

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**MAGDA ALVES PINHEIRO
VINICIUS RODRIGUES LEITE**

**ANÁLISE COMPARATIVA QUANTO À RESISTÊNCIA MECÂNICA À
COMPRESSÃO AXIAL E À TRAÇÃO NA FLEXÃO, EM CONCRETO
POLIMÉRICO E CONCRETO CONVENCIONAL.**

**CARATINGA
2018**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**MAGDA ALVES PINHEIRO
VINICIUS RODRIGUES LEITE**

**ANÁLISE COMPARATIVA QUANTO À RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO
AXIAL E À TRAÇÃO NA FLEXÃO, EM CONCRETO POLIMÉRICO E CONCRETO
CONVENCIONAL.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das faculdades DOCTUM e
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Mateiras de
Construção- Concreto**

Orientador: Esp. Sérgio Alves Reis

**CARATINGA
2018**

TERMO DE APROVAÇÃO COM RESTRIÇÃO

MAGDA ALVES PINHEIRO e VINICIUS RODRIGUES LEITE

A aprovação do(s) aluno(s) fica condicionada à apresentação ao professor orientador, das alterações solicitadas pelos avaliadores através das versões corrigidas que passam a fazer parte deste termo, ou as elencadas ao final do mesmo.

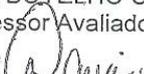
As alterações devem ser apresentadas em versão definitiva no prazo de três dias corridos a contar dessa data, conforme o disposto nas Normas de TCC da Instituição.

A aprovação final fica condicionada ao parecer favorável emitido pelo professor orientador.

Caratinga, 10/12/2018


SERGIO ALVES DOS REIS
Professor Orientador e Presidente da Banca


RICARDO BOTELHO CAMPOS
Professor Avaliador 1


SANDERSON DUTRA ROCHA CORRÊA
Professor Avaliador 2




Aluno(s)

**CORREÇÕES A SEREM FEITAS E PARECER FINAL
ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS APONTADAS PELA BANCA:**

PARECER FINAL DO ORIENTADOR:

DATA: 10/12/2018


Assinatura do Professor Orientador:

AGRADECIMENTOS

“Primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, aos nossos pais pelo apoio e dedicação. ”

“Aos nossos amigos pelo incentivo e grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho”

“Agradecemos aos Professores que nos ajudaram Camila e João Moreira pelo seu grande desprendimento em ajudar-nos. ”

“Agradecemos ao ”Lucão” pelo suporte e ajuda durante a elaboração desse trabalho. ”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corpos de prova nas primeiras 24 horas	36
Figura 2: Corpos de prova concreto convencional em tanque de cura	36
Figura 3: Corpos de prova concreto Polimérico em estufa	37
Figura 4: Materiais separados e medidos prontos para ser colocado na betoneira	46
Figura 5: Materiais separados e medidos prontos para ser colocado na betoneira	48
Figura 6: Slump Test –Concreto Convencional	49
Figura 7- Slump Test –Concreto Polimérico	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2: Propriedades do Concreto	45
Tabela 3: Propriedades dos agregados graúdos e miúdos.....	45
Tabela 4: Consumo de Materiais	45
Tabela 5: Traço Concreto	46
Tabela 6: Dosagens das composições de PC propostas para o programa experimental.....	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1)	29
Equação(2)	30
Equação(3)	38
Equação(4)	38
Equação(5)	38
Equação(6)	38
Equação(7)	43
Equação(8)	43
Equação(9)	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos	41
Quadro 2: Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos	42
Quadro 3: Resultados obtidos pelo ensaio de ME para agregados miúdos	42
Quadro 4: Resultados obtidos pelo ensaio de ME para agregados miúdos	43
Quadro 5: Resultados ensaio de compressão axial - Concreto Polimérico e Concreto convencional	51
Quadro 6: Resultados ensaio de tração na flexão - Concreto Polimérico e Concreto convencional	52

RESUMO

O concreto convencional é um dos materiais mais utilizados no mundo, devido a suas propriedades mecânicas, consumo por matérias de fácil acesso, possibilidade da obtenção de diversas formas e tamanhos, seu baixo custo e a possibilidade de ser fabricado na obra. Entretanto, este material também apresenta várias patologias acarretando desconforto visual e degradação da construção. Visando o fim destes problemas patológicos e a atualização de métodos construtivos, foram realizadas novas pesquisas de materiais construtivos que pudessem sanar estas deficiências, assim surgindo os concretos especiais, com características complementares, e que trouxeram alguns avanços em relação aos concretos convencionais. Entre eles está o concreto polimérico. O presente trabalho tem como objetivo, produzir e analisar composições de concreto polimérico e o concreto convencional e realizar experimentos comparativos quanto as suas características mecânicas. Falar em controle experimental do concreto, significa falar principalmente, no controle dos materiais que fazem parte da sua composição; como sabemos que é praticamente impossível encontrar materiais totalmente isentos de substâncias nocivas, as normas desempenham um papel de fundamental importância, pois nos apresentam os limites de tolerância destes elementos. Inicialmente foi feito o cálculo de dosagem de ambos, através do método de dosagem ABCP. Na segunda parte o concreto convencional e o polimérico foram produzidos respeitando a proporção de materiais que foram estipuladas através do método de dosagem, após a produção do concreto polímero e convencional foram moldados os corpos de prova para os testes de compressão axial e tração na flexão. Na terceira parte foram realizados os testes de compressão axial com os corpos-de-prova devidamente curados, nas idades de 7,14 e 28 dias. O teste de tração na flexão foi realizado nos corpos-de-prova com a idade de 28 dias. Os resultados alcançados indicam o bom potencial de uso do Concreto polimérico, mostrando então ser satisfatório a utilização desse material.

Palavras Chaves: Concreto, Polímero, Resistência Mecânica

ABSTRACT

Conventional concrete is one of the most widely used materials in the world, this can be achieved through water resistance, obtaining various shapes and sizes by structural elements made of concrete and its low cost and the possibility of being manufactured on site. However, this material also presents several pathologies leading to visual discomfort and construction degradation. Aiming at the end of these pathological problems and the updating of constructive methods, new researches of constructive materials were carried out that could cure these deficiencies, thus arising the special concretes, with different characteristics, and that brought some advances in relation to the conventional concretes. Among them is the concrete with compound of polymers. Through this discovery, the present work has as objective, to produce and to analyze compositions of polymer concrete and the conventional concrete and to carry out comparative experiments as for its mechanical characteristics. Initially the dosage calculation of both was done, through the ABCP dosage method. In the second part conventional and polymeric concrete were produced respecting the proportion of materials that were stipulated through the dosing method, after the production of the polymer and conventional concrete the test bodies were molded for tests of axial compression and flexural tensile tests. In the third part, the axial compression tests were performed with the specimens duly cured, at the ages of 7, 14 and 28 days. The flexural traction test was performed on the specimens at the age of 28 days. The results showed that in the axial compression the polymeric concrete has a great advantage, in the 7 day test, reached about 90% of its total resistance proposed, in 14 days reaching the total resistance proposed by the dosage of the trace. As for the flexural traction, we can conclude that conventional concrete excelled better. With this we can conclude that polymeric concrete can be used in structures that need to be fully resistant in a few days due to its high compressive strength, such as structural panels, concrete for road pavement and drainage channels.

