

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR - MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
ROBERVAL PERFETTO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO COM CIMENTO
***PORTLAND* COM APLICAÇÃO DE “FILLER” CALCÁRIO**

FORMIGA – MG
2018

ROBERVAL PERFETTO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO COM CIMENTO
PORTLAND COM APLICAÇÃO DE “FILLER” CALCÁRIO

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil do UNIFOR – MG,
como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof.^a Esp. Mariana
Del Hoyo Sornas

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

P438 Perfetto, Roberval.
Análise da viabilidade técnica do concreto com Cimento Portland com
aplicação de "Filler" Calcário / Roberval Perfetto. – 2018.
42 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro

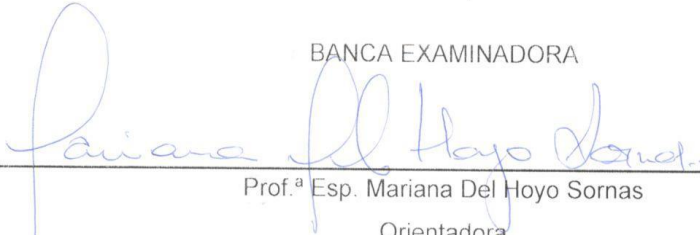
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

Roberval Perfetto

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO COM CIMENTO
PORTLAND COM APLICAÇÃO DE "FILLER" CALCÁRIO

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil do UNIFOR – MG,
como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Civil.

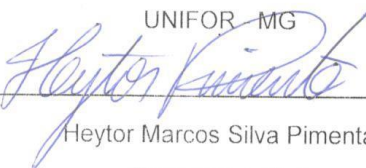
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas
Orientadora



Prof.^a Dra. Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR – MG


Heytor Marcos Silva Pimenta
Engenheiro Civil

Formiga, 01 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre guiando e iluminando meus caminhos e por me proporcionar chegar ao final de mais uma caminhada.

A meus familiares, que tornaram possível a concretização desta caminhada.

À minha Orientadora, pela presteza, sabedoria, transmissão de conhecimentos e auxílio imprescindível para a concretização deste estudo.

À Coordenadora do curso de Engenharia Civil, por ter a paciência com a nossa pessoa e nos dar o direcionamento, caminho para a conclusão deste curso.

A Abengoa Construção Ltda pela compreensão nos momentos difíceis desta caminhada e a oportunidade de participar diretamente neste estudo.

A todos os amigos e familiares cujos nomes não estão expressos em palavras, mas estão impressos no meu coração, seja pelo apoio, pelo carinho, ou simplesmente pela existência.

Agradeço a todos que souberam compreender minhas renúncias, minhas faltas e a minha ansiedade.

RESUMO

O fíller é um material resultante dos processos de britagem nas indústrias extrativistas de calcário da região de Arcos/MG, onde tem valor insignificante de mercado e geralmente não é descartado de forma correta, podendo trazer riscos ao homem e à natureza. A engenharia, com estudos relacionados ao material, conseguiu provar que pode oferecer benefícios se inserido no concreto com função de aditivo mineral. Em dosagem relativa, pode aumentar a resistência e gerar economia com redução de custos do cimento e na fabricação do concreto. Este trabalho tem como propósito demonstrar de forma clara como o concreto reage se o fíller de calcário for incorporado à mistura na sua composição em percentual dosado em relação ao peso do cimento. Foram moldados corpos de prova de concreto utilizando cimento *Portland* em laboratório utilizando o traço 1:3:3, com fator água cimento de 0,65. Foram moldados três corpos de prova para cada percentual de fíller em frações de 12%, 10%, 8%, 5% e 0% em relação ao peso do cimento. Estes corpos de prova foram rompidos com 28 dias de cura, chegando-se aos seguintes resultados: 0% obteve 19,24 MPa; 5% obteve 25,43 MPa; 8% obteve 22,49 MPa; 10% obteve 21,48 MPa e 12% obteve 16,51 MPa. Os estudos realizados foram baseados em referências teóricas e normas da ABNT que foram citadas no desenvolvimento do trabalho. Foi comprovado que, após o rompimento dos corpos de prova, a aceitação do fíller de calcário em substituição parcial do cimento é viável. Os testes obtidos comprovaram um aumento considerável na resistência do concreto para a concentração de 5% em relação ao peso do cimento. Concluiu-se, através dos testes realizados e dos resultados obtidos em laboratório, que é possível usar o fíller como adição mineral no concreto de cimento *Portland*.

Palavras chave: Adição de Mineral. Redução de custos. Resistência à compressão.

ABSTRACT

Filler is a material resulting from crushing processes in the limestone extractive industries of the Arcos / MG region, where it has insignificant market value and is not usually discarded in a correct way, posing risks to man and nature. The engineering, with studies related to the material, has been able to prove that it can offer benefits if inserted in the concrete with function of mineral additive. In relative dosage, it can increase the resistance and generate savings with cost reduction of the cement and the manufacture of the concrete. The purpose of this work is to demonstrate clearly how the concrete reacts if the limestone filler is incorporated into the mixture in its composition as a percentage in relation to the weight of the cement. Concrete specimens were molded using Portland cement in the laboratory using the 1: 3: 3 trace, with water cement factor of 0.65. Three specimens were molded for each percentage of filler in fractions of 12%, 10%, 8%, 5% and 0% in relation to the weight of the cement. These specimens were ruptured with 28 days of curing, with the following results: 0% obtained 19.24 MPa; 5% yielded 25.43 MPa; 8% obtained 22.49 MPa; 10% obtained 21.48 MPa and 12% obtained 16.51 MPa. The studies were based on theoretical references and ABNT norms that were cited in the development of the work. It has been proved that, after the breaking of the specimens, the acceptance of the limestone filler in partial replacement of the cement is feasible. The tests obtained showed a considerable increase in the concrete resistance to the concentration of 5% in relation to the weight of the cement. It was concluded, through the tests performed and the results obtained in the laboratory, that it is possible to use the filler as a mineral addition in Portland cement concrete.

Keywords: Addition of Mineral. Reduced costs. Compressive strength.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais adições minerais empregadas no concreto convencional.	24
Figura 2 - Pó de pedra estocado no pátio da pedreira.....	25
Figura 3 - Traço do concreto.....	30
Figura 4 - <i>Slump Test</i>	31
Figura 5 - Montagem dos corpos de prova.....	32
Figura 6 - Cura inicial do concreto.....	32
Figura 7 - Cura dos CP's.....	33
Figura 8 - Rompimento dos corpos de prova.....	34
Gráfico 1 - Gráfico dos resultados dos <i>Slump's</i>	35
Gráfico 2 - Resultados em MPa dos corpos de prova.....	36
Tabela 1 - Principais componentes do concreto (agregados e aglomerantes)	15
Tabela 2 - Tabela de traços utilizados nos experimentos.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO₂ - Anidrido carbônico ou gás-carbônico
CP - Corpo de prova
C-S-H - Silicato de cálcio hidratado.
CV - Cinza Volante
Fck - Resistência Característica do Concreto à compressão
Fcj - Resistência à compressão axial de dosagem do concreto
MPa - Mega Pascal
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem
ASTM - American Society for Testing and Materials

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.2 Justificativa	13
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
2.1 Concreto	14
2.1.1 Definições	14
2.1.2 Insumos constituintes	14
2.1.3 Propriedades do concreto no estado fresco	16
2.1.4 Propriedades do concreto no estado endurecido	17
2.1.5 Processo de execução	18
2.2 Adições e aditivos	20
2.2.1 Adições de minerais	20
2.2.2 Aditivos	23
2.3 Filler calcário	24
2.3.1 Definição	25
2.3.2 Extração	25
2.3.3 Característica	26
2.3.4 Aplicação	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Materiais	28
3.2 Dosagem	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A introdução de resíduo “filler” calcário na construção civil vem crescendo gradativamente, conforme vêm se revelando os estudos. Estes resultados positivos são observados na área econômica assim como na sustentabilidade ambiental. Este tipo de reciclagem é um bom caminho para a redução dos impactos ambientais que estão ocorrendo no planeta, que vem sofrendo com o desenvolvimento dos grandes centros. De acordo com Leite (2001), nos últimos anos, a utilização de resíduos de obras da construção civil vem sendo utilizada mundialmente, incentivadas por questões políticas, econômicas e autossustentáveis. A construção civil hoje é considerada a área que mais consome matérias primas naturais, sendo que a extração do calcário não é matéria prima renovável, conseqüentemente contribuindo para a degradação do meio ambiente. O concreto é o material mais consumido na indústria da construção civil mundialmente. Este é constituído por cimento *Portland*, brita, areia e água. Segundo explica Metha e Monteiro (2008), o consumo de concreto é o maior entre todos os materiais, ficando apenas atrás do consumo de água.

