



ESTUDO PARA OBTENÇÃO DE GRÁFICO ESCLEROMÉTRICO POR MEIO DE ENSAIOS EM TRAÇOS DE CONCRETO DE ALGUNS MUNICÍPIOS DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

MIOLA, Bruno Paluch¹
PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: O concreto é um dos materiais mais utilizados na atualidade e devido a esse fato, surge a necessidade de um rigoroso controle tecnológico do material. Para atender essa demanda, os ensaios empregados estão se tornando cada vez mais avançados, garantindo assim as propriedades pré-estabelecidas do concreto. Este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um gráfico esclerométrico, por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, utilizando-se traços de concreto confeccionados com agregados de alguns municípios da região oeste do Paraná, para que o mesmo possa servir como parâmetro de comparação para ensaios de esclerometria enfatizando que o gráfico fornecido pelo esclerômetro foi estudado e desenvolvido na Suíça, podendo não fornecer dados condizentes para ensaios realizados em nossa região. Portanto, tal estudo empregou ensaios de caracterização dos agregados adotados, moldagem de corpos de prova dos traços analisados para rompimento em idades pré-determinadas e confecção de blocos prismáticos com a finalidade de efetuar a extração de testemunhos e ensaios esclerométricos na estrutura, para que ao fim pudesse ser obtido um gráfico esclerométrico exponencial de cada idade analisada, e também suas respectivas fórmulas, para serem empregados em futuros ensaios e estudos.

Palavras-chave: compressão, cura, esclerometria, extração, resistência, traço.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é hoje, indubitavelmente, o material mais utilizado no cenário da construção civil brasileira e também o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da água. Tal produto, em conjunto com o aço, torna-se uma excelente solução para inúmeros tipos de estruturas de edificações. Sendo assim, é de suma importância que, em conjunto, sejam realizados constantes ensaios e estudos tecnológicos no material, para que seja garantida a integridade e controle de qualidade do mesmo (FAVARATO *et. al*, 2019).

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

²Docente, Mestre, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.



Segundo Palacios (2012), a necessidade de monitorar a resistência à compressão do concreto emerge por ser o parâmetro mais indicado para verificar e assegurar que a resistência à compressão característica (f_{ck}) empregada na estrutura e está de acordo com os requisitos estabelecidos em projeto, levando em conta que tal resultado pode ser modificado devido a alterações de aplicação, cura e adensamento.

As técnicas de verificação da resistência à compressão em estruturas de concreto, são compostas por programas de ensaios padronizados por normas, sendo eles *in loco* ou em laboratório, geralmente englobando ensaios destrutivos e não destrutivos, variando de acordo ao dano causado à estrutura (VIEIRA FILHO, 2007).

Segundo Castro (2009), como método destrutivo a extração e ensaio à compressão de testemunhos, constituem, juntamente com moldagem de corpos de prova, a técnica mais aceita para determinar a resistência *in loco* do concreto como material estrutural. Nesse seguimento, este ensaio propicia um resultado sobre a resistência do concreto endurecido levando em conta os efeitos das condições reais de execução, acarretando em diferentes resultados em relação à resistência à compressão aferida em corpos de prova de controle.

Porém, em alguns casos opta-se pela utilização de ensaios não destrutivos, sejam por razões de necessidade, inviabilidade ou até mesmo verificação. O ensaio comumente empregado é o de esclerometria, que está parametrizado pela NBR 7584 (ABNT, 2012). O ensaio consiste em medir a resistência superficial do concreto e a correlaciona com a resistência à compressão do mesmo, por meio de um gráfico presente no esclerômetro, que foi desenvolvido pelo engenheiro suíço Ernest Schmidt.

Com essas informações, a justificativa para a realização desse estudo deu-se devido ao fato de que o gráfico utilizado como parâmetro de comparação para o ensaio não destrutivo esclerométrico, foi pensado e desenvolvido nas condições locais do engenheiro Schmidt, na Suíça, sendo utilizados agregados da região para a confecção do concreto, os quais diferem consideravelmente de nossa realidade.

Nesse sentido, a realização deste trabalho acadêmico justificou-se dentro de uma relevância técnica para atender à crescente demanda do ensaio esclerométrico no cenário da construção civil em nossa região, possibilitando a obtenção de resultados mais próximos da



realidade, tendo em vista que o gráfico utilizado para comparação foi desenvolvido por pesquisadores especificamente para alguns municípios do Paraná.

Portanto, a pergunta a ser respondida com a efetuação deste estudo foi a seguinte: Um gráfico esclerométrico confeccionado especificamente para nossa região fornecerá resultados mais próximos da realidade, em comparação ao gráfico original do aparelho?

Este estudo limitou-se à determinação da resistência à compressão por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, utilizando-se traços de concreto confeccionados com agregados provenientes de alguns municípios da região oeste do Paraná.

Conforme todas as informações explanadas anteriormente, este estudo teve como objetivo geral desenvolver um gráfico esclerométrico por meio de ensaios em traços de concreto utilizados em alguns municípios da região oeste do Paraná.

Destaca-se que para que este trabalho científico pudesse ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram apresentados:

- a) Realizar ensaios de caracterização do concreto em seu estado fresco;
- b) Caracterizar os agregados utilizados nos traços de concreto;
- c) Determinar a resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos de concreto;
- d) Verificar a dureza superficial dos concretos em corpos de prova prismáticos via esclerometria para confecção da curva esclerométrica;
- e) Analisar a resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos extraídos de blocos de concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

Segundo Kaefer (1998), o concreto, em sua natureza básica, pode ser definido por material plástico, que é moldado de maneira a atingir a forma desejada antes que inicie o processo de endurecimento, obtendo resistência suficiente para suportar sozinho aos esforços que o solicitam.



De acordo com Helene e Figueiredo (2003), o concreto confeccionado com cimento Portland, fez-se conhecido mundialmente por envolver o material mais adequado para as estruturas, ultrapassando com grandes vantagens alternativas como o aço, madeira e a alvenaria.

O concreto é um dos materiais mais usufruídos no cenário mundial devido a suas diversas características, podendo ser citadas: economia, durabilidade e resistência. Considerado como um material compósito formado essencialmente por três fases: uma matriz de pasta de cimento, outra de agregados e a zona de transição entre matriz e agregado. É comum que seja adicionado ao concreto, aditivos que alterem suas propriedades tanto em estado fresco quanto endurecido (PALACIOS, 2012). Conforme a pesquisa de Bastos (2019), a tecnologia do concreto almeja a proporção ideal entre os variados componentes, visando satisfazer as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade.

2.2 Componentes do concreto

Desde o início da utilização do concreto armado, no século XIX, as construções, obras de arte, rodovias, canais, barragens e tantas outras edificações em concreto simples, armado ou protendido têm suportado as mais diversas sobrecargas e ações do meio ambiente (HELENE e FIGUEIREDO, 2003).

Segundo Metha e Monteiro (2014), concreto é um material compósito que se constitui, fundamentalmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é constituído de uma mistura de cimento hidráulico e água.

Constituindo-se, basicamente, por cimento, água, agregado miúdo (areia natural e/ou artificial) e agregado graúdo (brita ou pedra), o concreto pode envolver adições e aditivos químicos com o intuito de aprimorar ou adaptar suas características básicas (BASTOS, 2019).

Cimento hidráulico, que é chamado dessa forma quando os produtos da hidratação ficam estáveis no ambiente aquoso, é um material seco extremamente fino, formado fundamentalmente de silicatos reativos de cálcio, que desenvolve características aglomerantes como consequência do processo de hidratação, ou seja, de reações químicas entre os minerais da água e do Cimento Portland (METHA e MONTEIRO, 2014).



Bastos (2019), define os agregados como materiais granulosos e inertes que compõem as argamassas e concretos, sendo considerados muito importantes, pois constituem aproximadamente 75% de sua composição e por influenciar em várias de suas características. O autor também classifica os agregados quanto à sua origem, sendo elas, naturais, britados, artificiais e reciclados.

Metha e Monteiro (2014), definem o termo agregado graúdo àquele que se atribui às partículas de agregado maiores que 4,75mm (peneira nº 4), e agregado miúdo refere-se às partículas de agregado menores que 4,75mm, mas maiores que 75µm (peneira nº 200). Pedregulho é o agregado graúdo derivado de fragmentação natural pela desagregação de rochas. A nomenclatura areia é comumente utilizada para agregado miúdo consequente da separação natural ou da britagem da rocha. Brita é o produto resultante da conciliação industrial de seixos rolados, matacões ou rochas.