Keywords: Concrete, Polymer, Mechanical Strength

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS.....	16
2.1	HISTÓRIA DA APLICAÇÃO DO CONCRETO.....	16
2.2	HISTÓRIA DA APLICAÇÃO DO CONCRETO POLIMÉRICO.....	16
2.3	O CONCRETO CONVENCIONAL.....	17
2.4	PRINCIPAIS COMPONENTES DO CONCRETO.....	18
2.5	CONCRETO POLIMÉRICO.....	18
2.6	A IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS NO CONCRETO.....	18
2.6.1	AGREGADO.....	18
2.6.2	AGREGADO MIÚDO.....	19
2.6.3	AGREGADO GRAÚDO.....	20
2.6.4	FÍLER.....	20
2.7	PROPRIEDADES DO CONCRETO POLÍMERO.....	22
2.7.1	GENERALIDADES.....	22
2.7.2	MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO POLÍMERO	23
2.7.3	APLICAÇÕES DOS COMPÓSITOS DE CONCRETO POLÍMERO	24
2.8	RESINAS UTILIZÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	25
2.9	PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL.....	26
2.10	EXIGÊNCIAS DAS NORMAS PARA CONCRETO.....	27
2.11	MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO.....	28
2.11.1	MÉTODO INT.....	28
2.11.2	MÉTODO DA ABCP.....	29
2.11.3	MÉTODO DO IPT/EPUSP.....	30

3	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA.....	31
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO CONCRETO	31
3.1.1	MATERIAIS CONCRETOS POLIMÉRICOS	31
3.1.2	RESINA EPÓXI	32
3.1.3	AGREGADO.....	32
3.1.4	FÍLER	32
3.1.5	MATERIAIS USADOS PARA A MISTURA DO CONCRETO CONVENCIONAL	32
3.1.6	MISTURA.....	34
3.1.7	MOLDAGEM CORPOS DE PROVA.....	35
3.1.8	CURA	36
3.1.9	ENSAIOS REALIZADOS.....	37
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
4.1.1	ENSAIOS PARA REALIZAR A DOSAGEM PELO MÉTODO ABCP E O TRAÇO DO CONCRETO CONVENCIONAL	41
4.1.2	ENSAIOS PARA REALIZAR A DOSAGEM PELO MÉTODO ABCP E O TRAÇO DO CONCRETO CONVENCIONAL	47
4.1.3	RESULTADO DO ENSAIO DE SLUMP TEST	49
4.1.4	ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	51
5	CONCLUSÃO	55
6	REFERÊNCIAS	57
7	APÊNDICE.....	64

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material estrutural abundantemente utilizado pelo mundo, o mercado da construção civil busca sempre encontrar alternativas que potencializam suas propriedades e minimize suas limitações. (NUNES, N.L.2006)

Visando reduzir tais limitações, o emprego de fibras para reforço de misturas cimentíssimas difundiu grande progresso nos últimos anos, as fibras são agregadas diretamente ao concreto e alojadas aleatoriamente. Dessa forma, com o escopo de alcançar melhores desempenhos no concreto, vários produtos são aplicados. Dentre esses materiais, a utilização de resinas poliméricas em matrizes de cimento, abre um novo campo de aplicação na Construção Civil.

A forma mais tradicional para a avaliação do comportamento do concreto é por meio da determinação da tenacidade ou da resistência residual pós-fissuração no ensaio de flexão em prismas. Existem várias normas que focam esse tipo de ensaio, como ensaio de resistência à compressão axial (NBR 5739); Resistência à compressão (NBR 7215); Massa específica (NM 23); Caracterização química (NM 11); Tração direta, tração por compressão diametral (NBR 7222); Resistência à tração na flexão (NBR 12142); Módulo de elasticidade (NBR 8522); Coeficiente de permeabilidade à água (NBR 10786); Abrasão hidráulica (ASTM C 1138); Absorção (9778); Esclerometria (NBR 7584); Extração de testemunhos (NBR 7680); VeBe, teor de ar incorporado (NM 47); Umidade, estudo de dosagens de CCR, CCV, CAD e CAR (NBR 12821); Slump test, moldagem de corpos de prova (5738); Massa específica e teor de ar (NBR 9833); Ensaio Barcelona .

Os concretos convencionais, compostos por cimento, agregados naturais e água, são os concretos mais utilizados em todo o mundo. O seu alto índice de uso se dá devido ao seu baixo custo, mas em muitos casos este tipo de cimento apresenta manifestações patológicas intensas e em grande incidência, acarretando desconforto visual e degradação da construção. Isso fez com que ao longo dos anos surgissem os chamados concretos especiais, com características diferentes, e que trouxeram alguns avanços em relação aos concretos convencionais. Dentre esses novos concretos estão presentes os compostos com materiais poliméricos

O Concreto polimérico é um material compósito em que os agregados são unidos junto à matriz com a ajuda de um aglutinante de polímero. Estes compósitos

não contêm fase de cimento hidratado, embora o cimento possa ser usado como agregado ou filler.

Tendo em vista o uso de concretos poliméricos empregados a fim de melhorar as propriedades do concreto convencional, este trabalho tem por objetivo primordial relacionar as bibliografias que abordam o emprego do cimento polimérico em substituição ao concreto convencional em canais de drenagem, será elaborado de acordo com as diretrizes requisitadas para uma obra de drenagem pluvial eficiente.

O concreto polímero, um material composto por uma combinação de agregados (areia, e brita) filler (pó de pedra) , ligados por resina epóxi que são utilizadas como aglomerante, apresentam boa resistência a compressão axial e a tração na flexão, a dureza dos agregados garante uma boa resistência ao desgaste por abrasão, o concreto polímero não utiliza água fazendo do mesmo um material sustentável que minimiza o consumo de água potável em ações que não seja de uso humano.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as propriedades mecânicas do concreto polímero em relação ao concreto convencional.

1.1.2 Objetivo Específico

Produzir experimentalmente o concreto convencional e o concreto polimérico e realizar em laboratórios testes que comprovaram o desempenho mecânico de cada concreto. Obter produtos viáveis de fácil acesso a região de Caratinga- Minas Gerais que poderão ser agregados a produção do concreto polimérico Analisar o comportamento mecânico do concreto polímero versus o concreto convencional.

1.2 Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao assunto em estudo, suas características, aplicações visando a implementação do concreto polimérico. Também

são apresentados os objetivos da pesquisa, a importância do tema proposto e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão que traz a nomenclatura e o histórico dos compostos de concreto polímero, a conceituação bibliográfica que traz em seu corpo história do concreto, definição do concreto polímero e também o convencional, tipos de resina, definição de fíler, tipos de fíler, definição de agregados, definição de ensaios entre outros.

O terceiro capítulo é denominado pesquisa experimental, apresenta a caracterização dos materiais, cálculos de dosagem, processo de produção do concreto, moldagem e cura dos corpos-de-prova. A segunda parte trata da metodologia utilizada para os ensaios do concreto após a cura devida nas idades de 7, 14 e 28 dias.

O quarto capítulo tem a finalidade de demonstrar os resultados obtidos através dos ensaios experimentais de compressão axial de tração na flexão.

O quinto capítulo tem a finalidade de apresentar as conclusões obtidas nesta pesquisa e as sugestões para futuros estudos com relação ao tema proposto neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

2.1 História da aplicação do concreto

O concreto é um material dado como novo. Até o fim do século XIX os métodos construtivos usados eram as estruturas em alvenaria e em madeira. Como a madeira, embora produto de abundância na época, apresentava problemas de durabilidade e combustão a alvenaria de pedras ou de tijolos foi o sistema mais utilizados nas obras importantes.

A alvenaria pode ser caracterizada como maneira construtiva que consiste na moldagem de unidades (pedras, tijolos ou blocos) por um material ligante. Desde de o princípio das experiências com a alvenaria de pedras, buscavam se um material que ligavam essas pedras. No início usaram a argamassa de cal. É desta maneira que se inicia a história da cal, do cimento e do concreto: como aglomerantes para argamassas de alvenarias.

Guimarães (1997) diz que existem indícios de que o homem descobriu a cal no início da Idade da Pedra. Malinowski (apud GUIMARÃES, 1997) refere-se a misturas de cal e pozolanas. Podemos então concluir que o cimento, que conhecemos hoje, teve sua origem em 2500 a.C., com argamassa egípcia feita por uma mistura de gesso calcinado. Esse conhecimento se espalhou pelos povos do Oriente e posteriormente pelo Mediterrâneo, Grécia e Roma. No Palácio de Knossos (2.000 a.C.), em Creta, onde foram encontrados monumentos revestidos com camadas de argamassa com cal e fibras de cabelo.