Conforme Campello (2008), a indústria do cimento é responsável por 5% da emissão de gás carbônico na atmosfera em todo o mundo. Para se ter uma ideia, para se produzir uma tonelada do principal elemento de composição do cimento, o clínquer, este processo libera na atmosfera a mesma quantidade de CO₂, ou seja, uma tonelada de CO₂. O cimento é o principal material na construção de obras, tanto de grande e pequeno porte. O custo do cimento com relação ao valor final da obra gira em torno de 7% a 8%, segundo Teixeira (2008).

Como explanado anteriormente, para se ter o produto final, cimento *Portland*, são necessárias matérias primas não renováveis, entre elas o calcário. Portanto, é de suma importância encontrar meios de utilizar os resíduos da mineração para fins de utilização parcial na substituição do cimento. Como estes resíduos são geralmente de baixo valor no mercado, comparados aos agregados tradicionais, este valor será refletido no valor final da obra e contribuindo automaticamente com o meio ambiente. O material que se está estudando, o filler calcário, é considerado por alguns especialistas como uma solução barata para substituir os agregados miúdos no concreto e este processo já é utilizado em vários países rotineiramente. No Brasil, segundo Andriolo (2005), o pó de pedra (filler) vem sendo estudado e

utilizado desde os anos 80, como por exemplo, na construção da Usina Hidroelétrica de Itaipu, no estado do Paraná, e com o avanço dos estudos e novos procedimentos, o pó de pedra vem sendo utilizado mais frequentemente na construção civil.

Para este estudo, o material aditivo mineral o “filler” calcário, que é um resíduo da extração mineral do calcário, quando adicionado ao concreto, melhora a cura, preenchendo as pequenas fissuras, automaticamente melhorando a resistência do concreto até determinadas porcentagens em substituição ao cimento *Portland* e, conseqüentemente, contribuindo para o meio ambiente e reduzindo o valor final da obra, pois este aditivo mineral (filler) é de baixo custo. Também é considerado “filler” calcário o pó de pedra, pó de sílica e pó de calcário, segundo Neville (1997). No Brasil há uma grande concentração destas indústrias que produzem este tipo de resíduo, principalmente nas regiões onde estão instaladas as grandes indústrias de cimento.

1.1 Objetivos

Esse tópico tem por finalidade retratar quais são os objetivos do presente trabalho, sendo eles objetivo geral e objetivos específicos, conforme descritos a seguir.

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade da adição do “filler” calcário na composição do concreto convencional, substituindo gradualmente o cimento *Portland* e verificando suas principais propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, através de ensaios técnicos.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Preparar corpos de prova, com diferentes traços e diferentes adições de “filler” calcário.

- Avaliar a viabilidade da adição de “filler” calcário em substituição ao cimento *Portland*, por meio da realização de ensaios técnicos, abatimento e resistência à compressão.

1.2 Justificativa

De acordo com John (2007), a indústria cimenteira é responsável por lançar aproximadamente 10% das emissões de CO₂ no Brasil, sendo estes somados a outros 1.000 kg de CO₂ que são resultantes do processo de produção de uma tonelada de clínquer, devido ao uso de combustíveis que são queimados durante a calcinação do calcário. Dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC (2010) corroboram com os dados acima ao afirmar que a indústria do cimento é a maior geradora de CO₂ a nível mundial, sendo responsável por 5% de toda emissão de CO₂ no planeta.

Frente a esta problemática, este estudo justifica-se ao demonstrar a importância do uso do “filler” calcário em “substituição” ao cimento, assim como pode-se contribuir para a redução de emissão de CO₂ na atmosfera e colaborando com o meio ambiente. O “filler” calcário é pouco conhecido e usado no Brasil e seu custo é baixo, proporcionando redução no custo final da obra. Segundo Gorninski (1996), o uso do “filler” calcário aumenta a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, tornando-o um composto de excelente qualidade e acabamento, preenchendo os espaços vazios, devido à sua granulometria e impermeabilidade.

Regiões onde a exploração de rocha natural é abundante traz benefícios, mas traz também grandes impactos ambientais. Hoje estas regiões ainda não estão preocupadas com a possibilidade da escassez desse recurso. Olhando por outro lado, fica a preocupação com o descarte deste material, que em sua grande parte é amontoado em torno dos depósitos das indústrias de mineração e que acabam sendo levadas pela chuva para rios e lagos, causando danos às pessoas, à fauna e flora, principalmente se estiverem na forma seca e pulverulenta.

Na Europa, Estados Unidos e alguns países da Ásia, esses resíduos de pó do calcário (filler) já são utilizados há algum tempo, como material alternativo na construção civil, conseqüentemente trazendo grandes benefícios, tais como: redução no consumo de matéria prima, redução no consumo de energia elétrica, além de reduzir o impacto ao meio ambiente.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do trabalho proposto, através do embasamento teórico obtido por meio de pesquisas em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso e experimentos já realizados.

2.1 Concreto

Neste item são apresentadas as definições de “concreto”, os insumos que o constituem, as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, além do processo de execução.

2.1.1 Definições

O concreto é um composto resultante do processo de uma mistura de materiais (cimento, areia, brita e água) podendo conter aditivos que também influenciam o seu desempenho (MORAES; LOPES, 2010). A dosagem de seus componentes ou traço deve atender às condições exigidas de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são as propriedades fundamentais do concreto (RIBEIRO et al., 2000).

Para Mehta e Monteiro (2008), o concreto consiste em um tipo de material, que apresenta em sua composição um meio contínuo aglomerante, no qual são inseridas partículas ou fragmentos de agregados que, ao serem misturados oferecerão condições de plasticidade que facilitam a realização de operações de manuseio, tão necessárias ao seu lançamento, adquirindo, por meio das reações aglomerantes e água, coesão e resistência.

2.1.2 Insumos constituintes

Os principais componentes do concreto são: o cimento *Portland*, materiais constituídos de calcário extraídos das pedreiras, que são fragmentados e moídos até tomar a forma pulverulenta, em seguida, misturados com silicatos e aluminatos de cálcio, alumínio e ferro formando uma espécie de farinha (PORTO VIEIRA, 2005).

Os insumos constituintes do cimento, são passados por uma imensa caldeira cilíndrica chamada de forno de calcinação onde são aquecidos rotativamente a 1500°C derretendo-se parcialmente e quebrando as moléculas que se recombina formando um componente marmorizado que é chamado de “Clínquer”. O “Clínquer”, uma vez frio, é misturado com gesso e novamente pulverizado resultando no cimento *Portland* (GABRICH, 2008).

Conforme Mehta e Monteiro (2008), o concreto possui em sua constituição básica, aglomerante e partículas ou fragmentos que são agregados.