Um quesito a ser observado na escolha dos agregados refere-se à questão da reação álcali-agregado, que afeta prejudicialmente o comportamento e durabilidade do concreto, podendo acarretar em sérias consequências para a estrutura (BASTOS, 2019). Por fim, a argamassa nada mais é que uma mistura de areia, cimento e água, ou seja, um concreto sem agregado graúdo (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Quanto mais as construções evoluem, maior torna-se a carência tecnológica do concreto, para que consiga atender às suas necessidades especiais, sejam elas: modificar a pega e a característica de endurecimento da pasta de cimento, aditivos redutores de água, incorporadores de ar, ou até mesmo adições minerais como, por exemplo, a pozolana, que visa a redução de fissuração por tensões térmicas no concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2.3 Propriedades no estado fresco

Segundo Palacios (2012), a trabalhabilidade, ou seja, a fluidez, é uma das particularidades mais importantes, pois ela determina o esforço necessário para a execução lançamento, adensamento e acabamento da estrutura de concreto, visando à perda mínima da homogeneidade que é afetada pelo consumo de cimento do traço, consumo de água, propriedades dos agregados, adições e aditivos.



Ainda sobre trabalhabilidade, consistência e coesão são as duas propriedades que a definem. A primeira indica a deformabilidade do concreto sob ação de sua própria massa e pode ser constatada por meio do ensaio de abatimento de troco de cone, parametrizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), já a segunda indica a capacidade de manter a homogeneidade do traço, restando água e os agregados graúdos na pasta (PALACIOS, 2012).

Seguindo nessa linha de pensamento, a água é um dos principais influenciadores no quesito trabalhabilidade, pois, além de ser um líquido utilizado para a confecção de concreto, ela interfere diretamente em toda a vida útil da estrutura, seja para o bem ou mal. Desconsiderando ações provenientes de carregamentos, a maioria das ações que atuam no concreto em serviço envolvem a água, tais como: pega, hidratação, exsudação, retração por secagem, relação água cimento, carbonatação, entre outros (NEVILLE, 2016).

De acordo com Guimarães (2005), a segregação pode ser definida como perda da constância da distribuição dos componentes do concreto fresco, basicamente nas etapas de transporte, lançamento e adensamento. O autor ainda completa que existem dois tipos de segregação: um tipo ocorre quando a mistura é muito pobre, fazendo com que os agregados maiores tendem a sedimentar mais que os elementos menores e a outra é a separação da pasta dos agregados maiores, sendo causada pela água em excesso.

Palacios (2012), define a exsudação como separação de parte da água de mistura de concreto, a qual encaminha-se para a superfície do concreto recém adensado. Parte dessa água também pode concentrar-se na parte inferior dos agregados graúdos e da armadura, afetando prejudicialmente a aderência e resistência do concreto.

Quanto à cura do concreto, tem como objetivo impedir a perda de umidade e controle da temperatura até alcançar a resistência almejada. Pode-se afirmar também que merece uma atenção especial, pois quando má executada, pode causar a falta de resistência e durabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2.4 Propriedades no estado endurecido

A análise da capacidade de suportar uma força é essencial na escolha de um material construtivo. Deformação é definido pela alteração sofrida no comprimento da estrutura; a carga



é chamada de tensão, que é especificada como a força por unidade de área. Conforme difere as atuações de tensões no material, elas distinguem-se, podendo gerar: compressão, tração, flexão, cisalhamento e torção. A associação tensão-deformação geralmente é explícita em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e tenacidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Castro (2009) define que, em uma situação ideal, o estado endurecido do concreto pode ter várias características, porém, a resistência à compressão axial é seguramente a propriedade mais importante. Tal afirmação justifica-se por três principais fatores: pela associação direta entre a resistência do concreto e a capacidade de suportar cargas aplicadas; pela praticidade e agilidade de execução do ensaio, que é amparado pela NBR 5739 (ABNT, 2018) e, por fim, pela alternativa de elaboração de correlações entre a resistência e outras propriedades do concreto.

A resistência à compressão é capaz de indicar com agilidade as variações de qualidade de um concreto, sendo que qualquer alteração que seja feita na uniformidade, natureza e proporcionalidade dos materiais poderá ser apontada por uma modificação na resistência. Para que tais dados sejam monitorados e estudados, deve ser feito o controle tecnológico do concreto através do ensaio de resistência à compressão axial (PALACIOS, 2012).

2.5 Ensaaios destrutivos e não destrutivos

2.5.1 Ensaaios destrutivos

A resistência à compressão dos concretos é analisada por meio de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, moldados conforme instruções da NBR 5738 (ABNT, 2015). O ensaio, para determinar tal resistência, é efetuado por meio de uma prensa hidráulica mecânica com idade de 28 dias a partir do dia da moldagem, conforme orienta a NBR 5739 (ABNT, 2018), podendo também ser requerido, em casos especiais, rompimento em idades diferentes (BASTOS, 2019).

De acordo com Palacios (2012), historicamente a resistência real da estrutura de concreto, ou seja, a resistência *in loco*, tem sido estimada mediante ensaios destrutivos e rompimento de testemunhos extraídos diretamente da estrutura, este último possui o



embasamento da NBR 7680 (ABNT, 2015). O autor também define que, para a escolha do tipo de ensaio, alguns quesitos devem ser levados em conta, tais como: custos para realização; acessibilidade do local; efeito do possível dano causado à estrutura.

2.5.2 Ensaaios não destrutivos

Palacios (2012), comenta que os ensaios não destrutivos são determinados como métodos que, geralmente, não comprometem o desempenho da estrutura quando submetida ao ensaio. Por questões de acessibilidade financeira e facilidade de execução, um dos ensaios mais aderidos é a esclerometria, que fornece dados para verificação da dureza superficial da estrutura, que é parametrizado pela NBR 7584 (ABNT, 2012).

Mehta e Monteiro (2014), definem o método de avaliação de dureza superficial em impactar uma superfície de concreto, de maneira padrão, com uma determinada energia de impacto e então medir o rebote ou a reflexão de uma massa padrão após o impacto no concreto. O método que mais se utiliza é aquele por meio do esclerômetro de reflexão de Schmidt, que é composto por um martelo conduzido por mola que conduz uma carga a um êmbolo.

“O método do esclerômetro de Schmidt é de uso simples e oferece um meio rápido e barato de avaliar a uniformidade do concreto endurecido *in loco* [...]” (MEHTA e MONTEIRO, 2014, pág. 425).

3. METODOLOGIA

3.1 Seleção e caracterização dos materiais

Todos os materiais e equipamentos para realização do presente estudo foram fornecidos por uma usina de concreto da região, que também cedeu o espaço para execução do trabalho.



3.1.1 Cimento

Para o desenvolvimento deste trabalho foi adotado o cimento CP II-F 40 Votorantim, sendo o mais utilizado pela empresa citada anteriormente e devido à grande quantidade necessária para o estudo, o material foi armazenado em silos próprios para estocagem.

3.1.2 Agregados

Os agregados aplicados foram areia natural, areia artificial, brita 0 (pedrisco) e brita 1, subsequentemente caracterizados conforme os seguintes ensaios:

- a) Massa específica aparente seca do agregado graúdo, parametrizado pela NBR NM 53 (ABNT, 2009);
- b) Massa específica aparente seca do agregado miúdo, parametrizado pela NBR NM 52 (ABNT, 2009);
- c) Teor de material pulverulento, parametrizado pela NBR NM 46 (ABNT, 2003);
- d) Granulometria, parametrizada pela NBR NM 248 (2003).

As propriedades físicas dos agregados utilizados neste estudo são demonstradas no Apêndice A e as características granulométricas da areia artificial, areia natural, brita 0 (pedrisco) e brita 1, ilustradas nos Apêndices B a E, respectivamente.

3.1.3 Aditivos

A fim de atingir o abatimento que se enquadra na classe de consistência S100, utilizou-se o aditivo polifuncional Muraplast FK 330, pertencente à marca MC-Bauchemie Brasil e foi aplicada a dosagem recomendada pelo fabricante.