2.2 História da aplicação do concreto polimérico

Segundo Silva Filho (2007) o crescimento de compósitos de grande desempenho é considerado um dos maiores interesses do século XXI, de acordo com pesquisa desenvolvida em 2001 pela National Science Foudation. Esses materiais são formados pela combinação de dois ou mais materiais com propriedades diferentes que se unem para exercer um melhor trabalho.

O concreto polimérico tem conquistado um lugar de destaque pelo mercado da construção civil nos últimos 60 anos. Isso se dá pela substituição parcial ou total do aglomerante, cimento Portland, por resinas poliméricas. Os compósitos podem ser classificados em 3 categorias:

1ª PIC (Concreto impregnado por polímero) e PIM (Argamassa impregnada por polímero);

2ª PMC (concreto modificado por polímero) e PMM (argamassa modificada por polímero);

3ª PC (concreto Polímero) e PM (Argamassa polimérica)

No presente trabalho será aprofundada a categoria do Concreto Polímero (PC).

2.3 O Concreto convencional

De acordo com Cembureau (apud Aïtcin, 2000, p.651), o material mais utilizado na construção é o concreto, normalmente composto de cimento Portland, areia, pedra e água. Entre os anos de 1990 e 1995 foram produzidas mais de um milhão de toneladas de cimento a cada ano.

Considerando que se utiliza uma média de 250 Kg de cimento para cada metro cúbico de concreto, pode-se estimar que mais de 4,4 bilhões de metros cúbicos foram produzidos a cada ano desse período. Como um metro cúbico de concreto tem massa de cerca de 2,5 toneladas, esses 4,4 bilhões de metros cúbicos de concreto têm massa de cerca de 11 bilhões de toneladas, ou seja, mais de 2 toneladas de concreto por pessoa por ano.

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p.02) o fato de este ser um material de excelente resistência à água, ao contrário da madeira e do aço comum, tornando-o ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. Outra razão é a facilidade que alguns elementos estruturais podem ser construídos, diversificando formas e tamanhos. Isto porque o concreto fresco possui consistência plástica, o que permite o material fluir nas formas pré-fabricadas, retiradas após o endurecimento do concreto.

A terceira razão para a popularidade do concreto na construção é o fato de este ser, normalmente, o material mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obras. Os principais componentes do concreto, o cimento Portland e os agregados, são relativamente baratos e comumente disponíveis na maior parte do mundo.

2.4 Principais componentes do concreto

Segundo Petrucci (1998), entende-se por agregado o material granular sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia. A Norma NBR 7211 classifica como agregado graúdo aquelas partículas que possuem diâmetro maior que 4,80 mm (peneira no. 4), e agregado miúdo àquelas inferiores a 4,80 mm, porém maiores que 0,75 mm (peneira 200). (ABNT, 1983).

O agregado miúdo que faz parte dos principais componentes do concreto é a areia, resultante da desintegração natural e da abrasão de rochas ou processamento de rochas arenosas friáveis. Já o agregado graúdo é, normalmente, a pedra britada, que se trata do produto resultante da britagem industrial de rochas, seixos rolados ou pedras arredondadas graúdas. (MEHTA e MONTEIRO, 1994, p.09).

2.5 Concreto polimérico

Sendo formado da mistura de agregados com um polímero como único aglomerante o Concreto de Polímero não contém cimento, por esse motivo, não há fase de hidratação do mesmo, embora ele possa ser usado como agregado.

Segundo Mehta Monteiro (1994), como esse tipo de concreto contém aglomerantes extremamente caros, é importante obter a máxima massa específica compactada seca possível do agregado.

Com características mecânicas sendo parecidas ao concreto convencional, tendo os agregados como material comum, sabendo que suas características térmicas não são recomendadas para usos em estruturas, deverão assim ser utilizados em áreas distintas. Devido à sua alta resistência à compressão e elevada proteção à agentes químicos, ele pode ser usado como painéis estruturais, concreto para pavimento rodoviário e canais de drenagem.

2.6 A importância dos agregados no concreto

2.6.1 Agregado

É um material granular, sem volume e nem forma definida, em geral inerte de propriedade e dimensões que se adequam a engenharia. Juntamente com os aglomerados os agregados formam, nomeadamente o cimento, e por sua vez dão origem ao principal material de construção; o concreto. Nas argamassas e concretos, eles desempenham um importante papel do ponto de vista técnico, econômico, e tem influência benéfica sobre algumas propriedades de grande importância, como: aumento da resistência ao desgaste, retração e etc., sem causar danos a resistência provenientes dos esforços mecânicos, levando em conta que um agregado de boa qualidade tem resistência superior a um aglomerante (PETRUCCI, 1982).

Mesmo sendo um componente o agregado não tem interferência direta na resistência do concreto (concretos usuais), apenas tem função secundária, somente em alguns casos onde encontramos agregados porosos e fracos, sua composição e porosidade mineralógica tem influência na resistência à compressão, módulo de deformação, dureza, que podem influenciar o concreto endurecido nas suas propriedades onde contém este agregado (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

2.6.2 Agregado miúdo

Os agregados miúdos devem ser selecionados para o concreto, com a intenção de reduzir a quantidade de água. A quantidade de água que será absorvida na mistura está mais relacionada com granulometria ótima dos miúdos do que suas próprias características físicas. As partículas do agregado miúdo devem ser arredondadas sempre que possível. Os materiais pulverulentos contendo siltes e argilas deve ser mantido o mais baixo possível. É aceitável utilizar um agregado miúdo com uma dimensão alta, mas somente para concreto convencional estrutural (PRICE apud AÏTCIN, 1998).

ANBR 7211 (ABNT, 2005) é considerado agregado miúdo os agregados que os grãos passam através da malha de 75 mm e permanecem retidos na malha de 0,15mm. Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) o agregado deve ter sua composição por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e de forma algum devem conter substâncias deletérias.

Segundo Aïtcin (2000), sempre que possível devemos usar a finura 2,7 a 3,0. Para diminuição da quantidade de água e também para o aumento da resistência, que

é vantajoso do ponto de vista econômico. Devido a quantidade de finos já presentes na mistura do concreto esta determinação não é prejudicial ao concreto.

2.6.3 Agregado graúdo

Para que o agregado graúdo tenha melhor performance ele tem que ser equidimensional, não podendo ter sua forma alongada, sua dimensão deve ser uniforme, não sendo admitido diferença entre as dimensões de suas frações. A dimensão máxima do graúdo pode variar de 10 a 14 mm e geralmente é selecionada, levando em consideração que os graúdos de até 20 mm podem ser utilizados dependendo de seus aspectos físicos (PRICE apud AİTCIN e MEHTA, 1990).

A NBR 7211 (ABNT, 2005) é considerado agregado graúdos grãos ultrapassam através de uma peneira de malha quadrada de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm.

Segundo Aİtcin (2000) é recomendado que se faça um estudo de mineralogia antes da escolha do agregado graúdo, para assegurar a resistência de suas partículas e evitar a ruptura precoce do concreto.

Entretanto, para Guimarães (2002), devemos considerar que qualquer tipo de agregado graúdo, tem um valor que tornará crítica a relação água/aglomerante, que abaixo dele, qualquer redução independente de qual seja deste fator não irá resultar em aumento significativo da resistência à compressão. Partindo deste ponto, o agregado graúdo se tornara o elo mais vulnerável e fraco deste concreto.

2.6.4 Fíler

O filer é um material sem atividade química com partículas de diâmetro médio próximo ao do cimento, tendo em sua composição materiais naturais ou materiais inorgânicos processados, sua função é exclusivamente o empacotamento físico e granulométrico e ação como pontos de nucleação para que haja uma boa hidratação dos grãos de cimento. (DAL MOLIN, 2005).