Petrucci (2005) ressalta que os agregados utilizados no concreto são materiais granulares, cuja função é otimizar características específicas do mesmo, tais como a retração e a capacidade de resistência à abrasão. Os agregados graúdos utilizados podem ser representados por britas, seixos rolados entre outros e, o agregado miúdo é a areia (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Ainda de acordo com Mehta e Monteiro (2008) a água a ser adicionada ao concreto, deve ser livre de impurezas, tais como cloretos, sulfatos ou carbonatos, que possam interferir na qualidade do material.

Silva (2005) destaca que os agregados e aglomerantes destinados à fabricação do concreto são classificados por dimensões das partículas, assim, estes são apresentados na TAB. 1.

Tabela 1 – Principais componentes do concreto (agregados e aglomerantes)

Agregados	Diâmetro médio dos componentes do concreto
Agregados graúdos	10 a 30 mm
Agregados miúdos	± 1 mm
Cimento	10 a 50 µm
Adições minerais bastante finas (microssílica)	± 0,1 µm
Adições minerais finas (cinzas voltantes)	3 a 20 µm
Grãos de clínquer não hidratados	± 25 µm

Fonte: Silva (2005)

De acordo com a NBR 7211:2009, as características exigidas para recepção e produção de agregados miúdos e graúdos, de origem natural, são obtidos por meio de processos de britagem de rochas (ABNT, 2009). Dentro deste contexto, a areia ou o agregado miúdo proveniente do britamento de rochas estáveis, ou ainda pela mistura de ambos os agregados, devem apresentar grãos capazes de passar por peneira ABNT de 4,8 mm e, ficar retidos em peneira ABNT de 0,075 mm (ABNT, 2009).

Por sua vez, o agregado graúdo é caracterizado como pedregulho ou brita, ou da mistura de ambos, cujos grãos possam atravessar uma peneira de malha quadrada com abertura de 152 mm e, serem retidos em peneira ABNT de 4,8 mm (NBR 7211, ABNT, 2009).

2.1.3 Propriedades do concreto no estado fresco

O concreto fresco apresenta as seguintes propriedades: consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa, capacidade de retenção de água e massa específica (SILVA, 2005).

A consistência é um fator que exerce influência na trabalhabilidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a quantidade de água adicionada à mistura (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Assim, o teor de água é medido em kg ou litros de água por metro cúbico de concreto (SILVA, 2006).

A trabalhabilidade é considerada como uma das propriedades mais importantes do concreto no estado fresco, pois é ela que possibilita a manipulação do concreto fresco a ser lançado em fôrmas, havendo perdas pouco significativas na sua homogeneidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A trabalhabilidade, neste contexto, tem relação direta com a energia necessária para quebrar atritos internos existentes entre as partículas (NEVILLE, 1997). Neste contexto, o fato do atrito interno ser uma propriedade intrínseca da mistura, a trabalhabilidade é caracterizada pela aplicação de trabalho interno útil, gasto para produzir um adensamento do concreto (BRANCO; PIERETI, 2012).

A segregação, por sua vez, é caracterizada em virtude da capacidade de se promover a separação dos materiais que constituem uma mistura heterogênea, deixando sua distribuição não presente uniformidade (ISAÍÁ, 2005). Entre as

causas da segregação, estão a variação no tamanho das partículas e diferença das massas específicas dos constituintes da mistura (DAL MOLIN, 2005).

É importante ressaltar, segundo Silva (2006), que a ocorrência de processo de segregação pode ser reduzida caso o concreto não tenha que ser transportado para locais distantes e, ainda for possível fazer sua transferência diretamente da betoneira para a fôrma.

De acordo com Branco e Piereti (2012), o processo de exsudação, implica na separação na qual a parte da água adicionada à mistura apresente uma tendência a subir e permanecer na superfície do concreto após sua aplicação. Este tipo de ocorrência pode fazer com que o concreto situado na superfície torne-se poroso e com menor resistência, podendo ocorrer desintegração devido à percolação de água (SILVA, 2005). Entretanto, este tipo de ocorrência pode ser controlado, utilizando-se misturas que contenham cimentos muito finos e agregados naturais de grão arredondados, ou ainda por meio da compensação de deficiência dos agregados (NEVILLE, 1997).

2.1.4 Propriedades do concreto no estado endurecido

Entre as propriedades do concreto no estado endurecido, destaca-se a resistência mecânica, que consiste na capacidade de um material em resistir às tensões, sem que ocorram fraturas ou deformações em grande proporção, uma vez que, o concreto é o material mais utilizado em caso onde é necessária grande resistência aos esforços de compressão (NEPOMUCENO, 2005).

A resistência do concreto é conferida, graças ao processo de hidratação do cimento, no entanto, como trata-se de um processo lento, os ensaios destinados à análise da resistência do mesmo são baseados em corpos de prova curados durante 28 dias (GONÇALVES, 2005).

A análise da resistência à tração e à flexão é relativa aos percentuais situados de 10 a 15%, respectivamente, da resistência à aplicação da compressão axial (NEVILLE, 1997). Destaca-se que, a resistência é inversamente proporcional à ocorrência de porosidade, pois caso sejam observados vazios na parte sólida da pasta de cimento, é possível concluir que esta terá sua resistência comprometida (ANDRADE; COSTA; SILVA, 2005).

No caso da resistência mecânica, esta é medida em virtude da razão inversa da relação água/cimento, além disso, outros fatores também exercem influência na resistência mecânica do concreto, tais como: idade; forma e graduação dos agregados; tipo de cimento utilizado; forma e dimensão dos corpos de prova; velocidade de aplicação da carga de ensaio e; duração da carga (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) outro tipo de análise importante na análise das propriedades do concreto no estado endurecido é a variação de volume, pois esta é observada pela variação ocorrida no volume dos produtos de hidratação e volume dos poros internos. Desta forma é possível verificar as deformações que podem ser provocadas devido às condições ambientais e ação de cargas externas, que podem levar o concreto a apresentar anomalias que provoquem sua retração, variação de umidade e temperatura, além de deformações que podem ser imediatas ou lentas (SILVA, 2005).

A durabilidade é outra característica do concreto no estado endurecido e, consiste na capacidade deste em resistir à ação de intempéries climáticas, ação de agentes químicos e físicos, sem que suas características originais sejam comprometidas e que sejam mantidas suas funções (NEPOMUCENO, 2005).

Conforme Diamond (2004), a presença de vazios de água ou ar no concreto endurecido, faz com que este não tenha resistência à água e, por sua vez, se torne permeável, permitindo a passagem de água através do material. Assim, ao ter um material mais poroso, verifica-se que, este apresenta uma quantidade de vazios, o que facilita a comunicação com o exterior, em virtude da quantidade de poros no material, reduzindo, assim, sua resistência mecânica (GONÇALVES, 2005).

2.1.5 Processo de execução

O processo de execução do concreto compreende as seguintes etapas; mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura (ANDRADE; COSTA; SILVA, 2005).

A mistura é o processo de fabricação do concreto e, resultando em uma massa homogênea, realizada de maneira manual ou mecânica, que é obtida por meio do agrupamento interno dos agregados, aglomerantes, adionantes, aditivos e água (ROCHA, 2008).

O transporte, conforme a NBR 14931:2004, prega que, este sistema deve sempre que possível, possibilitar que o concreto seja lançado diretamente nas fôrmas, para que se evite a sua deposição em locais intermediários. Caso seja necessário, durante o manuseio do concreto, devem ser tomadas medidas para que não ocorra a segregação dos materiais constituintes (COIMBRA; LIBARDI; MORELLI, 2006).

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), o lançamento do concreto nunca deve ser realizado após o início da pega, e sim, logo após a mistura.

O processo de adensamento, de acordo com Mehta e Monteiro (2008) é caracterizado pela capacidade do concreto fresco em ser moldado nas fôrmas, tendo como objetivo evitar a formação de bolsas de ar, contidas nos espaços vazios. A eliminação dos vazios pode ser feita manualmente, por meio de socamento de haste ou ainda de maneira mecânica, utilizando-se vibradores, placas mecânicas ou compactadores à percussão (DIAMOND, 2004).