3.2 Definição dos traços de concreto

Para a realização do estudo, optou-se pela utilização dos concretos agregados ao Grupo I da NBR 8953 (ABNT, 2015), para possibilitar a obtenção um gráfico com mais pontos



possíveis. Cada traço foi confeccionado com base na classe de consistência S100, como mencionado anteriormente, e os consumos de cada um dos materiais estão explícitos no Apêndice F.

3.3 Procedimentos de moldagem, extrações testemunho e cura dos concretos

3.3.1 Execução dos blocos prismáticos e moldagem dos corpos de prova

Para elaboração do trabalho foram confeccionados 7 (sete) blocos prismáticos de dimensões 30 cm de altura, 65 cm de largura e 150 cm de comprimento, obedecendo as dimensões mínimas que possibilitam os ensaios de esclerometria e as extrações testemunho, segundo orientações da NBR 7584 (ABNT, 2012) e NBR 7680 (ABNT, 2015), respectivamente. Cada um dos blocos foi fabricado utilizando-se chapas compensadas plastificadas, que é um dos materiais mais empregados no cenário da construção civil da região.

Cada um dos blocos foi concretado com um traço diferente com o intuito de maximizar a precisão da curva do gráfico esclerométrico, e os concretos utilizados estão descritos no Grupo I da NBR 8953 (ABNT, 2015). Todos os traços foram produzidos por uma balança automatizada instalada na usina de concreto acima citada e transportados por caminhões betoneira até o local da concretagem para otimizar o tempo, execução e qualidade do concreto. Visando obter a maior semelhança de aplicabilidade possível, foi fixado um *slump* de 160 mm, obtido pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, parametrizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Quanto à moldagem dos corpos de prova, o procedimento adotado foi executado seguindo as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015), que orienta a realizar o rompimento das amostras nas idades de 3, 7, 28, 63 e 91 dias. Porém, levando em conta as diretrizes da NBR 7584 (ABNT, 2012), que recomenda não executar ensaios de esclerometria em estruturas com idades inferiores a 14 dias e superiores a 60 dias, com o intuito de englobar ambas as normas, foram adotadas as seguintes idades para os procedimentos técnicos deste estudo: 7, 14, 28, 63 e 91 dias. Na Figura 01, observa-se os corpos de prova e os blocos prismáticos concretados.

Figura 01: Corpos de prova: (a) cilíndricos e (b) blocos prismáticos



Fonte: Autor, (2020).

No Apêndice G, pode-se observar a quantidade de amostras confeccionadas para cada idade que, posteriormente, foram submetidas ao ensaio de rompimento para obtenção dos valores de resistências características à compressão.

Enfatizou-se, assim, que tais amostras serviram apenas como base para análise e monitoramento do desenvolvimento da resistência dos traços estudados em comparação com os resultados das esclerometrias e extrações testemunho.

3.3.2 Procedimentos para extração e rompimento de testemunhos

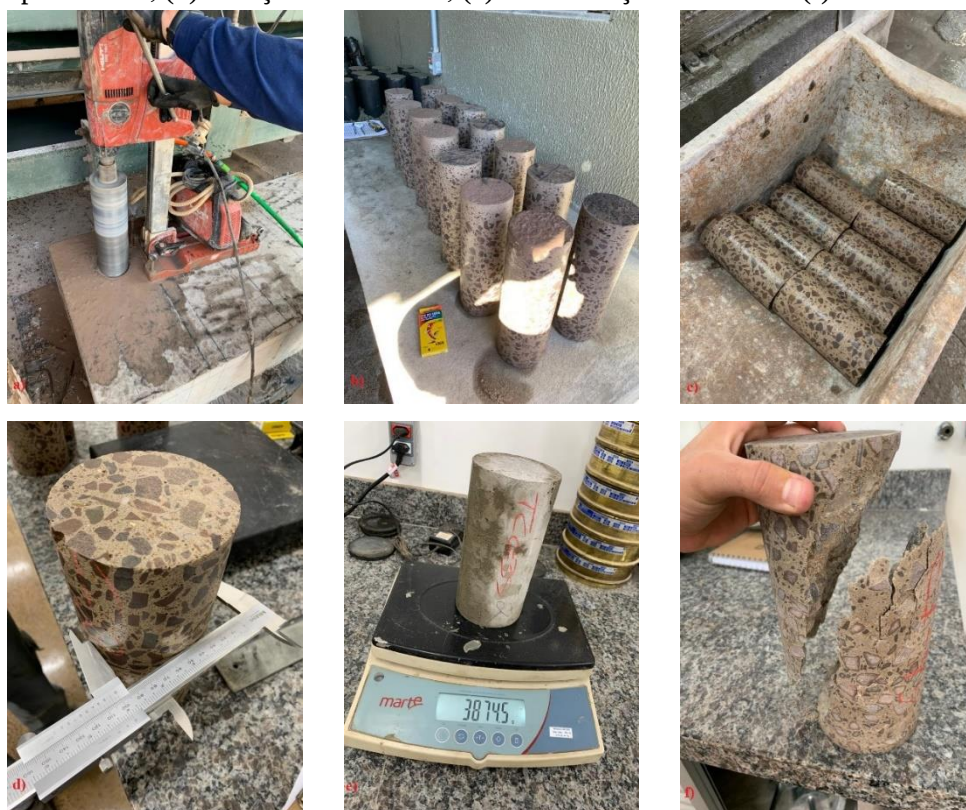
O processo de extrações de testemunhos foi executado mediante recomendações da NBR 7680 (ABNT, 2015). Em relação à amostragem, foi definida a extração de 2 (dois) testemunhos de cada bloco prismático, para cada uma das respectivas idades determinadas, seguindo orientação da norma citada acima. A dimensão adotada dos testemunhos foi de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para se igualar o máximo possível dos corpos de prova padronizados, porém a relação altura x diâmetro (h/d) deve ser verificada para que os resultados possam ser considerados válidos. Para obter as dimensões mencionadas acima, os testemunhos passaram por um processo de corte, priorizando o meio da amostra, pois sua altura inicial era de 30 cm.

Após o corte da estrutura, a NBR 7680 (ABNT, 2015) também determina que após o processo de retificação de ambos os extremos da amostra, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015),

deve ser feita a devida caracterização do testemunho determinando sua massa, suas medidas e finalmente seu volume. Na Figura 02 observa-se o procedimento realizado, desde a extração de testemunho até o rompimento do mesmo. A execução do ensaio de resistência à compressão deve ser mediante as diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2018) e para que seja possível a correlação dos resultados obtidos, deve-se submetê-los aos fatores de correção k_1 a k_4 , extraídos da NBR 7680 (ABNT, 2015). Tendo obtido os valores acima citados, aplica-se a Equação 01 para correção do valor.

$$f_{ci, \text{ ext}} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \times f_{ci, \text{ ext, inicial}} \quad (01)$$

Figura 02: Procedimentos realizados: (a) processo de extração, (b) extrações testemunho, (c) extrações após o corte, (d) aferição de diâmetro, (e) determinação de massa e (f) testemunho rompido



Fonte: Autor, (2020).

Para verificar a uniformidade dos resultados, a norma ainda orienta que seja calculada a média aritmética com os resultados corrigidos e caso a divergência entre os valores seja maior



que $\pm 15\%$, deve ser analisado com mais rigor e considerar um possível descarte e repetição do ensaio.

3.3.3 Procedimentos de cura adotados

Quanto ao processo de cura das amostras, para os corpos de prova cilíndricos e prismáticos, foram seguidas as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015), que consiste em estocá-los em superfície horizontal rígida e livre de vibrações, por pelo menos 24 horas para cilíndricos, e 48 horas para prismáticos. Todos os corpos de prova foram devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, a fim de evitar a perda de água do concreto.

Seguindo as orientações da NBR 5738 (ABNT, 2015), após a identificação das amostras cilíndricas, elas foram mantidas em uma câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade do ar relativa superior a 95%, e posteriormente, retiradas da câmara quando atingida as idades de ensaio. Os blocos prismáticos foram submetidos à cura úmida durante os primeiros 7 dias, após isso às condições normais do ambiente.

