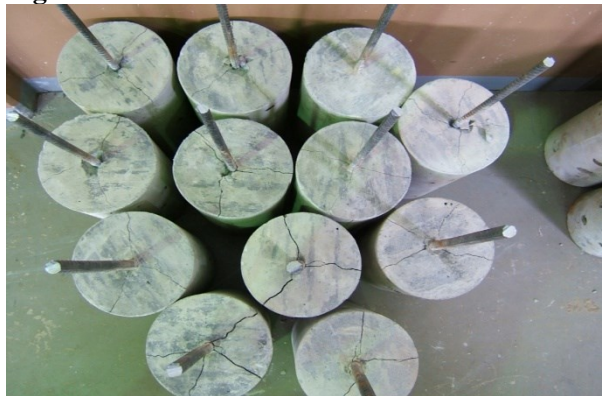


Fonte: Autor (2020).

Os Gráficos 4 e 6, anteriormente apresentados, apresentam a força necessária para realização da extração dos vergalhões do interior dos corpos de prova. Por sua vez, os gráficos 5 e 7 apresentam a média de resistência atingida pelos elementos durante a realização dos ensaios de arrancamento.

Observando as Figuras 16 e 17, verifica-se que o comportamento das amostras, independente da diferença de cargas nos ensaios de arrancamento, seja dos corpos de prova solidarizados no momento da concretagem ou dos solidarizados com adesivo estrutural, apresentaram comportamentos similares quanto as deformações.

Figura 16



Fonte: Autor (2020).

Figura 17



Fonte: Autor (2020).



5. CONCLUSÕES

Os estudos apresentados no presente trabalho objetivaram avaliar a tensão de aderência entre o aço e o concreto, unidos por adesivo estrutural, em comparação à aderência entre o aço e concreto, quando unidos no momento da concretagem, tendo como base os estudos apresentados.

Com isto, inferimos algumas situações distintas:

1. A metodologia empregada nos ensaios de arrancamento das barras de aço apresentou-se adequada, de modo que todos os exemplares expuseram rupturas de formas semelhantes;
2. Os experimentos com o aço 3/8" (10,0mm), com furo de 13,0mm de diâmetro e profundidade de 100,0mm de ancoragem, solidarizados com adesivo estrutural, apresentaram resultados bastante inferiores, quando comparados aos elementos unidos no momento da concretagem, mesmo mantendo a espessura de 3mm da camada de adesivo estrutural entre os elementos, como o realizado nos experimentos com o aço 1/2" (12,5mm), com furo de 16,0mm de diâmetro. Dessa forma, é possível inferir que os resultados obtidos são decorrentes da menor área de contato formada entre a resina epóxi e o concreto. Assim, em função dos resultados obtidos nas condições desse experimento a utilização do adesivo estrutural, poderá ser recomendada desde que, as cargas exigidas em projeto não ultrapassem a resistência de aderência obtidas no experimento;
3. Os experimentos com o aço 1/2" (12,5mm), com furo de 16,0mm de diâmetro e profundidade de 100,0mm de ancoragem, solidarizados com adesivo estrutural, apresentaram resultados próximos aos dos elementos unidos no momento da concretagem, portanto, com base nesses resultados, a utilização do adesivo estrutural poderia ser recomendada, desde que atendam as cargas definidas em projeto.

Desta forma, como sugestões para o desenvolvimento de análises futuras sobre esse estudo, sugere-se determinar uma normatização das relações existentes entre o diâmetro da barra, o diâmetro do furo e a profundidade de ancoragem para que, desta maneira, seja



empregado na engenharia de modo amplo, de maneira confiável, a partir de normativas baseadas nestas relações.

Além disso, a pesquisa apresenta a possibilidade de aprofundamento sobre o tema apontado, pois busca mais esclarecimentos de algum fato que possa se apresentar inconcluso ou que não foi avaliado nos estudos apresentados, pois como já exposto, ainda possibilita muitos questionamentos, como uma determinação mínima e máxima em relação à espessura do adesivo estrutural entre os elementos, como também a determinação de uma área mínima de contato entre o adesivo estrutural e o concreto. Pois está distante de esgotar as possíveis oportunidades referentes a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BODANESE, Ana Letícia. **Caracterização das barras de aço CA-50 produzidas no Brasil**. 129f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Pato Branco, Pato Branco, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11861/1/PB_COECI_2018_2_57.pdf. Acesso em: 23 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro. 1998. Disponível em: <https://vdocuments.site/nbr-nm-67-1998-concreto-determinacao-da-consiste.html>. Acesso em: 06 mai. 2020.