Durante o processo de adensamento, é imprescindível a adoção de cuidados para que não sejam formados ninhos ou ocorra à segregação dos materiais (GONÇALVES, 2005). Além disso, deve ser evitada a vibração da armadura para que não sejam formados vazios ao seu redor, gerando prejuízos à aderência, conforme descrito na NBR 14931:2004 (CAVALCANTI, 2006).

A cura do concreto consiste na última etapa do processo de execução, consistindo na hidratação do cimento, associado ao controle da temperatura e da saída e entrada de umidade do concreto (SILVA, 2005). De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2011), a cura é considerada a etapa mais importante da concretagem. Nela são controlados os processos de evaporação prematura da água, evitando a ocorrência de fissuras no concreto (ROCHA, 2008).

A ABESC (2011) recomenda que a cura seja feita por aspersão de água sobre a superfície do concreto, molhando as fôrmas e recobrando-as com areia, serragem ou outros materiais que controle a evaporação da água, realizando uma cura a vapor. Este tipo de procedimento, segundo Diamond (2004) reduz a formação de poros e fissuras, elevando-se a resistência do concreto.

Nos tópicos seguintes, são abordadas as adições e aditivos utilizados na composição do concreto; seus efeitos físicos, químicos e pozolânicos nas adições minerais.

2.2 Adições e aditivos

As adições minerais exercem grande influência na resistência e na porosidade dos concretos (ABESC, 2011). No caso da resistência conferida à pasta de cimento *Portland*, esta tem relação com a porosidade, à distribuição do tamanho dos poros e da forma que estes poros assumem (FACHINI, 2010).

2.2.1 Adições de minerais

As adições minerais podem ser feitas com materiais como: cinzas volantes, escória e filler calcário e, estas irão influenciar no tamanho e na distribuição dos poros, afetando conseqüentemente, a resistência do concreto, otimizando seu desempenho, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (DAL MOLIN, 2005).

De acordo com Fonseca (2010), outros materiais têm sido também adicionados ao concreto durante o seu preparo, tais como pedras de origem mineral, que provocam modificações nas suas características física e mecânicas e, são classificados como material pulverulentos, representados por cimentantes e pozolantes ou ainda por materiais inertes, que apresentam índices quimicamente baixos de reatividade, como o quartzo.

O uso de materiais inertes pode ser adicionado em proporções de 5 a 15% da massa total do cimento, reduzindo o custo por volume de concreto produzido (FACHINI, 2010). Os materiais denominados cimentantes têm como função reduzir o calor de hidratação do concreto (HOPPE FILHO, 2008). Já as pozolanas, tem como função, reagir quimicamente com a cal para formar compostos com propriedades cimentantes (FONSECA, 2010).

Segundo Alves (2008), adições minerais podem ser classificadas em três conjuntos, de acordo com sua ação físico-química:

- Material Pozolânico;
- Material Cimentante;
- Filler.

Segundo ASTM C 618 (1994) e NBR 12.653 (1992), os materiais Pozolânicos são caracterizados como sílicoaluminoso ou silicoso, que por sua vez quase não apresenta propriedade cimentícia, no entanto, quando isolado à presença de

umidade, ele reage com hidróxido de cálcio para dar princípio a compostos cimentantes.

Material cimentante não precisa de hidróxido de cálcio no cimento para dar origem a materiais cimentantes como por exemplo o C-S-H (ALVES, 2008). Normalmente, sua hidratação é demorada, tornando assim insuficiente a formação de produtos cimentantes para concretos estruturais (DAL MOLIN, 2005).

O Fíller é considerado uma adição mineral sem atividade química, podendo assim ajudar na hidratação do concreto deixando-o com pouca porosidade. Os efeitos físicos podem ser variados quando o Fíller é adicionado no concreto, de acordo com Dal Molin, (2005) são eles:

- Efeito microfíler: Acréscimo da densidade do composto que resulta no preenchimento dos espaços vazios do concreto. Suas partículas são de baixa granulometria e podem ter o diâmetro menor ou igual ao do cimento.
- Refinação dos poros e dos materiais de hidratação do cimento: As partículas de adições minerais podem atuar juntamente com os pontos de nucleação dos produtos de hidratação, sendo assim, o acréscimo dessas partículas ocorrerá nos poros já ocupados pela água e adição, conseqüentemente, acelerando a reação e resultando em tipos diferentes de produtos de hidratação. Portanto trabalhando com adição mineral pode-se diminuir os espaços em que a hidratação pode crescer, resultando em muitas partículas de pequeno porte ao invés de grandes partículas.
- Modificação da microestrutura na zona de transição: A mistura da adição mineral tipo fíller na composição do concreto afeta a movimentação de partículas de água em relação aos demais sólidos da composição, eliminando ou reduzindo consideravelmente o excesso de água que fica livre; com essa reação há uma melhoria considerável na zona de transição refletindo diretamente no desempenho final do concreto, tanto na parte mecânica quanto na durabilidade.

Isaia (1995), aponta misturas binárias e ternárias consideradas Fíller como: Sílica ativa, Cinza volante, escoria de alto forno, mostram uma carbonatação

crescente por extensões no teor de adições minerais, pois elas possuem menores taxas de cimentos, sendo assim, afetando o resultado final da porosidade do concreto, diminuindo e refinando a quantidade de poros do concreto.

Conforme Hoppe Filho (2008, p. 133), “na constituição das partículas finamente moídas poderá haver alterações mecânicas e inversão da cinética perante o cimento, a quantidade do fíller submerso à pasta do cimento pode resultar na modificação da hidratação”.

De acordo com Winck (2002), vale ressaltar a necessidade da homogeneidade do fíller em suas propriedades, tanto quanto sua finura, o mesmo deve manter o índice de água utilizado no concreto, a não ser que seja utilizado como um redutor de água, a fim de não comprometer a resistência e proteção do concreto como também a armadura e intempéries, assim, o índice esperado desta substituição parcial do cimento pelo fíller é que se torne usual a média de 15% ou 20%.

A homogeneização dos resíduos minerais como fíller na mistura do concreto proporciona a redução da poluição gerada pela fabricação do cimento, um exemplo seria, a utilização de uma adição mineral como a escória e pozolanas reduz consideravelmente a emissão de CO₂ que é gerada pela fabricação do cimento, para cada 1000 kg (1 tonelada) de clínquer produzido, será lançada a mesma quantidade de 1 tonelada de gás carbônico na atmosfera (PETRUCCI; PAULON, 2005).

Assim, as adições minerais, de acordo com Mehta e Monteiro (2008), consistem no uso de materiais do tipo arenoso, bem finos e moídos, sendo que estes podem ser naturais ou produtos industrializados, ou ainda classificados como materiais cimentantes ou pozolânicos.

Entre as adições minerais que mais são utilizadas, destacam-se as que têm em sua composição; sílica amorfa como a sílica ativa, cinza volante, cinza de casca de arroz, e a escória de alto forno, sua utilização acarreta vários pontos positivos, por ser um material muito fino, concede muitos benefícios tais como, baixa porosidade, fazendo com que aumente a resistência mecânica e ocasione um concreto com uma baixa permeabilidade, com isso aumenta a vida útil do concreto (DAL RI, 2002).