Para as extrações de testemunhos, seguiu-se as diretrizes da NBR 7680 (ABNT, 2015), que determina que se a estrutura não estiver em contato com água, as amostras devem ser mantidas no laboratório, à temperatura ambiente, por no mínimo 72 horas. Caso a estrutura esteja em contato com água, os testemunhos devem ser acondicionados em tanque de cura ou câmara úmida por no mínimo 72 horas, rompendo os saturados. Ambas situações obedecendo aos critérios de temperatura da NBR 5738 (ABNT, 2015).

3.4 Ensaio destrutivo

3.4.1 Preparação da amostra por meio de retificação

Quando atingida a idade desejada, o corpo de prova foi submetido à retificação de suas extremidades, que visa corrigir imperfeições de sua moldagem inicial. O equipamento utilizado é composto por sistema de fixação do corpo de prova através do uso de cilíndrico pneumático e de ar comprimido. O corte/retífica do corpo de prova foi realizado por meio de motor com



disco diamantado com sistema sobe e desce acionado por cilindro pneumático e controlado por fim de curso superior e inferior. Após esse processo, a amostra está pronta para ser submetida ao ensaio de compressão axial.

3.4.2 Ensaio de compressão axial

O ensaio para obtenção da resistência característica à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018), como mencionado anteriormente, em corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm, e também nas extrações testemunho, nas idades de 7, 14, 28, 63 e 91 dias, sendo ensaiadas duas amostras para cada uma das idades. Todas as amostras foram devidamente retificadas, conforme especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015), visando evitar possíveis falhas em sua superfície que possa interferir no resultado final da resistência potencial do concreto.

A NBR 5739 (ABNT, 2018) ainda deixa explícito os tipos de rompimento possíveis dos corpos de prova ensaiados, sendo que o tipo que identificaria a melhor situação possível seriam os tipos cônica e cônica afastada em 25mm do capeamento. A prensa utilizada para os ensaios foi da marca InterMetric, modelo iM Unique 2223, classe 1, servo controlada e com capacidade máxima de 1.000kN. Os ensaios foram realizados visando manter a velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s, que se enquadra nos critérios da NBR 5739 (ABNT, 2018). Na Figura 03 observa-se os processos que foram realizados até o rompimento dos corpos de prova.

Figura 03: Procedimentos realizados: (a) corpos de prova após a retirada da cura, (b) capeamento de extremidades e (c) corpo de prova rompido



Fonte: Autor, (2020).



3.5 Ensaio não destrutivo

O ensaio não destrutivo empregado foi executado por meio da avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, ou seja, pela esclerometria. Tal ensaio é parametrizado pela NBR 7584 (ABNT, 2012) e consiste essencialmente de uma massa-martelo, que, impulsionada por uma mola, choca-se através de uma haste com ponta em forma de calota esférica com a estrutura ensaiada.

O primeiro passo para execução do ensaio é a calibração do equipamento, que é executada por meio de, no mínimo, 10 golpes com o equipamento em uma bigorna especial de aço, com intenção de aferir os índices esclerométricos obtidos, sempre se adequando aos parâmetros definidos pela norma anteriormente citada. Ao fim, obtém-se um coeficiente de correção “k” que é necessário para dar continuidade ao ensaio.

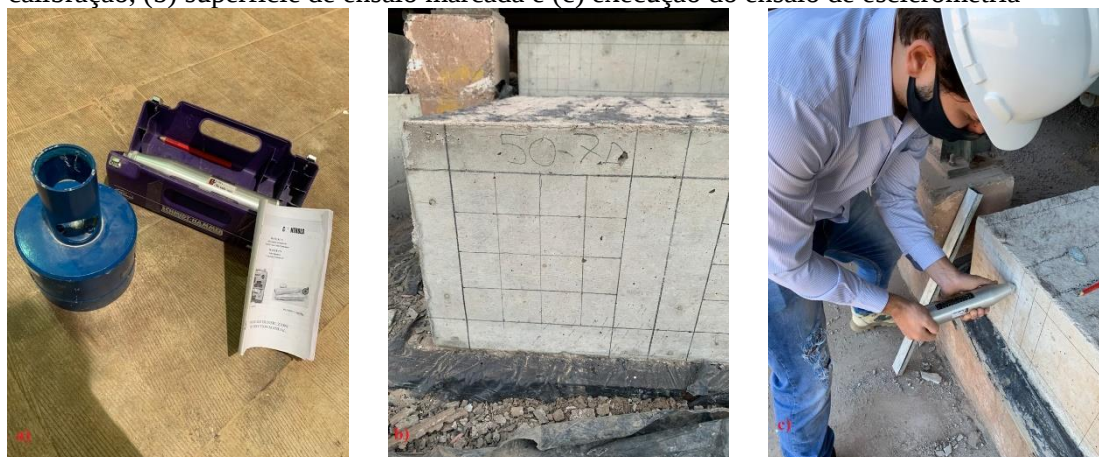
Com o equipamento calibrado, pode-se dar sequência ao ensaio. Para iniciá-lo, é indispensável que seja feito o polimento com movimentos circulares da superfície da estrutura, seja ele manual ou mecânico. Toda a poeira e pó superficial devem ser removidos a seco.

Ainda seguindo orientações da NBR 7584 (ABNT, 2012), a área de ensaio deve se distanciar no mínimo 50 mm de suas extremidades e estar compreendida entre 8.000 mm² e 40.000mm². Foram realizados 16 impactos, que necessitam estar uniformemente distribuídos na área de ensaio, tendo em mente que não é permitido realizar mais de um golpe no mesmo ponto, se isso acontecer, o segundo valor não deve ser considerado. A norma recomenda desenhar um reticulado e aplicar o esclerômetro nos locais limitados por ele, identificando a área ensaiada.

Por fim, calcula-se a média aritmética dos 16 valores individuais dos índices esclerométricos. Foi descartado todo e qualquer valor que se distancie em mais de 10% do valor médio obtido e calcula-se uma nova média aritmética, necessitando possuir, no mínimo cinco valores individuais. Caso tal parâmetro não seja respeitado, o ensaio dessa área deve ser desconsiderado. Observa-se na Figura 04 os equipamentos utilizados e o procedimento de ensaio executado.



Figura 04: Equipamentos utilizados e procedimentos realizados: (a) equipamentos utilizados para calibração, (b) superfície de ensaio marcada e (c) execução do ensaio de esclerometria



Fonte: Autor, (2020).

O valor final obtido denomina-se índice esclerométrico médio da área de ensaio e é representado por I_e . O índice esclerométrico médio efetivo ($I_{e\alpha}$), de cada área de ensaio, obtém-se pela Equação 02:

$$I_{e\alpha} = k \times I_e \quad (02)$$

A NBR 7584 (ABNT, 2012), determina também que caso seja necessário, deve-se aplicar outros coeficientes de correção devido à influência de outros fatores, tais como: cura, umidade, carbonatação, idade ou outro, ficando a critério dos profissionais envolvidos.

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

4.1 Ensaio esclerométricos

Em posse dos resultados dos ensaios de esclerometria, que estão demonstrados no Apêndice H, pôde-se observar a progressão dos valores dos índices esclerométricos ao longo de todas as idades analisadas conforme ilustra o Gráfico 01.