Além de modificar as propriedades físicas e mecânicas do concreto quando usadas como material cimentício suplementar, essas adições [minerais] preenchem a porosidade do esqueleto granular do concreto, melhorando a ação ligante do cimento e resultando em uma menor porosidade do concreto

quando no estado endurecido (microestrutura mais densa), o que reduz a permeabilidade e aumenta a durabilidade do material frente à ação de agentes agressivos, tais como os íons sulfato e cloreto e água do mar. (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

Segundo Petrucci (1995), o filler é utilizado principalmente nesses casos: espessado de asfaltos fluidos; fabricação de argamassas betuminosas; preparação de concretos hidrocarbonatos; adição a cimentos; fabricação de borracha artificial; adição a concretos com baixo consumo de cimento para diminuir o índice de vazios.

Fíler calcário

O fíler calcário é um pó fino, extraído da rocha calcário. Sua classificação pode ser feita como calcítico ou dolomítico, dependendo especificamente de sua composição química. O calcário calcítico é aquele que o elemento predominante é a calcita, mineral formado especificamente pelo carbonato de cálcio (CaCO_3). O calcário dolomítico é gerado a partir de troca de parte do cálcio proveniente da calcita, por magnésio, formando a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), em um processo que se dá o nome de dolomitização (DANA, 1993).

Taylor (1990) a ação do fíler e dada tanto no efeito físico como químico, o que não deixa o material ser caracterizado como totalmente inerte. O efeito físico ocorre devido a sua finura, que proporciona um bom preenchimento de vazios. E de efeito químico, se dá na hidratação do concreto nas primeiras idades, funcionando para causar a produção de CH e CSH, além de tornar mais rápida a hidratação dos minerais do clínquer, o C3S, tendo como consequência o aumento da resistência à compressão (BOSILJKOV, 2003).

Fíler pó de pedra

O fíler pó de pedra é caracterizado com um material fino, suas partículas devem ter diâmetro inferior a 0,075 mm, o pó de pedra é um material obtido através da britagem em rocha (ANDRIOLO, 2005).

Em uma pesquisa realizada por Menossi et al. (2004), foram analisados concretos que utilizavam o pó de pedra em sua composição. Para isto foram confeccionados concretos com diferentes traços de fck que se dava entre 15 e 40

MPa. O traço utilizado como base foi 1 : 3 : 3 em massa, a dosagem de pó de pedra utilizada foi: 25%, 50%, 75% e 100% em massa. Foi utilizado o cimento CP II F 32. Com isto os autores viram que o implemento do pó de pedra não alterou a trabalhabilidade e nem resistência do concreto. Com relação a durabilidade o pó de pedra melhorou a composição em 13% em relação a compacidade, o tornando mais coeso e trabalhável, menos permeável, tornando o concreto mais durável.

2.7 Propriedades do concreto polímero

2.7.1 Generalidades

O concreto polímero é uma mistura composta que tem em sua composição resina (monômero ou prepolímero) e alguns materiais que não são orgânicos (agregados graúdos, areia e fílers como a cinza volante). Os compostos do concreto como agregados e fíler devem estar totalmente secos, para garantir uma boa mistura e resistência do concreto. O tratamento da resina é feito previamente com aditivos, é feito uma mistura de agregados e o fíler que causa a reação de polimerização. O teor de aditivos misturados ao aglomerante controla a cura do concreto (TEZUKA, 1988).

De acordo com Rebeiz e Fowler (1991), a trabalhabilidade influencia na composição em que o concreto polímero deve ser formulado, a economia e resistência, de acordo com a intenção de aplicação. Por exemplo, uma mistura com 10% de resina, 32% de areia, 45% de pedra britada e 13% de cinza volante é determinação para aplicações em pré-moldados. Levando em consideração revestimentos a dosagem de resina e os agregados devem modificadas. Podendo utilizar os parâmetros de 60% de areia, 20% de resina e 20% de cinza volante, em massa. Levando em consideração que em todos os casos tem suas características químicas e físicas dos materiais secos e aglomerantes.

O desenvolvimento do concreto polímero, se acordo com STEINMBERG (1973) e KUKACKA e ROMANO (1973), é justificada de acordo com deficiências do concreto convencional. O concreto de cimento Portland tem pH alcalino devido aos produtos de hidratação. O concreto, exposto a ácidos, reagem reduzindo o pH e, e como consequência, prejudicando a armadura causando a perda de massa e resistência. Entretanto, utilizando o aglomerante polimérico, a maioria destas deficiências são

sanadas: o polímero é resistente a ataques químicos e seu índice de vazios pode ser reduzido.

Grande parte dos problemas que podem ocorrer nos concretos poliméricos são originados de suas características viscoelásticas do polímero. Os polímeros termoplásticos grande parte das vezes tem módulo de elasticidade baixo, isto quer dizer que podem ter problemas com flexão. Por este motivo não costumam usar plásticos nos elementos estruturais, sem que tenha um filler, de agregados, ou de ambos (STEINMBERG, 1973).

Segundo Rebeiz e Fowler (1991), as resinas mais indicadas para a produção de concreto polímero são as de baixa viscosidade, com elas aumentam as capacidades do concreto molhar e em consequência a trabalhabilidade, com isto uma ótima proporção agregado/resina, melhorando o aspecto econômico. Os agregados oferecem um maior módulo de elasticidade que o aparelho aglomerante isto tem que ser levado em consideração, o que faz diminuir grau de expansão térmica, porque agregados tem grau de expansão térmica inferior ao do aglomerante, com isto, seu agrupamento causa uma perda na retração e liberação de calor.

Outra coisa que devemos levar em consideração é a quantidade de resina. Quando é utilizado menores quantidades de resina causa diminuição dos efeitos proporcionados pela temperatura dada durante a reação (reação exotérmica) de polimerização, ajudando nas características de resistência (KUKACKA e ROMANO, 1973).

2.7.2 Materiais utilizados na produção de concreto polímero

Para Mano (1985) e Sprinkel (1997), uma vasta variedade de matérias componentes pode ser combinada na confecção do concreto polímero, a seguir serão listados alguns sistemas de resina e de agregados utilizado atualmente em concreto polímero.

a) Tipos de aglomerantes e aditivos:

- I. Resina se poliéster insaturada dissolvida em estireno
- II. Epóxi
- III. Metil metacrilato
- IV. Poliuretano
- V. Agente de cruzamento: Divinilbenzeno; Trimetilol Propano Trimetacrilato

Para Ohama (1973), as propriedades do concreto polímero estão ligadas com as propriedades do aglomerante.

b) Agregados e filers

- I. Agregados naturais (areia e pedra)
- II. Pó de Brita
- III. Carbonato de cálcio
- IV. Sílica microcristalina
- V. Fibras (vidro, aço...)

Ohama (1992 E 1976) diz que, além dos agregados miúdos e graúdos, nos concretos poliméricos são geralmente introduzidos filers de baixa granulometria para melhorar a tixotropia do material. O filer aumenta a coesão do concreto, que impede a segregação das matérias

Tezuka (1997) relata que outros fatores também podem influenciar nas propriedades do concreto polímero, são elas:

- a) Condição de endurecimento: a maneira nas quais o concreto polímero é colocado para endurecer, que determina o estado de tensão interna inicial no material;
- b) Mecanismo de interação do material e o meio circundante: o meio ambiente tem uma influência decisiva sobre o concreto de resina e desenvolve a evolução do estado de tensões internas secundárias no concreto polímero.