2.2.2 Aditivos

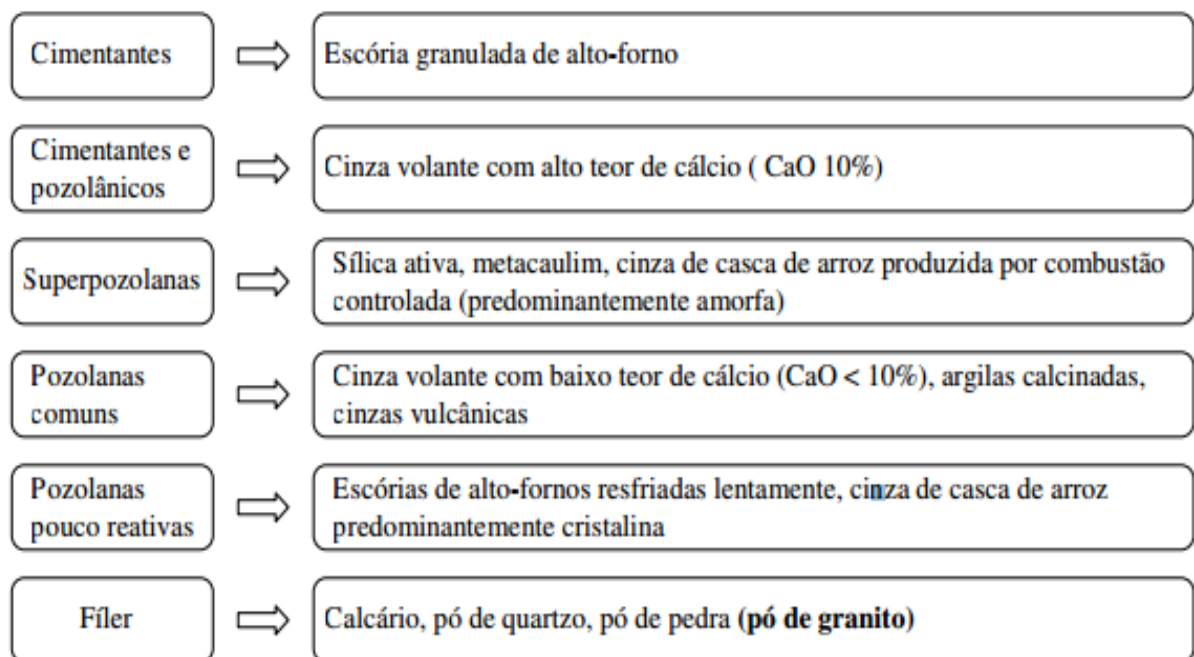
De acordo com NBR 11.768 (ABNT, 2011) os aditivos são produtos químicos que, adicionados em pequena quantidade em média de 5%, em argamassas ou concretos de cimento *Portland*, têm o poder de modificar suas propriedades tornando a mistura com melhores condições de adequação à situação desejada, são alguns tipos de aditivos:

- Aditivos plastificantes (tipo P): denominados como redutores de água, têm objetivo de reduzir a quantidade de água de amassamento, preservando ou aumentando a trabalhabilidade desejada, pode aumentar a fluidez se conservada a quantidade de água.
- Aditivos superplastificantes (tipo SP): são também redutores de água de amassamento, porém de elevada eficiência podendo reduzir até 40% de água na mistura mantendo a trabalhabilidade, também aumentam a fluidez se conservada a quantidade de água.
- Aditivos retardadores (tipo R): têm função de retardar a hidratação do concreto, elevar o tempo de trabalhabilidade e aumentar o tempo de pega, não alteram resistência final e geralmente são usados onde há necessidade de um maior tempo no transporte ou de grandes áreas a serem concretadas.
- Aditivo acelerador (tipo A): agilizam o início e o fim do tempo de pega do concreto, geralmente nas idades iniciais atingem elevadas resistências. Os silicatos, aluminatos e carbonatos de cálcio como componentes principais em sua composição reagem fortemente acelerando as reações iniciais de hidratação no concreto, não podem ser utilizados em concreto protendido, pois podem provocar corrosão em cabos submetidos a tensão. Sua aplicação é exigida onde há mais necessidade de reparos rápidos e também em túneis e fundações.

- Aditivos incorporadores de ar (tipo IA): causam a introdução de um sistema de bolhas de ar ao concreto com dimensões de 0,1mm a 0,8mm, essas bolhas são estáveis e uniformemente deformáveis que plastificam e fluidificam o concreto, tem função de suprir a deficiência de finos reduzindo assim o consumo de cimento, tornando o concreto mais leve facilitando o bombeamento e são amplamente usados em locais de clima frio reduzindo ou evitando danos no ciclo gelo e degelo podendo aumentar a quantidade de água em até 9%.

Conforme Alves (2008), as adições minerais mais utilizadas nos concretos convencionais estão representadas na FIG. 1, classificadas conforme sua forma de ação:

Figura 1 - Principais adições minerais empregadas no concreto convencional



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2000).

2.3 Fíler calcário

Neste tópico, abordou-se a definição de fíler calcário, as formas de extração, características e aplicações.

2.3.1 Definição

Pó fino obtido a partir do processo de britagem de rocha calcária para obtenção de brita que é utilizada na indústria da construção civil, o qual pode também ser classificado como calcítico ou dolomítico (OLIVEIRA, 2017).

2.3.2 Extração

O filler é um produto extraído por meio dos diferentes processos de beneficiamento de minerais. Em pedreiras, o pó de pedra é totalmente descartado e estocado incorretamente nos pátios, trazendo transtornos, danos ambientais e trazendo grandes prejuízos ao no ecossistema (DUARTE, 2013). Na Fig. 2, pode-se observar o pó de pedra sendo estocado em uma das pedreiras da região de Minas Gerais.

Figura 2 - Pó de pedra estocado no pátio da pedreira



Fonte: O autor (2018)

2.3.3 Característica

O fíller calcário é caracterizado por ser um tipo de pó muito fino, obtido em rochas calcárias, sendo por este motivo denominado como calcíticos ou dolomítico, de acordo com sua composição química (NOGUEIRA, 2011). De modo geral, ele apresenta uma estrutura porosa e superfície enrugada (MORAES, 2010).

2.3.4 Aplicação

A utilização do Fíller, na mistura do concreto convencional, é uma opção considerada viável, pois a adição é um mineral natural, que pode vir, por exemplo, da britagem e possui uma uniformidade muito boa em suas propriedades (DUARTE, 2013).

De acordo com Nogueira (2011), o meio ambiente vem sofrendo impactos ambientais e, conforme estudos realizados pode-se obter uma redução em função da reciclagem de resíduos, estes provendo de indústrias, tal como o fíller, vindo a ser reutilizados na construção civil, como no cimento, devido sua granulometria e superfície específica.

O reaproveitamento dos rejeitos gerados pelas empresas na construção civil não é novidade e essa reciclagem já tem sido utilizada em diversos países. A construção civil consome muitos recursos naturais, mas também pode combater os impactos ambientais utilizando o rejeito dessas indústrias como aditivos minerais (COIMBRA; LIMBARDI; MORELLI, 2006). A reciclagem dos resíduos minerais tem mostrado ser significativa no desempenho final e inicial dos materiais que utilizam como matriz o cimento *Portland* comum, como o concreto comum, tanto no estado fresco ao estado de endurecimento como também na durabilidade do concreto.

A utilização de adições minerais como Fíller em substituição parcial do cimento pode gerar desde a economia no valor final da obra até ajudar a amenizar os impactos ambientais e contribuir para o desenvolvimento sustentável (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005). A quantidade de subprodutos nas indústrias do mundo inteiro, é excedente à demanda da reciclagem, sendo assim, é muito importante o estudo de substituição parcial de resíduos minerais na parte do cimento e concreto convencional (SANTOS, 2008).

É importante ressaltar que, o filler calcário possui um efeito positivo se considerado perante as propriedades do concreto, de acordo com suas propriedades físicas, ele melhora sua capilaridade, exsudação, trabalhabilidade, compactação, permeabilidade e densidade, pois o mesmo é um material que possui uma baixa granulometria, o qual possui uma textura muito parecida com o cimento *Portland* (NEVILLE, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo é composto por uma revisão bibliográfica, realizada através de consulta a livros, artigos científicos e acadêmicos, periódicos e também em plataformas *online* de busca de artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorados, além da aplicação prática do referencial teórico através de ensaios técnicos em concreto com a finalidade de apontar a viabilidade técnica do uso de filler de calcário na composição do concreto, no que diz respeito à trabalhabilidade e à resistência à compressão.