_____. **NBR 6215**. Produtos siderúrgicos - Terminologia. Rio de Janeiro. 2011a. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/37597/nbr6215-produtos-siderurgicos-terminologia>. Acesso em: 23 abr., 2020.

_____. **NBR 7222**. Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2011b. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36322/nbr7222-concreto-e-argamassa-determinacao-da-resistencia-a-tracao-por-compressao-diametral-de-corpos-de-prova-cilindricos>. Acesso em: 06 mai. 2020.

_____. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: https://rotaacessivel.com.br/_files/200000331-8d02e8df9a/Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto.pdf. Acesso em: 15 mar. 2020.

_____. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em:



<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%205738%20-%2015_aula.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

_____. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001290-4323c441bd/NBR%2012655%20-%2015_aula.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

_____. **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018a. Disponível em: <<http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001169-522fc532a8/NBR%205739%20-%20Concreto%20-%20Ensaio%20de%20Compress%C3%A3o%20de%20Corpos-de-pro.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

_____. **NBR 6023**. Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro. 2018b. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/documents/40070/1837975/ABNT+NBR+6023+2018+%281%29.pdf/3021f721-5be8-4e6d-951b-fa354dc490ed>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

_____. **NBR ISO 6892-1: 2013**, versão corrigida 2: 2018. Materiais metálicos - Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro. 2018c. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/43010/nbriso6892-1-materiais-metalicos-ensaio-de-tracao-parte-1-metodo-de-ensaio-a-temperatura-ambiente>>. Acesso em: 19 abr. 2020.

ALMEIDA, Pedro Henrique. **Efeito do tratamento superficial em ligações de aço e concreto com adesivo epóxi**. 109f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/RAOA-BAPKR8/1/302.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

BARBOSA, Paulo Henrique Pires. **Plataforma didática para atividades prática em resistência dos materiais**: Ensaio de tração. 2014. 86f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Manutenção Eletromecânica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia. Disponível em: <http://w2.ifg.edu.br/goiania/mecanica/images/Arquivos/TCC_MECANICA/ata2014-02me_autor_paulo_plataforma_didatica_atividades_praticas_em_rema.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2020.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**, Volume 1. Revisão técnica: Prof. João Fernando Dias. 5ª edição revisada. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 2001.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **ANCORAGEM E EMENDA DE ARMADURAS**. Disciplina de Estruturas de Concreto II – Notas de aula. Mar. 2018. 44f. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Ancoragem.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2020.



DORIA, Mariana Rezende. **Aderência concreto-concreto e aço-concreto em recuperação de estrutura de concreto armado**. 2011. 97f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, da Universidade Federal de Sergipe, Sergipe. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5010/1/MARIANA_REZENDE_DORIA.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

FAG – Centro Universitário FAG. **Manual para Elaboração e Apresentação de Trabalhos Acadêmicos**. 2011. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/novo/arquivos/academico-online/manual-de-normas.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2020.

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Norma de inspeção predial nacional**. 2012. Disponível em: <<http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2020.

MARCELLINO, Narbal. Concreto armado é solução durável e econômica: De fácil acesso e utilização, material é amplamente empregado em diferentes tipos de construções. **AECWeb - Revista digital**. [2013?]. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica/6993>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D. **Aderência e Ancoragem**. Notas de Aula. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Ancoragem.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

SANTANA, Igor Vinícius. **Estudo da influência das fibras metálicas no comportamento da aderência entre barras de aço e concretos de diferentes classes de resistência**. 2014. 248f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-11122014-112929/publico/2014ME_IgorViniciusSantana.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2020.

SANTOS, Paulo Mascarenhas dos. **Comparação de reforço com chapas de aço e fibras de carbono em vigas de concreto armado submetidas à flexão simples**. 2008. 61f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20MASCARENHAS%20DOS%20SANTOS.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2020.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**: Fundamentos teóricos e práticos. 5ª ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blucher Ltda., 1982.

SOUZA, R. H.; TAVARES, M. E; FERNANDES, D. V. 2018, **Avaliação da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi**. Revista IBRACON nº 3, São Paulo, SP, Junho. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/riem/v11n3/pt_1983-4195-riem-11-03-00598.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2020.