2.7.3 Aplicações dos compósitos de concreto polímero

A variedade das aplicações justifica a multifuncionalidade destes compósitos mostrando que vale a pena investir em estudos voltados para esse composto.

a) Pré-moldados

O excelente tempo de cura, resistência e durabilidade é muito usado para confecção de blocos pois permite o uso de seções mais finas reduzindo o peso próprio nas estruturas e minimiza o custo do transporte e na construção, depósitos subterrâneos, canos de esgotos e outros também fazem parte da aplicação dos concretos polimérico FOWLER (1998).

b) Revestimento

O concreto polímero segundo (FWLER, 19980), é um excelente material devido a sua ótima ligação ao concreto de cimento Portland, resiste a abrasão e ao intemperismo, cura rápida, impermeabilidade, e baixo peso. Os monômeros e resinas mais utilizados são o sistema poliéster –estireno, epóxi e os acrílicos.

c) Reparos

A necessidade de se obter reparos rápidos e duráveis vem crescendo, em especial em obras de infra- estrutura, pavimentações, nos componentes para tratamento de água e esgoto e estruturas hidráulicas. Segundo White e Montani(1997) o concreto polimérico adquire excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade. Permitindo o uso de menor quantidade de material, e, portanto, minimizando seu peso próprio.

Em virtude do seu rápido tempo de cura são reduzidos os problemas de desobstrução do trânsito, diminui atividades de manutenção e reparo. Também comporta como um bom isolante acústico e térmico. Nas estruturas hidráulicas ele apresenta boas resistência á abrasão, resiste aos ácidos durabilidade, boa resistência mecânica

2.8 Resinas utilizáveis na construção civil

Geralmente, as resinas usadas para compósitos poliméricos são: poliéster, epóxi, fenólica, poli metil metacrilato, resina de ureia-formaldeído, dentre outras (GORNINSKI e KAZMIERCZAK, 2007). Entretanto, por serem mais utilizadas em PC, as resinas abordadas neste item serão: poliéster e epóxi. Além destas, alguns estudos já apresentam resultados satisfatórios com aglomerantes reciclados.

Grande parte dos compostos de concreto polímero estão conexas ao tipo de resina utilizada, as mais comuns: resina epóxi e a resina poliéster.

Resina epóxi: a resina epóxi é composta essencialmente pela reação do bisfenol e da epícloridrina. Quimicamente, os epóxidos se diferenciam por possuírem um grupo epóxi, onde um átomo de oxigênio é ligado de forma lateral a átomos de carbono da família polimérica. Desta maneira, a quantidade de epóxi 46 existente na composição irá causar a sua viscosidade, podendo ir de muito líquida até o estado sólido (MORRISON e BOYD, 1990).

Resina poliéster: Segundo Morrison e Boyd (1990), os poliésteres podem ser alcançados por esterificação de um diácido com um diol ou pelo próprio adensamento de um ácido hidróxi-carboxílico. Desta maneira, podem-se dividir os poliésteres em 4 diferentes tipos:

- poliésteres saturados termoplásticos: obtidos pela poli condensação de ácidos difásicos saturados à 200°C;
- poliésteres saturados termoestáveis: processados através da condensação de um diácido saturado;
- poliésteres insaturados curados por condensação: obtidos pela poli condensação de um glicol saturado com um diácido não saturado, dissolvidos em um monômero do tipo vinílico;
- poliésteres insaturados curados por copolimerização: obtidos por meio de polimerização, formando uma estrutura molecular tridimensional

2.9 Propriedades do concreto convencional

A trabalhabilidade do concreto define a facilidade com o qual um concreto pode ser manejado sem segregação nociva. De todas as maneiras, um concreto que não seja fácil de lançar e adensar não só aumentará o custo como também terá resistência, durabilidade e aparência, inadequadas. Portanto trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto a qualidade do concreto (METHA & MONTEIRO, 1994).

Coesão é a facilidade de adensamento e de acabamento, a qual é analisada por facilidade de desempenar e avaliação visual da resistência à segregação (METHA & MONTEIRO, 1994). A ausência de coesão da mistura pode causar a desagregação do concreto no estado fresco, modificando sua composição física e sua homogeneidade.

Concreto coeso é quando ele se apresenta homogêneo em todas as fases de sua utilização, na produção, no transporte, no lançamento, ou até mesmo no seu adensamento durante a concretagem. Na maioria das vezes é preciso fazer várias misturas para teste com diferentes proporções entre agregados graúdos e miúdos para se achar uma mistura com coesão apropriada, pois essa propriedade depende abundantemente da proporção de partículas finas na mistura. Não existem normativas de ensaios, a coesão de uma mistura. Porém, testes práticos como o Slump test podem testar a coesão (HELENE e TERZIAN, 1993).

A segregação é caracterizada como sendo a separação dos elementos do concreto fresco de forma que a sua distribuição não seja mais uniforme (METHA & MONTEIRO, 1994). A segregação é típica de concretos pobres e secos, os grãos maiores do agregado tendem a separar-se dos demais durante as operações de lançamento com energia demasiada ou vibração excessiva. Ainda não existem ensaios para medida da segregação, a inspeção visual e inspeção por testemunhos extraídos do concreto endurecido são, geralmente, adequados para definir se a segregação é um problema em uma dada situação (METHA & MONTEIRO, 1994).

Uma das principais características do concreto é a resistência aos esforços mecânicos de vários tipos. Em grande parte das estruturas, o concreto está exposto a esforços que transmitem tensões de compressão. Isso posto, juntando ao fato de que o ensaio é simples e preciso, faz com que a resistência axial seja a propriedade avaliada com maior intensidade para verificação da qualidade de um concreto. (NBR 5739/1994). Muitos fatores podem interferir a resistência mecânica do concreto, por exemplo, a idade, o tipo de cimento, a forma e graduação dos agregados, a relação água/cimento, a forma e dimensão dos corpos de prova, as condições de cura, etc.

2.10 Exigências das normas para concreto

A NBR 6118 de 04/2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento fala os requisitos básicos exigíveis para o projetos estruturais de concreto simples, armado e protendido, sem levar em conta aquelas em que se encaixam concreto leve, pesado ou outros especiais. Para a elaboração desta norma, foi utilizada a filosofia da edição anterior da NBR 6118 (historicamente conhecida como NB-1) e das ABNT NBR 7197, ABNT NBR 6119 e NB-49, de modo que a esta norma define os critérios gerais que classificam o projeto das estruturas de concreto, sejam elas de edifícios, obras hidráulicas, pontes, portos ou aeroportos etc. Entretanto, ela deve ser complementada por outras normas que regem critérios para estruturas específicas.

Esta norma se aplica às estruturas de concretos normais, caracterizadas por massa específica seca maior do que 2.000 kg/m^3 , não ultrapassando 2.800 kg/m^3 , do grupo I de resistência (C20 a C50) e do grupo II de resistência (C55 a C90), conforme classificação da NBR 8953. Dente os concretos especiais extinguidos desta Norma estão o concreto massa e o concreto com a ausência de finos.

Ela delimita os requisitos gerais a serem respeitados pelo projeto como um todo, bem como as condições específicas e relativas a cada uma de suas etapas. Não inclui características exigíveis para evitar os estados limites gerados por determinadas ações, impactos, como sismos, explosões e fogo. Quando se tratar de ações sísmicas, consultar a NBR 15421; e quando ações em situação de incêndio, consultar a NBR 15200.

Para estruturas especiais, como pré-moldados, pontes e viadutos, obras hidráulicas, arcos, silos, chaminés, torres, estruturas off-shore, ou estruturas é utilizado técnicas construtivas que não são convencionais, como formas deslizantes, balanços sucessivos, lançamentos progressivos e concreto projetado, as condições desta norma são aplicáveis, devendo ser ajustadas em pontos localizados por Normas Brasileiras específicas.