Sendo assim, nesta seção são apresentados os materiais necessários e os procedimentos metodológicos utilizados para execução dos ensaios técnicos. Nesse estudo, os resultados encontrados nos ensaios têm por objetivo levar a um comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de filler e apontar o mais eficaz.

3.1 Materiais

Para a realização dos ensaios técnicos, *Slump Test* e resistência à compressão em ambos os casos, foram utilizados os seguintes insumos, sendo eles:

- Cimento
- Brita
- Areia
- Filler
- Água

Foram utilizados também os seguintes equipamentos:

- Balança de precisão
- Prensa hidráulica
- *Slump Test*

O cimento utilizado no experimento foi o *Portland* CP II-E-32, que possui em sua composição um composto que contém escória granulada de alto forno, que caracteriza uma menor liberação de calor de hidratação quando em contato com água, é composto de 94% a 56% de clínquer e gesso, e 6% a 34% de escória de auto forno segundo a NBR 11-578.

A brita 1 calcária foi o agregado graúdo utilizado nos CP's e tem sua origem da mineração.

Foi utilizada, em todos os corpos de prova, a areia natural lavada, que tem em sua composição a sílica e foi comprada em um comércio de materiais de construção civil.

Foi utilizada água tratada proveniente da Copasa.

O fíller calcário utilizado nos experimentos de laboratório foi comprado em uma indústria e comércio de pequeno porte na região de Arcos-MG. Esse material é considerado um resíduo por várias empresas de mineração e geralmente são estocados incorretamente nos pátios, gerando grandes prejuízos à sociedade.

3.2 Dosagem

Para a elaboração dos experimentos foi adotado um traço padrão para dosagem do concreto, a fim de possibilitar uma comparação. Dessa forma, instituiu-se o traço de cimento, areia, brita e relação água/cimento na proporção de 1:3:3:0,65, em massa.

Foram feitos 15 corpos de prova para análise, sendo 3 para cada tipo de traço. Fez-se um deles como referência, onde não havia fíller e outros com diferentes proporções do mesmo.

NA TAB. 2 são apresentados os traços utilizados nos experimentos, assim como o quantitativo de material usado para cada traço.

Tabela 2 - Tabela de traços utilizados nos experimentos

Traços	Areia (Kg)	Cimento (Kg)	Fíller (g)	Água (ml)	Brita 1(Kg)
Traço 1	3,0	1,0	0	650	3
Traço 2	3,0	0,950	50	650	3
Traço 3	3,0	0,920	80	650	3
Traço 4	3,0	0,900	100	650	3
Traço 5	3,0	0,880	120	650	3

Fonte: O autor (2018).

Primeiramente, foi utilizado o frasco de *Chapman* para encontrar a densidade do filler, porém não foi possível obter êxito, pois o frasco de Chapman congestionou a amostra de filler. Portanto, a volumetria foi a alternativa encontrada para fazer o experimento.

O traço do concreto foi executado na proporção de 1:3:3:0,65,(em massa), ou seja, para cada 1 kg de cimento, foram adicionados 3 kg de areia e 3 kg de brita e 650 ml de água. Para cada traço, foi tirada uma parte do cimento e ao mesmo tempo acrescentando o filler como substituição. Os traços foram representados na Fig. 3.

O traço utilizado foi obtido através de pesquisa realizada em obras da cidade de Arcos, no entanto, foi adequado para o experimento na proporção de 1:3:3:0,65 com adição parcial de filler em relação à redução de peso do cimento *Portland*.

Figura 3 - Traço do concreto



Fonte: O autor (2018).

O *Slump Test* foi executado em laboratório no Rio de Janeiro - RJ, de acordo com a NBR MN 67. Foi preenchido o cone com três camadas iguais de concreto, cada camada foi adensada com 25 golpes constantes, em seguida, foi dado o acabamento na superfície. Com uma velocidade constante, o cone foi sendo retirado e colocado ao lado da amostra e, com a própria haste socadora, foi medida a distância entre a amostra e a haste. Este estudo foi executado sem interrupções com um tempo inferior a 2 minutos e 50 segundos. (FIG. 4).

Figura 4 - *Slump Test*



Fonte: O autor (2018).

Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738 (FIG. 5), onde, primeiramente, foi passado desmoldante nas fôrmas, depois foi colocado o concreto dentro dos moldes em duas camadas, cada uma delas adensadas por 12 vezes com uma haste de metal e, em seguida, dando um acabamento em sua superfície.

Figura 5 - Montagem dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

A cura inicial dos corpos de prova do concreto produzido consistiu primeiramente ao ar livre por um período de 24 horas ainda nos moldes que foram identificados e abrigados no laboratório (FIG. 6).

Figura 6 - Cura inicial do concreto



Fonte: O autor (2018).

A cura final teve início após as primeiras 24 horas (FIG. 7). Os corpos de prova foram desmoldados e mais uma vez identificados e submersos à câmara úmida, onde permaneceram por um período de 28 dias.

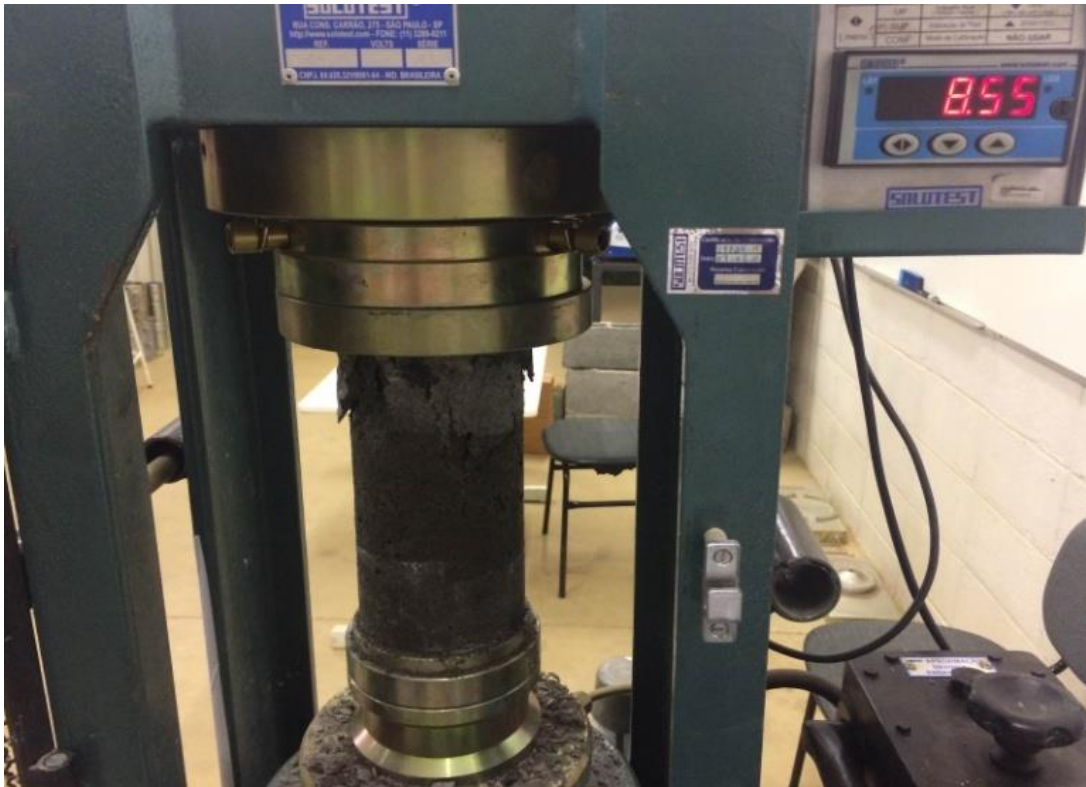
Figura 7 - Cura dos CP's



Fonte: O autor (2018).