Gráfico 01: Evolução dos índices esclerométricos médios



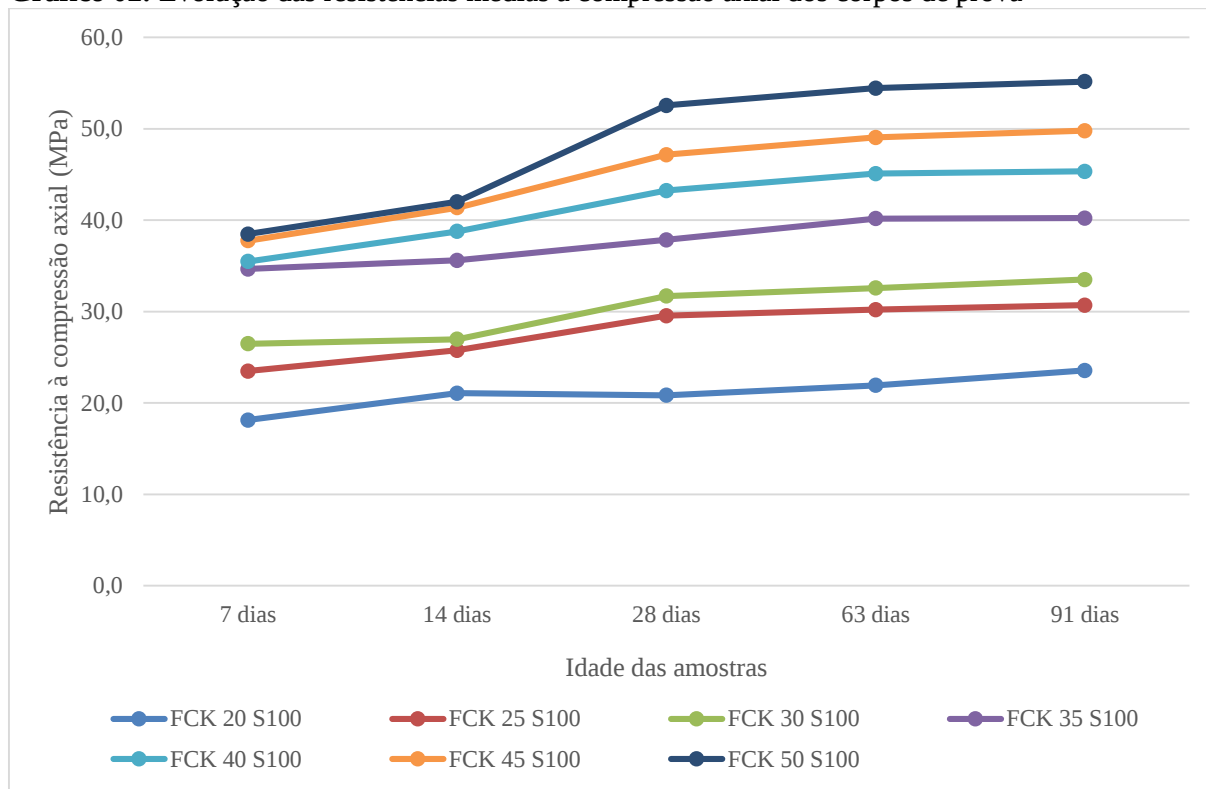
Fonte: Autor, (2020).

Notou-se que cada um dos traços analisados obteve um desenvolvimento constante de seu índice esclerométrico médio durante todo o período de ensaios, indicando que está diretamente relacionado ao desenvolvimento da resistência à compressão axial dos blocos prismáticos. Deve-se levar em consideração que a NBR 7584 (ABNT, 2012) indica que este ensaio, para se tornar válido, é recomendado ser efetuado em idades não inferiores a 14 dias e não superiores a 60 dias.

4.2 Rompimento de corpos de prova

Conforme mencionado anteriormente, os corpos de prova serviriam para controle das resistências à compressão axial dos blocos prismáticos. No Gráfico 02, pode-se observar a evolução das resistências médias à compressão axial das amostras.

Gráfico 02: Evolução das resistências médias à compressão axial dos corpos de prova



Fonte: Autor, (2020).

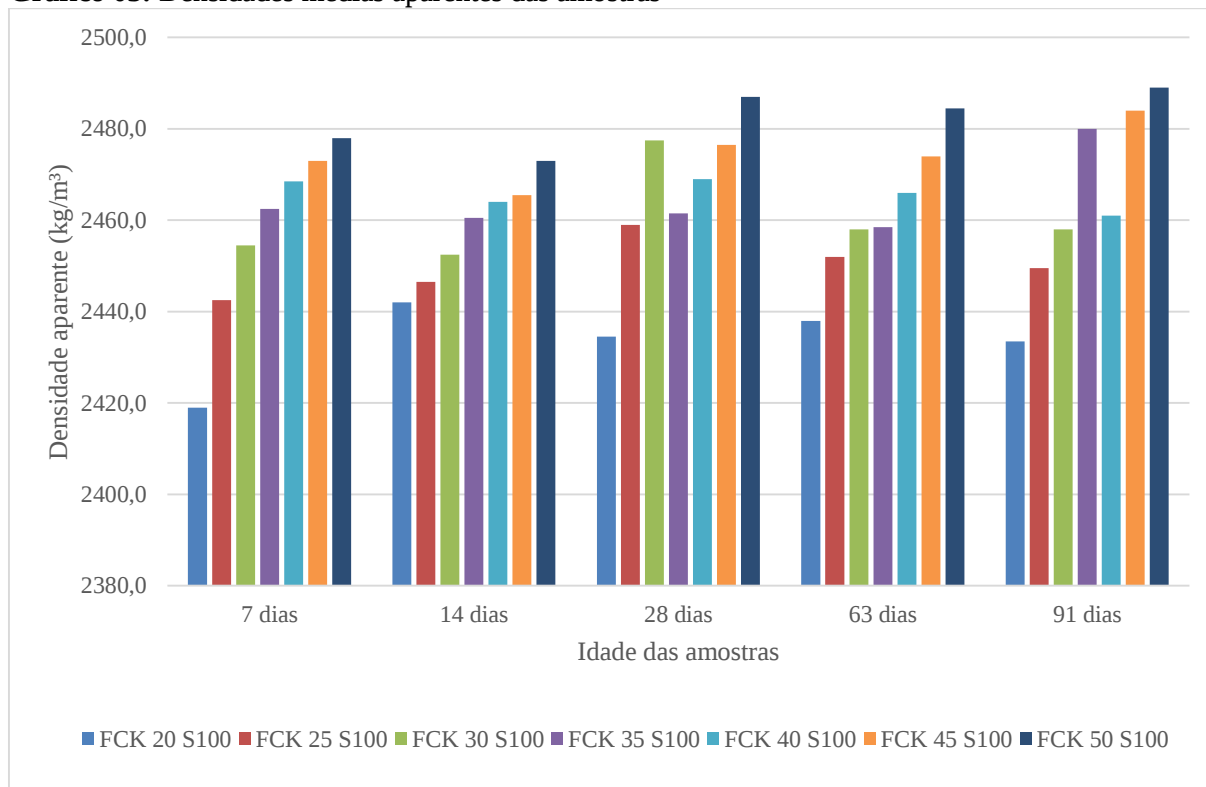
Pôde-se analisar que as amostras obtiveram um crescente desenvolvimento em relação à sua resistência média até os 28 dias de idade, e na maior parte dos blocos, notou-se uma estabilização das resistências aos 63 dias. Os resultados obtidos podem ser observados no Apêndice I.

Observou-se também comportamentos diferentes entre os traços analisados, em relação ao ganho de resistência ao longo de suas idades ensaiadas, pois apesar de todos eles utilizarem os mesmos materiais para sua confecção, existem fatores que podem influenciar nesse quesito, sendo eles, por exemplo: densidade do concreto, posicionamento da amostra na câmara úmida durante sua cura, processo de moldagem dos corpos de prova, etc.

No Gráfico 03, observa-se as densidades médias de cada um dos blocos em sua respectiva idade, enfatizando que a vibração do concreto foi efetuada por meio de vibração mecânica, utilizando-se vibrador de concreto.



Gráfico 03: Densidades médias aparentes das amostras



Fonte: Autor, (2020).