A durabilidade é a capacidade de uma estrutura resistir a exposição das influências ambientais que já são previstas e definidas pelo autor do projeto estrutural e pelo seu assistente, ao iniciar os trabalhos de elaboração do projeto. A empregação estrutural adotada em projeto deve estar dentro dos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, seguindo à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

2.11 Métodos de Dosagem de concreto

2.11.1 Método INT

O método INT que é implementado por Lobo Carneiro no Instituto Nacional de Tecnologia, proporciona a possibilidade de ser empregado com o mínimo possível de ensaios laboratoriais, sendo preciso, unicamente, caracterização das granulometrias dos agregados, que pode ser dispensada quando se tem conhecimento da composição da localidade (PETRUCCI, 1998).

Abrams estabeleceu um módulo máximo de finura de acordo com a lei seguindo estritamente a relação água/cimento, ao módulo de finura do agregado, ao traço e à consistência, determinando assim um método dosagem. E determinou que este método só teria validade no caso de um agregado bem graduado e graúdo e de um composto de areia. CARNEIRO, 1953).

Segundo Verçoza (1995), a relação água/cimento é dada pela seguinte equação 1 a seguir, de Abrams:

$$f = \left(\frac{A}{B} x\right) \quad (1)$$

Onde:

A e B: coeficientes do cimento empregado;

x: relação água/cimento.

De acordo com o estudo da equação podemos perceber que a variação de A e B do mesmo tipo de cimento é muito pequena. As diferenças são significativas quando mudamos o tipo de cimento. Para que a adoção desses valores, foi proposto por Abrams curvas medias para os cimentos CP I, CP I S, CP II, CP III e CP IV (VERÇOZA, 1995).

2.11.2 Método da ABCP

De acordo com Prudêncio (1994), o estudo se baseia na ideia que cada tipo de agregado tem uma porcentagem de vazios que será ocupado por argamassa. Para se ter uma trabalhabilidade adequada deve existir uma quantidade adicional de argamassa que servira de lubrificante entre os grãos. Esta argamassa será especialmente dedicada ao tipo de areia e a quantidade de vazios, levando em conta que as areias com grãos maiores geram argamassas mais ásperas (menos lubrificantes).

Ainda segundo descrito por Prudêncio (1994), para utilizar este método temos que seguir os seguintes parâmetros:

- a) Massa específica, nível de resistência aos 28 dias do cimento utilizado e tipo;
- b) Massa específica dos agregados disponíveis e Análise granulométrica;
- c) Massa compactada unitária do agregado graúdo;
- d) Concreto;
 - Resistência de dosagem: função da resistência característica.
 - Condição de exposição ou finalidade da obra
 - Consistência desejada (slump)

- Dimensão máxima característica do agregado de acordo com a peça e disposição de armaduras na qual será utilizado

A determinação da relação água/cimento está relacionada com parâmetros de durabilidade. Quando não houver nenhuma restrição, podemos empregar tabelas que denominam a resistência do concreto aos 28 dias em relação água/cimento, ou fazer o uso de formulas propostas por Helene (1993), em relação ao tipo de cimento empregado. São calculados o consumo de cada material de acordo com as formulações específicas pelo Método ABCP na equação 2:

$$\frac{cc}{cc} : \frac{cm}{cc} : \frac{Cb^1}{cc} : \frac{Cb^2}{cc} : \frac{Ca}{cc} \quad (2)$$

2.11.3 Método do IPT/EPUSP

O método foi produzido para dosagem de concretos convencionais a partir de qualquer material disponível na região. O método é muito simples, após realiza-lo, sua execução deve ser feita com os mesmos materiais a serem utilizados na produção em larga escala. Sera desenhado o diagrama de dosagem de acordo com a correlação, que foram obtidas ao longo dos anos por pesquisadores (Abrams, Lyse, Molinari e outros) (HELENE e TERZIAN, 1992).

Depois de definir a relação água/cimento e resistência à compressão, se obtém o traço. O estudo se inicia com uma avaliação preliminar, colocando a mistura na betoneira do traço 1:5 (cimento/agregados secos totais, em massa). Com base nas informações obtidas nesta mistura, temos que confeccionar mais duas, definindo os traços em 1:3,5 (traço rico) e em 1:6,5 (traço pobre). O teor ideal de argamassa é uma das fases mais importante do estudo de dosagem, através observações práticas e tentativas (HELENE, 1987).

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os materiais que fazem parte da composição do concreto polímero deste estudo e do concreto convencional, além de suas caracterizações. Logo após, são descritos os parâmetros adotados para mistura, moldagem e cura, bem como os ensaios que foram realizados.

A classificação da referente pesquisa é compilação e experimental, a área de estudo abrangente é a de concreto e matérias de construção, serão realizados os ensaios de resistência à compressão axial; Massa específica; Massa Unitária, Resistência à tração na flexão; Slump test; Granulometria.

Primeiramente foi definido os conceitos que são parâmetros do experimento; Após essa etapa foi feito o planejamento contendo todos os processos, e as análises do experimento; após analisar e preparar se deu início a execução do desenvolvimento da pesquisa, com o fim das execuções é feito uma análise dos dados coletados com suporte teórico e por fim os resultados são apresentados e criado o banco de dados, que irá armazenar todos os dados do experimento.

3.1 Materiais utilizados na elaboração do concreto

3.1.1 Materiais concretos poliméricos

Em geral, o desempenho dos compósitos do concreto polimérico está diretamente ligado às propriedades da resina utilizada que faz o papel de aglomerante. Entretanto, é com a incorporação dos agregados que o concreto adquire um melhor módulo de elasticidade. Quanto aos agregados, eles devem ser razoavelmente resistentes, atribuindo rigidez e resistência ao concreto (ORAK, 2000). Outro componente normalmente incorporado ao concreto é o filer, o qual se trata de um agregado de baixa granulometria, pulverulento. Será descrito abaixo os materiais utilizados na elaboração do concreto polimérico.

a) Resina Epóxi

Foi utilizada nessa pesquisa uma resina epóxi comercial. O sistema de resina epóxi é baseado em dois componentes, diglicidil éter de bisfenol A e um endurecedor de amina alifática também conhecido como catalisador, esse sistema apresenta baixa viscosidade, e foi processado com a razão de 7g de catalisador para cada 1 kg de resina, a razão de mistura foi baseada em recomendação do fabricante.

b) Agregado

Foi utilizada areia de origem natural com tamanho das partículas aproximadamente uniforme apresentando sua granulometria menor que 4,8 mm e para enriquecer suas propriedades mecânicas foi acrescentado a utilização de Brita 0 ou também conhecida como pedrisco, que possui tamanho dos grão de 4,8 mm a 9,5 mm suas características basearam-se na ABNT NBR NM 248.

c) Fíler

O pó de brita faz o papel de fíler nesse trabalho de acordo com Ministério de Minas e Energia (MME) sua granulometria é menor que 4,8 mm é o material proveniente da britagem de rocha, que passa na peneira #200 de malha 6,3mm.

O pó de pedra é o rejeito da exploração de pedreiras e seu diâmetro máximo é inferior a 4,8 mm. Em função de sua curva granulométrica, pode-se caracterizá-lo como sendo uma areia média. Atualmente, o pó de pedra não possui valor comercial de mercado, sendo considerado um “material marginal”, que não possui uma destinação definida, permanecendo estocado nos pátios das pedreiras, formando enormes pilhas que provocam vários impactos ambientais (MENOSSI, Rômulo Tadeu, 2004)

O pó de pedra utilizado é proveniente da Britadora localizada na cidade de Caratinga, Minas Gerais.

3.1.2 Materiais usados para a mistura do concreto convencional

No concreto convencional o cimento é o aglomerante que une os agregados é o tipo de cimento que irá definir a resistência do concreto a ser utilizado. O cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados; Tanto a forma quanto a textura do agregado exercem forte influência sobre a resistência a compressão do concreto principalmente nas primeiras idades NEVILLE (1997).

a) Cimento

O Cimento Portland tem quatro materiais que demonstram diferentes reações no seu processo de hidratação: o C3S que é Silicato tricálcico; o C2S ao Silicato dicálcico; o C3A ao Aluminato Dicálcico.