Os testes de compressão dos corpos de prova foram realizados em laboratório no Rio de Janeiro-RJ, seguindo as orientações da NBR 5739. Foi utilizada nesse ensaio a prensa hidráulica (FIG. 8) com auxílio do visor digital onde pode-se notar o resultado de cada amostra. Foram rompidos 15 (quinze) corpos de prova, sendo 3 (três) amostras iguais de cada traço, totalizando 5 (cinco) tipos de traços diferentes.

Figura 8 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: O Autor (2018)

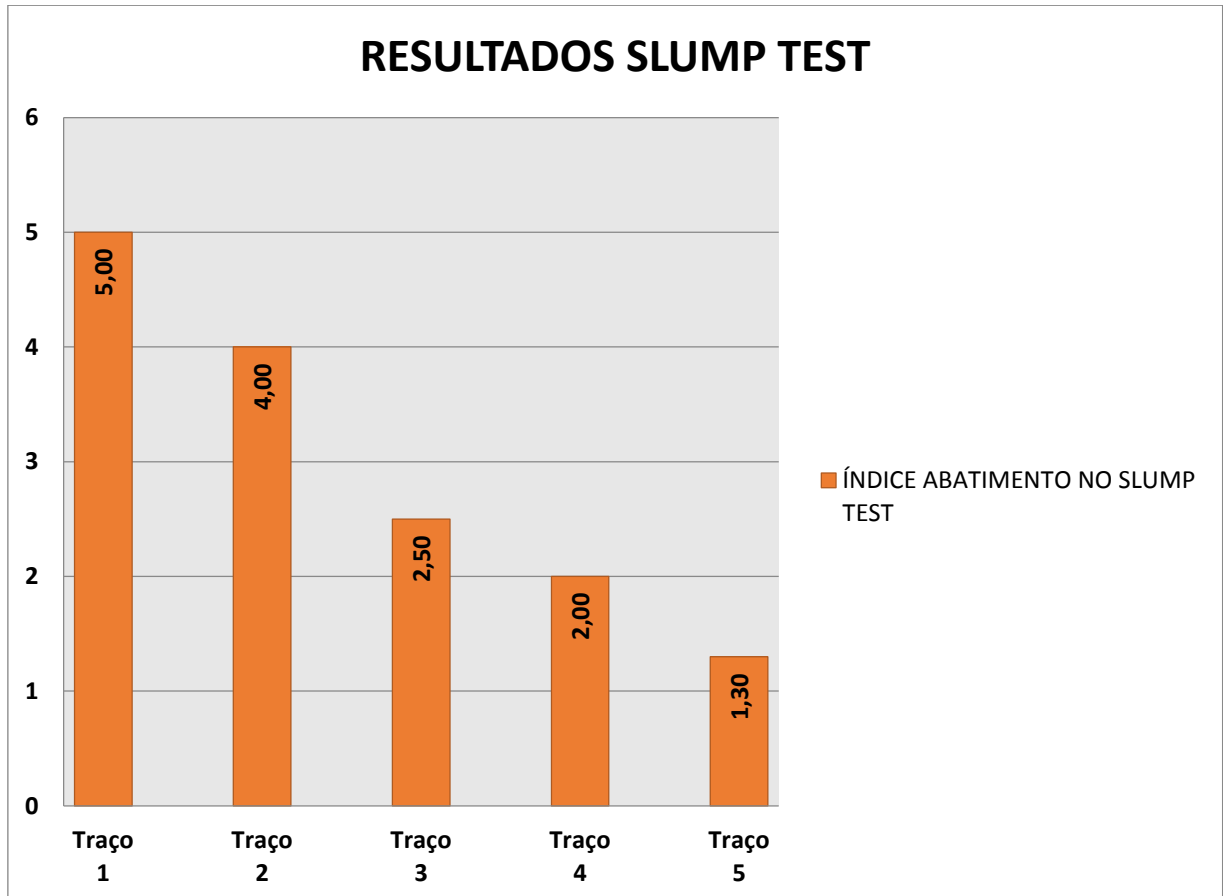
Depois dos rompimentos, os corpos de prova foram colocados no almoxarifado local (Rio de Janeiro – RJ) para futuras observações, se necessárias.

A análise dos dados (resultados), serão discutidas em Resultados e Discussão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a NBR MN 67, os *Slump's* dos CP's, tiveram os resultados demonstrados no GRÁF. 1.

Gráfico 1 - Gráfico dos resultados dos *Slump's*



Fonte: O Autor (2018).

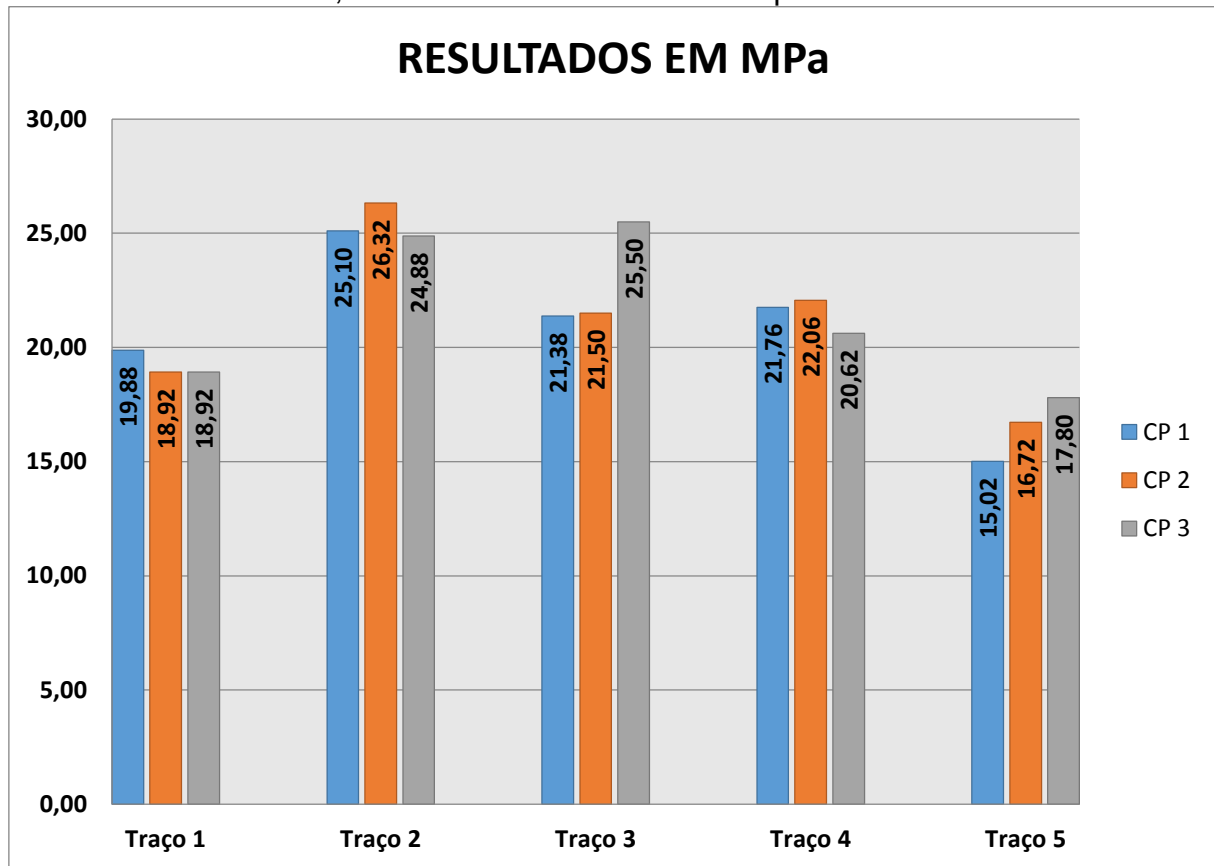
Nota-se que os valores de abatimento indica queda proporcional em relação à substituição do cimento por fíller.