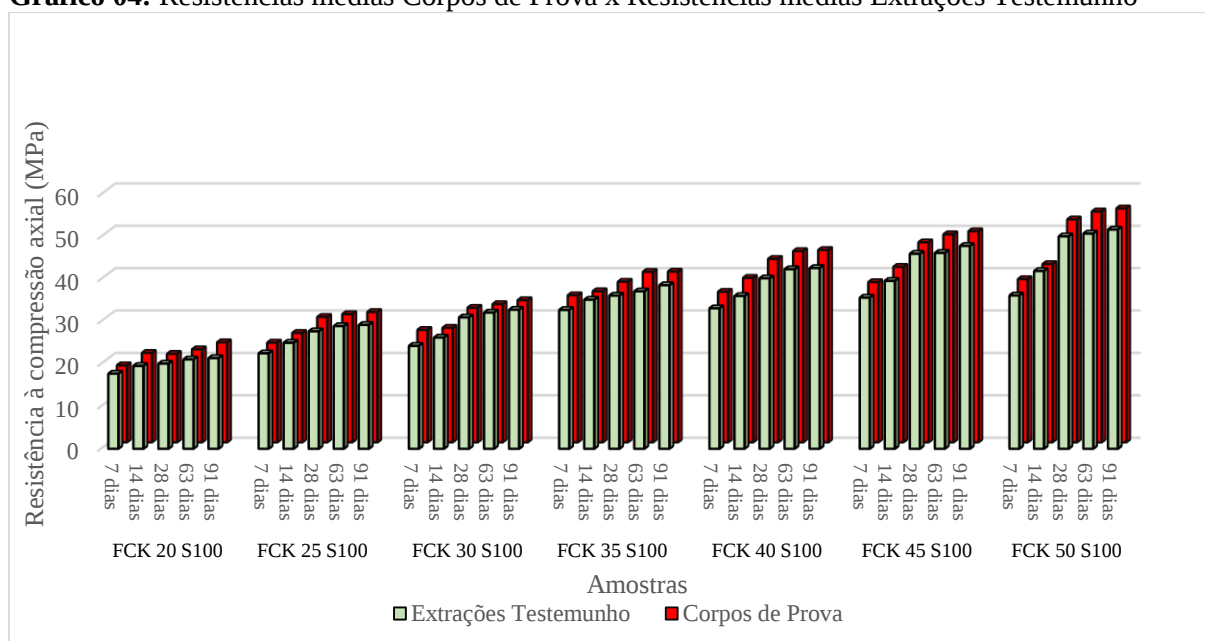
Observou-se que os traços analisados obtiveram um crescente desenvolvimento nas densidades médias aparentes em relação às idades ensaiadas, comprovando que a densidade da amostra está diretamente ligada à resistência à compressão axial da mesma. As divergências analisadas entre as densidades médias dos traços de concreto, puderam ser justificadas por um processo de adensamento mecânico efetuado de forma divergente entre eles, causando assim as discrepâncias acima.

4.3 Rompimento de extrações testemunho

No Gráfico 04, pode-se observar a comparação entre os resultados de rompimento dos corpos de prova e das extrações testemunho. Deve-se enfatizar que a NBR 7680 (ABNT, 2015) indica que testemunhos extraídos de estruturas que não estiverem em contato com água, devem ser mantidos expostos ao ar, em ambiente de laboratório, por no mínimo 72h antes de ser ensaiada. Porém, tal quesito não pôde ser atendido, pois necessitava-se que a estrutura estivesse

maciça para a realização do ensaio esclerométrico na data pré-determinada. Os resultados obtidos nos ensaios de rompimento das extrações testemunho podem ser observados no Apêndice J.

Gráfico 04: Resistências médias Corpos de Prova x Resistências médias Extrações Testemunho



Fonte: Autor, (2020).

Após a finalização das extrações e rompimento de todos os testemunhos, observou-se que os resultados médios foram concordantes em relação aos valores obtidos por meio do rompimento dos corpos de prova, portanto, foi possível dar continuidade ao estudo.

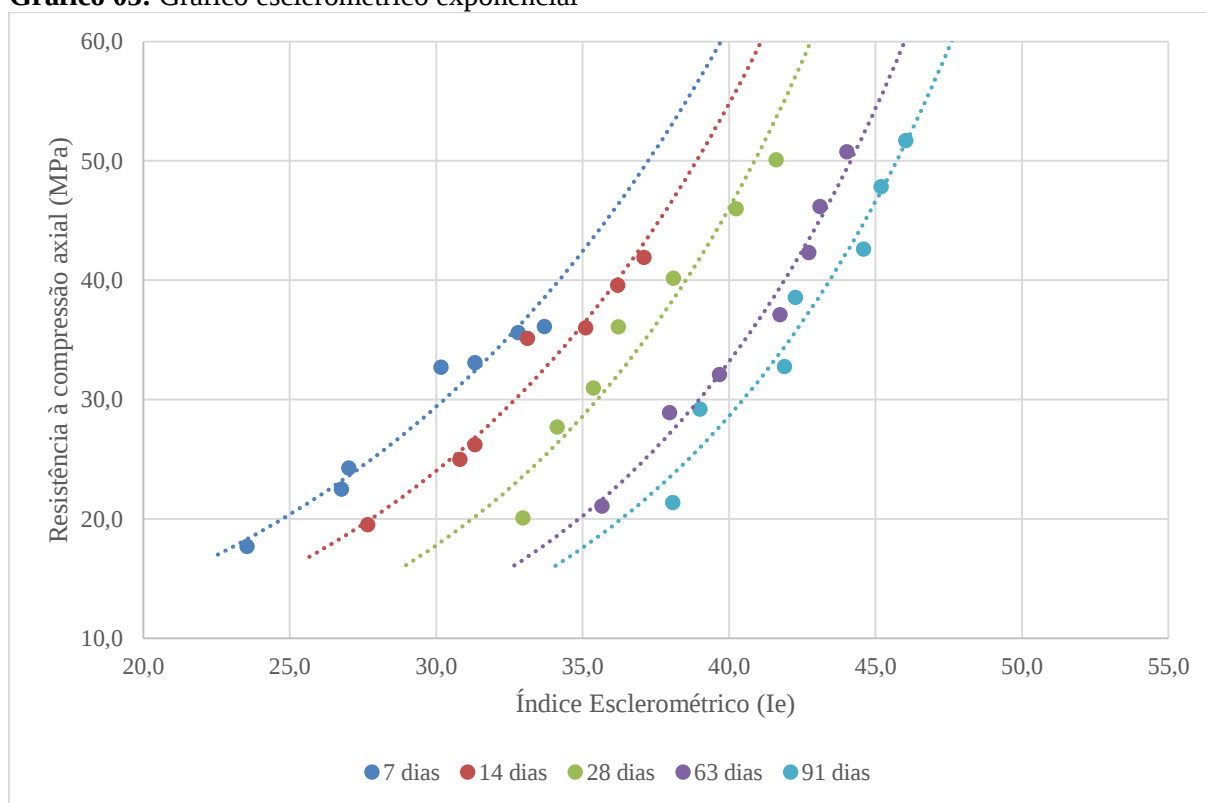
Observou-se no Gráfico 04, a progressão das resistências das amostras analisadas durante todas as idades, e notou-se a divergência entre os valores de resistência à compressão axial entre os corpos de prova e as extrações testemunho, constatando a diferença entre o comportamento do concreto submetido a um controle tecnológico de laboratório e da estrutura “*in loco*”. Analisando os resultados obtidos, confirmou-se o que foi analisado por Silva, *et al.* (2011), que em casos onde amostras analisadas possuem diferentes tipos de cura, os resultados podem variar consideravelmente entre elas, pois quanto maior a efetividade do processo de cura da estrutura, melhor será o resultado obtido.



4.4 Gráfico esclerométrico

Finalizando todos os ensaios e análises, utilizando-se de correlações entre os resultados, obteve-se o gráfico esclerométrico final. Tal gráfico dividiu-se em curvas referentes a cada uma das idades ensaiadas, conforme está explícito no Gráfico 05.

Gráfico 05: Gráfico esclerométrico exponencial



Fonte: Autor, (2020).

Observou-se no Gráfico 05 a dispersão dos resultados obtidos entre as coordenadas descritas, desenvolvendo assim, por meio de linhas de tendências, as curvas esclerométricas de cada uma das idades estudadas.

Após a obtenção do gráfico esclerométrico, realizou-se uma comparação com a pesquisa de Machado (2005), em que o mesmo argumenta que o resultado obtido pelo gráfico não é um valor pontual, e sim um resultado que se encontra em uma faixa de valores de resistência à compressão axial, sendo elas nomeadas como limite inferior (5% abaixo) e limite



superior (5% acima), ficando a critério do responsável pelo ensaio adotar o melhor valor para sua situação.

Finalizando a confecção do gráfico, obteve-se as equações exponenciais de cada uma das curvas, visando a obtenção de um resultado de resistência à compressão axial por meio de sua respectiva fórmula. Na Tabela 01, pode-se observar as equações obtidas.

Tabela 01: Equações das curvas

Idade	Equação
7 dias	$y = 3,2492e^{0,0734x}$
14 dias	$y = 2,0242e^{0,0825x}$
28 dias	$y = 1,0256e^{0,0951x}$
63 dias	$y = 0,6374e^{0,0988x}$
91 dias	$y = 0,58e^{0,0975x}$

Fonte: Autor, (2020).