Levando em consideração os resultados obtidos, pode-se constatar que quanto mais fíller no concreto, melhor será sua trabalhabilidade.

Lembrando que trabalhabilidade, conforme descrito acima, é para o manuseio do concreto após lançado na forma de concretagem.

O GRÁF. 2 apresenta os valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova analisados.

Gráfico 2 – Resultados, em MPa da resistência à compressão



Fonte: O Autor (2018)

O traço 1, que não possui nenhuma adição de fíller calcário na composição do concreto, como referência para análise comparativa de resistência, foi comparado o traço com adição em frações de 12%, 10%, 8% e 5% de fíller calcário em relação à redução do peso do cimento.

Foi constatado que os traços em que foram utilizados fíller calcário, houve ganho de resistência a compressão em relação ao traço 1, com exceção do traço 5, pois, a partir da adição de 12 % de fíller calcário em substituição do cimento *Portland*, a resistência a compressão começa a diminuir, conforme observado no comportamento quadrático no GRÁF. 1.

Aos demais traços (2, 3 e 4), conclui-se que, quanto maior a porcentagem de fíller calcário no cimento, menor será sua resistência à compressão, sendo 10% o limite de substituição, pois houve um ganho de resistência de 4,97 MPa em relação ao traço 5 (12%) e uma perda de resistência de 2,24 MPa em relação ao traço 1 (0%), no qual não houve utilização de fíller calcário.

O traço 2 apresentou melhor resistência a compressão e o traço 4 melhor custo benefício, sem perder a resistência de 20 Mpa.

5 CONCLUSÃO

Conforme o objetivo almejado, pôde-se constatar que a viabilidade do filler no concreto de cimento Portland não deve ultrapassar 10% do peso do cimento, podendo assim comprometer a resistência à compressão do mesmo.

Diante dos resultados encontrados, pode-se constatar que o uso do filler no concreto convencional de cimento Portland é considerado viável, visando não somente à economia gerada pela adição do rejeito, pois a cada traço consegue-se uma economia de 10% em relação ao peso do cimento, mas também o ganho considerável na resistência a compressão de 2,24 MPa em comparação com o traço 1 contendo 0% de filler e o traço 4 contendo 10% de filler, em relação a um concreto composto somente de cimento, areia, brita e água.

Durante a realização deste, pôde-se observar que houve alterações em relação à trabalhabilidade, permeabilidade e capilaridade dos CP's, principalmente de sua granulometria, que age diretamente na redução dos índices de vazios, penetrando e preenchendo os espaços vazios em que outros agregados vão se formando em função de sua característica granulométrica. O empacotamento fornece também maior densidade e homogeneidade ao concreto.

Concluiu-se que a substituição do cimento *Portland* por filler em proporção maior que 10% tende a reduzir a resistência à compressão. Nesta mesma equivalência, visando ao custo benéfico, pode-se exemplificar que há uma economia de 10 sacos de cimento a cada 100 sacos utilizados na obra.

REFERÊNCIAS

A B E S C - Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. **Manual do concreto dosado em central**. ABESC. São Paulo: Luxmídi, 2011.

ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto**. São Paulo, Primeira ed. Pini.2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de Estruturas de Concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: **Cimento Portland Composto** - Especificações. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 67: **Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do tronco de Cone** – Procedimento. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova** – Procedimento. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos** – Procedimento. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: **Material pozolâmico** - Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: **Aditivo para Concreto de Cimento Portland** - Rio de Janeiro, 2011.

ASTM C 618 - Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 1994.

ALVES, Moisés S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. 2008, 132 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

ANDRADE, T., COSTA E SILVA, A. J. **“Patologia das estruturas”**. Ed. Ibracon, São Paulo, 2005.

BRANCO, C. P.; PIERETI, R. A. **Avaliação da resistência do concreto curado entre -5°C e 0°C**. Monografia. 2012. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

CAPELLO, Giuliana. Cimento ecológico—produto tem nível de CO₂ reduzido em sua fórmula, causando menos impactos no meio ambiente. **Arquitetura & Construção**, São Paulo, fev, 2008. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.uol.com.br/inc/pop_print.htm>. Acesso em: 12 ago. 2018.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Maceió, 2006. 141 p. Dissertação de mestrado – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas.

COIMBRA, M. A.; LIBARDI, W.; MORELLI, M. R. **Estudo da influência de cimentos na fluência em concretos para a construção civil**. *Cerâmica*, Mar 2006, vol.52, no.321, p.98-104.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. São Paulo, v. 1, 2005. p. 345-379.

DAL RI, M. **Efeitos da adição de cal hidratada em concretos com altos teores de adição mineral na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Dissertação. 2002. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 2002.

DIAMOND, SIDNEY. The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer. **Cement & Concrete Composites**, 2004.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. 2013. 89 f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

FACHINI, D. **Aglomerante alternativo para construção civil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Área de Concentração em Engenharia de Materiais. UTFPR. Curitiba. 2010. 110p.

FONSECA G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Área de concentração: Materiais de construção civil. UFMG. Belo Horizonte. 2010.

GABRICH, M. F. **Estudo da influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo**. 2008. 111 p. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

GONÇALVES, J, P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1676>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.

GORNINSKI, J. **Investigação do comportamento mecânico do concreto polímero de resina poliéster**. Tese (M SC Engineering) 103p., Program de pós-graduação em Engenharia de Minas e Metalurgia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 1996.

HOPPE FILHO, J.; **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismos de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto**. Tese. Escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ISAIA, Geraldo Cechella. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. V. 01, São Paulo: IBRACON, 2005, 792 p.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: Um estudo com vistas a corrosão das armaduras**. São Paulo: Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 1995. 280p (Tese: Doutorado em Engenharia Civil).ISAÍÁ (1995)

JOHN, V. M. **Materiais De Construção e o Meio Ambiente**. In: ISAIA, G. E. ED. **Materiais De Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. v. 1, São Paulo; IBRACON, pg. 95 - 118. 2007.

LEITE, M. B.. Tese de doutorado: Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 573p.

MORAES, M. Q.; LOPES, R. R. **Análise da contribuição de adições de microssilica e nanossilica na resistência à compressão de concretos convencionais**. Monografia. 2010. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2010.

MORAES, K. A. M. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFPE. Recife, 2010.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismos de transporte de fluidos no concreto**. In: Isaia, G. C. (ed), **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. 1 ed., São Paulo: IBRACON, pp. 793-827. 2005.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

NOGUEIRA, M. L. **Avaliação do Controle de Qualidade de Misturas Asfálticas e Análise do Reflexo do Nível de Qualidade no Desempenho dos Revestimentos Asfálticos**. 2011. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo, 2005.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland**. 14. Ed Porto Alegre: Globo, 2005. 307p

PORTO VIERA, Andressa de Araújo. **Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba**. 2005.

RIBEIRO, C. C. et al. **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte, 2000.

ROCHA, C. A. A. **Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos**. Dissertação. 2008. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ. 2008

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formação de argamassas para construção civil**. Tese. 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2008.

SILVA, R. D. **Estudo da aderência aço-concreto em pilares mistos preenchidos**. São Carlos: Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado), 2006.

SILVA, G. J. B. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Dissertação. 2005. Belo Horizonte-MG. 2005.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. **A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento**. In: SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP. p. 1-12.

SNIC, ABCP. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Processos Industriais – Parte I Fabricação de Cimento. Ministério da ciência e Tecnologia (2010).

TEIXEIRA, L. CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Análise do Setor de Cimento no Brasil**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/files/texto/032.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2008.

WINCK, M. L. **Estudo comparativo entre adições calcárias e pozolânicas sobre a penetração de cloretos em concreto armado**. CDROM. **Anais do 42.º Congresso Brasileiro do Concreto**, Fortaleza-CE. 2002.