Após a obtenção das fórmulas, percebeu-se a possibilidade de aplicar interpolações lineares para obtenção de resultados de resistências à compressão axial de amostras com idades diferentes do presente estudo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos ensaios esclerométricos, observou-se que os índices provenientes de cada uma das idades analisadas obtiveram uma crescente evolução dos resultados das esclerometrias durante o período de estudo. Dessa forma, pôde-se afirmar que em situações consideradas adequadas para o ensaio, os índices esclerométricos sofreram um acréscimo ao longo das idades pré-determinadas da amostra.

Notou-se que nos corpos de prova confeccionados para o embasamento deste estudo, obteve-se o desempenho almejado, pois as amostras apresentaram um desenvolvimento crescente e constante em relação às resistências à compressão axial, sendo elas visivelmente superiores às extrações de testemunho ensaiadas. Portanto, pôde-se afirmar que as amostras foram de suma importância para a realização do trabalho, pois apresentavam dados efetivos para as comparações necessárias. Quanto às extrações de testemunho, observou-se que



representavam valores de resistência mais condizentes com a estrutura do bloco em si, pois em comparação aos corpos de prova, o procedimento de cura foi executado referente a uma estrutura “*in loco*”. Contudo, os resultados obtidos foram satisfatórios para o prosseguimento do estudo.

Por fim, após serem executadas as correlações entre os resultados logrados, obteve-se o gráfico esclerométrico, e o mesmo possibilitou o desenvolvimento das fórmulas exponenciais para cada uma das curvas desenvolvidas. Em suma, espera-se que este estudo sirva como um parâmetro mais adequado, comparando com o gráfico original do aparelho, para ensaios esclerométricos em concretos desenvolvidos na região em que o estudo embasou-se. Bem como em trabalhos futuros, por exemplo, em que sugere-se a alteração do material utilizado para confecção da fôrma ou a adição de um novo método de ensaio não destrutivo para comparações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR NM 33, Concreto - Amostragem de concreto fresco. ABNT, 1998.

_____**NBR NM 46, Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. ABNT, 2003.**

_____**NBR NM 52, Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. ABNT, 2009.**

_____**NBR NM 53, Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. ABNT, 2003.**

_____**NBR NM 67, Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. ABNT, 1998.**

_____**NBR NM 248, Agregados - Determinação da composição granulométrica. ABNT, 2003.**

_____**NBR 5738, Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. ABNT, 2015.**

_____**NBR 5739, Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. ABNT, 2018.**

_____**NBR 7211, Agregados para concreto – Especificação. ABNT, 2019.**



_____**NBR 7584**, Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de Ensaio. ABNT, 2012.

_____**NBR 7680**, Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. ABNT, 2015.

_____**NBR 8953**, Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. ABNT, 2015.

_____**NBR 12655**, Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. ABNT, 2015.

CASTRO, E. **Estudo da resistência a compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

FAVARATO, L.F.; ROSÁRIO, C.V.S.; ALZUGUIR, J.P.C., KERKOFF, M.A.; AOUN, T.Z.; VIEIRA, G.L. **Avaliação teórico-experimental da resistência à compressão de concretos através de ensaios não destrutivos**. Revista Matéria, v.24, n.4, 2019.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da resistência a compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GUIMARÃES, A. T. Propriedades do Concreto Fresco. **Resistência Mecânica do Concreto**. In: Isaia, G. C. (Ed.). Concreto – Ensino, Pesquisas e Realizações. 1ª ed. São Paulo: SmartSystem Consulting, 2005. Cap. 16.

HELENE, P., FIGUEIREDO, E. P. Introducción. In: HELENE, P., PEREIRA, F. (Ed.). **Manual de Rehabilitación de estructuras de hormigón – Reparación, refuerzo y protección**. São Paulo, 2003.

KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998.

MACHADO, M. **Curva de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª ed. Ibracon: São Paulo, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PALACIOS, M. D. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SILVA, E., *et al.* **Influência da cura na resistência do concreto à compressão**. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon: Florianópolis, 2011.

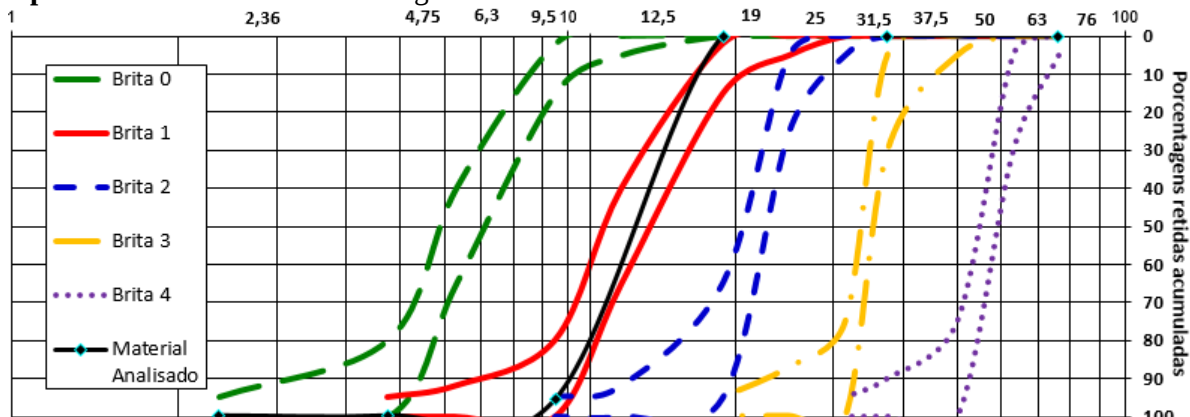


Apêndice A: Características físicas dos agregados.

Características físicas	Areia Artificial	Areia Natural	Brita 0	Brita 1
Módulo de Finura	2,85	2,35	5,49	6,94
Dimensão Máxima (mm)	2,36	2,36	9,5	19
Teor de Material Pulverulento (%)	17,00	0,70	2,38	1,89
Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³)	2,95	2,65	2,92	2,92

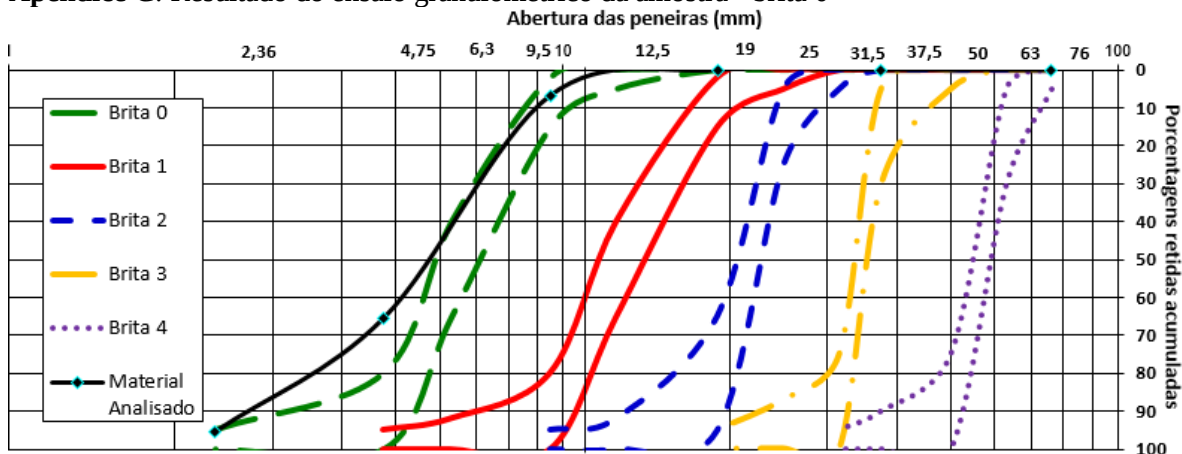
Fonte: Autor (2020).

Apêndice B: Resultado do ensaio granulométrico da amostra - brita 1



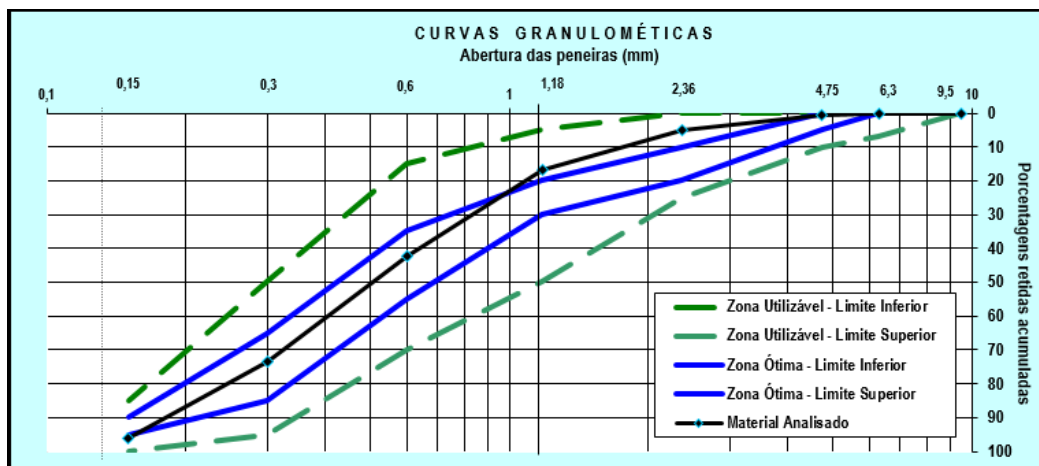
Fonte: Autor, (2020).

Apêndice C: Resultado do ensaio granulométrico da amostra - brita 0



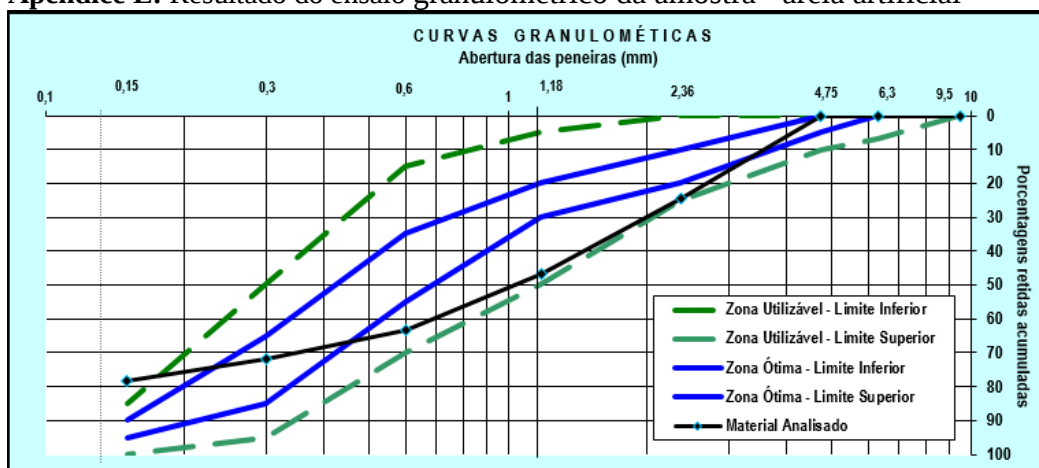
Fonte: Autor, (2020).

Apêndice D: Resultado do ensaio granulométrico da amostra - areia natural



Fonte: Autor, (2020).

Apêndice E: Resultado do ensaio granulométrico da amostra - areia artificial



Fonte: Autor, (2020).

Apêndice F: Especificação dos traços utilizados

Tipo de Concreto	Abatim. Final (mm)	Brita.1 (kg/m³)	Brita.0 (kg/m³)	Areia Art. (kg/m³)	Areia Nat. (kg/m³)	Cimento (kg/m³)	Aditivo Poli. (kg/m³)	Água (lt)	Fator A/C ≤	Teor Arg.
FCK 20 - S100	160	740	315	150	810	235	2,00	185	0,79	0,531
FCK 25 - S100	160	740	315	150	780	265	2,25	185	0,70	0,531
FCK 30 - S100	160	740	315	100	815	280	2,38	185	0,66	0,531
FCK 35 - S100	160	740	320	100	770	320	2,72	185	0,58	0,529
FCK 40 - S100	160	740	320	100	755	340	2,89	185	0,54	0,530
FCK 45 - S100	160	740	320	100	735	360	3,06	185	0,51	0,530
FCK 50 - S100	160	740	320	100	715	380	3,23	185	0,49	0,530

Fonte: Autor, (2020).



Apêndice G: Idades para rompimento das amostras.

<i>Idades para rompimento</i>						
Traços (Grupo I)	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias	Qtde. Total CP's
	Qtde. de CP's	Qtde. de CP's	Qtde. de CP's	Qtde. de CP's	Qtde. de CP's	
C20	2	2	2	2	2	10
C25	2	2	2	2	2	10
C30	2	2	2	2	2	10
C35	2	2	2	2	2	10
C40	2	2	2	2	2	10
C45	2	2	2	2	2	10
C50	2	2	2	2	2	10
Total						70

Fonte: Autor, (2020).

Apêndice H: Resultados esclerometrias

<i>Resultados Esclerometrias (Ie)</i>					
Traço	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
FCK 20 S100	23,54	27,66	32,96	35,67	38,08
FCK 25 S100	26,77	30,81	34,14	37,97	39,01
FCK 30 S100	27,02	31,32	35,37	39,67	41,89
FCK 35 S100	30,17	33,12	36,22	41,74	42,26
FCK 40 S100	31,32	35,11	38,10	42,72	44,59
FCK 45 S100	32,80	36,20	40,25	43,11	45,19
FCK 50 S100	33,70	37,10	41,61	44,02	46,03

Fonte: Autor, (2020).



Apêndice I: Resultados resistências à compressão axial - Extrações Testemunho

Resultados Resistências à Compressão Axial - Extrações Testemunho (MPa)						
Traço		7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
FCK 20 S100	Amostra 1	17,87	20,03	19,94	21,19	21,67
	Amostra 2	17,51	19,00	20,19	20,93	21,06
FCK 25 S100	Amostra 1	22,19	24,57	27,93	29,51	29,39
	Amostra 2	22,80	25,40	27,43	28,29	28,98
FCK 30 S100	Amostra 1	24,61	26,21	30,49	32,31	32,72
	Amostra 2	23,89	26,20	31,44	31,88	32,80
FCK 35 S100	Amostra 1	33,19	35,27	36,74	37,77	37,20
	Amostra 2	32,25	34,98	35,45	36,45	39,93
FCK 40 S100	Amostra 1	32,82	36,78	40,29	42,76	42,32
	Amostra 2	33,37	35,22	40,07	41,89	42,90
FCK 45 S100	Amostra 1	36,15	38,93	45,21	46,02	47,72
	Amostra 2	35,08	40,23	46,77	46,35	47,96
FCK 50 S100	Amostra 1	36,42	42,64	48,53	49,68	51,76
	Amostra 2	35,82	41,18	51,66	51,83	51,64

Fonte: Autor, (2020).

Apêndice J: Resultados Resistências à Compressão Axial - Corpos de Prova

Resultados Resistências à Compressão Axial - Corpos de Prova (MPa)						
Traço		7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
FCK 20 S100	Amostra 1	18,89	20,86	20,18	21,10	22,22
	Amostra 2	17,38	21,27	21,51	22,75	24,92
FCK 25 S100	Amostra 1	24,25	26,03	28,46	29,64	31,06
	Amostra 2	22,73	25,52	30,63	30,78	30,36
FCK 30 S100	Amostra 1	26,15	26,78	31,55	33,39	33,91
	Amostra 2	26,82	27,19	31,87	31,76	33,11
FCK 35 S100	Amostra 1	34,95	35,28	37,34	40,24	39,19
	Amostra 2	34,38	35,95	38,38	40,13	41,29
FCK 40 S100	Amostra 1	35,61	39,72	41,47	43,40	44,99
	Amostra 2	35,36	37,84	45,03	46,79	45,70
FCK 45 S100	Amostra 1	37,92	40,58	47,76	48,72	49,35
	Amostra 2	37,60	42,17	46,56	49,40	50,23
FCK 50 S100	Amostra 1	38,31	41,61	52,81	54,35	54,82
	Amostra 2	38,64	42,44	52,32	54,56	55,55

Fonte: Autor, (2020).