O C3S a hidratação começa em poucas horas, começa o processo de cristalização e o desprendimento de calor.

Esse processo que o torna diferente dos outros por ser o responsável da resistência no início do processo. “O C2S entra em contato lentamente pela água; após algumas semanas os cristais são tomados de silicato hidratado.

Desta maneira, o C3A contribui para a resistência no primeiro dia. “O C4AF reage mais lento que o C3A. Não libera calor e forma um aluminato hidratado”. (PETRUCCI, 1998, p.14).

O composto químico C4AF tem como característica de não influenciar no fator resistência.

Os silicatos dos cimentos são compostos impuros, mas tem óxidos secundários, em pequenas quantidades, em solução sólida. Estes óxidos têm efeitos importantes nos arranjos atômicos, formações cristalinas e nas propriedades hidráulicas dos silicatos.

Deste modo, o cimento que será utilizado será o CP3-40 cimento Portland caracterizado por apresentar maior impermeabilidade, durabilidade, baixo calor de hidratação e alta resistência.

b) Agregados

Será utilizada areia natural com tamanho das partículas aproximadamente uniforme apresentando sua granulometria menor que 4,8 mm como agregado miúdo

e brita basáltica nº 0 que sua granulometria corresponde ao tamanho de 4,8 mm a 9,5 mm; e Brita basáltica nº 1 tamanhos que variam de 9,5 mm a 19 mm como agregado graúdo, em que suas respectivas caracterizações basearam-se na ABNT NBR NM 248.

c) Água

A água de abastecimento público é adequada para o concreto e já vem sendo utilizada, não necessitando de ensaio. A água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto. A água de esgoto, mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concreto. A água utilizada precisa atender aos requisitos da NBR 15900 – Água para amassamento do concreto

3.1.3 Mistura

a) Mistura do concreto convencional

Para a mistura do concreto foi utilizado BETONEIRA CSM a capacidade volumétrica do tambor é de 145 litros com rotação de 34RPM (rotação por minuto). De acordo com (A.M Neville – 2015 Propriedades do Concreto - 5ª Edição) é primordial que ocorra alternância dos materiais no momento da mistura entre as diferentes partes do tambor de modo que o concreto fique uniforme.

Foi então feito a mistura da seguinte maneira: primeiro foi adicionado 1/3 da água para umedecer a betoneira, após foi então adicionado a massa total (100%) de agregado sendo primeiro adicionado a brita 1 e sucessivamente a brita 0, o cimento foi adicionado em seguida na porcentagem total de sua massa (100%), a areia foi adicionado em seguida, colocando a quantidade em massa por completo (100%) e por fim foi adicionado restante da água 2/3. A definição da quantidade dos materiais foi feita através do método de dosagem ABCP.

Foi então misturado até obter uma massa homogênea e despejado no carrinho de mão para poder moldar os corpos de provas.

b) Mistura concreto polimérico

Também foi utilizado para a mistura do concreto, BETONEIRA CSM com capacidade volumétrica do tambor de 145 litros e rotação de 34RPM (rotação por minuto), Primeiramente foi adicionado todos os materiais secos em sua porcentagem total na seguinte ordem: agregado graúdo(brita 0) , agregado miúdo (areia) e filer (pó de pedra) e por fim foi colocado a resina a qual foi previamente misturada ao catalizador.

O presente estudo baseou em uma pesquisa realizada anteriormente pelos autores (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2007a). A definição do teor de resina deu-se em função de que a maioria dos autores de trabalhos em concreto polímero obtiveram bons resultados utilizando entre 10% e 20% de resina; os demais materiais também foi feita sua dosagem de acordo com estudos anteriores. Dentre este, TROMBINI, R.C. (2004), OSHIMA ET AL. (2001), RAMÍREZ e SÃO JOSÉ (2001), VIPULANANDAN E MEBARKIA(1996) .

3.1.4 Moldagem Corpos de Prova

Foram realizados o mesmo procedimento para os dois tipos de concreto, a moldagem foi executada em corpos de provas cilíndricos (10x20cm), feitos de aço, os quais foram previamente tratados com óleo a fim de facilitar a desmoldagem. Todos os moldes seguiram as especificações da NBR 5738:1994, onde o adensamento manual foi executado com ajuda de um soquete metálico de 40 cm de comprimento. A compactação foi feita em 3 camadas iguais cada uma submetida a 25 golpes. A figura 1 mostra os corpos de provas já com o concreto e corretamente adensado:

Figura 1: Corpos de prova nas primeiras 24 horas



Fonte: acervo dos autores, 2018

3.1.5 Cura

a) Cura concreto Convencional

Antes de serem armazenados, os corpos-de-prova foram identificados. Após sua identificação, os corpos-de-prova foram armazenados até o momento do ensaio em tanque de cura respeitando as normas ABNT NBR 5738 (2002) a Figura 2 mostra os corpos de prova no momento em que foi colocado no tanque de cura.

Figura 2: Corpos de prova concreto convencional em tanque de cura



Fonte: acervo dos autores, 2018

b) Cura concreto polimérico

Após a moldagem, os corpos de provas foram colocados em temperatura ambiente, aproximadamente 23°C por 12 horas e então foram desmoldados. Após esse processo foram colocados em estufa 50°C até serem ensaiados, a estufa foi utilizada para o processo de cura a fim de manterem-se sob controle os parâmetros de temperatura e umidade, conforme mostra figura 3:

Figura 3: Corpos de prova concreto Polimérico em estufa



Fonte: acervo dos autores, 2018

Para o corpo de prova correspondente ao ensaio de tração, devido suas dimensões não obteve uma estufa que suportasse, fazendo com que a cura do mesmo tenha acontecido sendo armazenada ao ar livre, em temperatura ambiente podendo variar durante as horas do dia.

3.1.6 Ensaios Realizados

a) *Ensaio Massa Específica –ME*

É o peso da unidade de volume, incluindo-se os vazios contidos nos grãos. É determinada preenchendo-se um recipiente de dimensões de 1000 ml ou 1 litro. O

ensaio foi realizado de acordo com as normas NM 53/2003 para ME do agregado graúdo e NM 52/2009 para agregado miúdo. A equação 3, utilizada para esse ensaio foi:

$$\frac{M}{V_r} \quad (3)$$

Onde:

M= Massa

Vr: Volume Real

Para o cálculo de ME para o agregado graúdo (brita 1 e brita 0) foi utilizada uma balança hidrostática como aparelhagem e a seguinte equação 4:

$$ME = \frac{W}{W - H} \quad (4)$$

Onde;

W= peso seco do agregado

H= peso imerso na água

Para o cálculo de ME para agregados miúdos (areia) foi utilizado psicrômetro como aparelhagem e utiliza-se a seguinte equação 5:

$$ME = \frac{m_{areia}}{((m_{ag} + m_{areia}) - (m_{ag}))} \quad (5)$$

Onde:

m_{areia} = Amostra areia

m_{ag} = Amostra de água

b) Ensaio Massa Unitária-MU

Para o cálculo de MU para o agregado graúdo (brita 1 e brita 0) foi utilizado balança hidrostática como aparelhagem e a seguinte equação 6:

$$d = \frac{M}{V_a} \quad (6)$$

Onde:

D= massa unitária

M = valor seco do agregado

Va= Volume Aparente

c) *Granulometria*

De acordo com a ABNT 7217 (ABNT, 1987) O ensaio de granulometria é com a finalidade de definir da percentagem de tipos de solos dividindo-as em faixas. Com o resultado deste ensaio é possível definir a curva granulométrica do solo, este ensaio e muito importante para a caracterização dos solos, auxilia na determinação, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade etc. a classificação granulométrica pode ser realizada apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5734 - Peneiras para ensaio - Especificação

NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação

NBR 7216 - Amostragem de agregados - Procedimento

NBR 7219 - Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos -
Método de ensaio

NBR 9941 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de
laboratório - Procedimento

Equipamentos utilizados:

- Balança de precisão;
- Estufa para secagem;
- Peneiras: normal, intermediaria e tampa de fundo;
- Agitador mecânico de peneiras;
- Bandejas;
- Escova ou pincel de cerdas macias;
- Fundo avulso de peneiras ou encerado de lona.

d) Resistência mecânica

Foi feito o ensaio de resistência a compressão axial aonde os corpos de provas foram submetidos ensaio de resistência a compressão axial no laboratório de construção civil da Faculdade Integrada de Caratinga-FIC, executada em uma prensa manual para concreto de acordo com a norma técnica NBR 5739 (ABNT, 1980). O resultado foi obtido com 7 dias, 14 dias e 28 dias. Para o ensaio de Resistência a tração na flexão o ensaio foi executado no mesmo laboratório de acordo com a norma ABNT NBR 12142:1990. Aos 28 dias foram ensaiadas uma amostra para cada concreto

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise dos resultados

Para analisar o comportamento mecânico foram produzidos 2 traços de concreto, sendo um concreto convencional e um concreto polimérico. As propriedades do concreto, estão ligadas as propriedades dos materiais empregados e a proporção entre eles, portanto, a análise dos resultados inicia-se do ponto de vista dos materiais e da dosagem dos concretos.

4.1.1 Ensaios para realizar a dosagem pelo método ABCP e o traço do concreto Convencional

a) Granulometria

No quadro 1, apresenta-se os resultados obtidos através do ensaio de granulometria que foram realizados de acordo com as normas NBR 7217 e NBR 7211, com o objetivo de caracterizar os agregados quanto ao tamanho e à distribuição de suas partículas para encontrar o valor de MF (modulo de finura) para poder definir o traço do concreto

Quadro 1: Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos

PENEIRA	ABERTURA (mm)	MASSA RETIDA(g)	%RETIDA(g)	%RETIDA ACUMULADA(g)
	37,5	0	0	0
	25	0	0	0
	19	75,5	7,58	7,58
	9,5	309,56	31,08	38,66
	4,75	389,32	39,08	77,75
	2,36	184,66	18,54	96,29
Fundo	-	36,93	3,70	100
Total	-	995,97	100	

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Nesse ensaio o valor do MF obtido foi 0,99 , pode-se observar que a dimensão mínima é de 19 mm.

No Quadro 2 a seguir, é repetido o ensaio de granulometria para os agregados miúdos o procedimento foi o mesmo o que diferencia é a malha da peneira.

Quadro 2: Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos

PENEIRA	ABERTURA (mm)	MASSA RETIDA(g)	%RETIDA(g)	%RETIDA ACUMULADA(g)
	2	15,75	3,15	3,15
	1,18	48,16	9,65	12,81
	0,6	154,21	30,9	43,72
	0,3	148,88	29,8	73,56
	0,15	104,67	20,9	94,54
	0,075	21,87	4,3	98,93
Fundo	-	5,32	1,0	100
Total	-	498,86	100	

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Nesse ensaio o valor do MF obtido foi o de 3,26 pode-se observar que a dimensão mínima é de 2 mm.

A granulometria e o modulo de finura são elementos de grande importância para o desempenho do concreto.

O diâmetro máximo é definido após o ensaio de granulometria pela abertura de malha da menor peneira, cuja porcentagem retida acumulado seja menor ou igual a 5%.

Diâmetro máximo da Brita= 25mm

Diâmetro máximo da areia= 2mm

a) Ensaio Massa Especifica-ME

O ensaio foi realizado de acordo com as normas NM 53/2003 para ME do agregado graúdo e NM 52/2009 para agregado miúdo.

Para o ensaio de agregado graúdo os resultados são apresentados no quadro 3:

Quadro: 3: Resultados obtidos pelo ensaio de ME para agregados miúdos

AGREGADO GRAUDO	Peso Seco do agregado(W)	Peso saturado do agregado (Ws) g	Peso imerso na água(H)	Massa Especifica (ME)
Unidade de medida	kg	kg	kg	KN/m ³
	2068,51	2009,09	2008,38	2913

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

O Cálculo foi realizado pela equação 7 a seguir:

$$ME(\text{agregado graúdo}) = \frac{W}{W_s - H} \quad (7)$$

$$ME(\text{agregado graúdo}) = \frac{2068,51}{2009,09 - 2008,38} = 2913 \text{KN/m}^3 \quad (8)$$

W= peso seco do agregado

Ws = peso saturado agregado

H= peso imerso na água

Para o cálculo de ME para agregados miúdos (areia) foi encontrado os seguintes valores quadro 4:

Quadro 4: Resultados obtidos pelo ensaio de ME para agregados miúdos

AGREGADO MIÚDO	Peso Seco do agregado(<i>m areia</i>)	Peso areia + peso água (<i>m ag + m areia</i>)	Peso água(<i>m ag</i>) kg	Massa Especifica (ME)
Unidade de medida	(g)	(g)	(g)	KN/m ³
	500,05	781,84	283,15	1002

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

O resultado é obtido pela equação 9:

$$ME = \frac{m_{areia}}{(m_{ag} + m_{areia}) - m_{ag}} \quad (9)$$

$$ME \frac{500,05}{(781,84 - 283,15)} = 1002 \text{ Kg}/m^3$$

m areia = Amostra areia

m ag = Amostra de agua

Observa se que o agregado miúdo (areia) possui massa especifica menor que a do agregado graúdo (brita) utilizado na pesquisa.

De acordo com Petrucci (1993) a influência dos agregados miúdos na resistência se da pela sua granulometria, uma vez que o agregado graúdo tem a influência em função de sua forma e textura de suas partículas. No caso dos agregados miúdos quanto mais finos, mais superfície especifica terão, fazendo com que precise de uma maior quantidade de agua para molhar os grãos, consequentemente ocorre diminuição de resistência mecânica.

c) *Ensaio Massa Unitária – MU*

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 45(2006). Após realizar o ensaio foi encontrado os seguintes valores:

MU para o agregado graúdo (Brita)

$$d = \frac{1645,01}{1000} = 1645 \text{ KN}/m^3$$

MU para o agregado miúdo (Areia)

$$d = \frac{1462,17}{1000} = 1462 \text{ KN}/m$$

d) *Traço do Concreto*

Na tabela 2 será apresentado as propriedades do concreto convencional para o calculo do traço que foi baseado no método ABCP:

Tabela 1: Propriedades do Concreto

Tipo cimento	CP3 – 40 RS
Massa especifica	3100 kg/m ³
FCK	20 Mpa
Sd	5,5 Mpa (Aplicável às classes: C10 e C25)
Classe de agressividade:	II Moderada

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

O tipo de cimento escolhido foi o CP3-40 RS, pois ele apresenta maior impermeabilidade, durabilidade, baixo calor de hidratação, a massa especifica foi especificada pelo fabricante do cimento, o fck foi definido como parâmetro para comparação entre os dois concretos experimentais no apêndice está disponível o memorial de cálculo referente a dosagem do concreto conforme o método ABCP. As propriedades dos agregados graúdo e miúdo são apresentadas na tabela 3:

Tabela 2: Propriedades dos agregados graúdos e miúdos

Agregados	D.Max (mm)	M.U (kg/m ³)	M.E (kg/m ³)	MF
Propriedade Brita	25	1645	2913	3,236
Propriedades Areia	2	1462	1002	3,236

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Serão apresentados os resultados obtidos através dos cálculos exigidos pelo método ABCP que define o consumo de cada material na tabela 4:

Tabela 3: Consumo de Materiais

Água (CA)	200 L/m ³
Cimento(CC)	425,53 kg/m ³
Brita 0 (40%)	430,8 Kg/m ³
Brita 1 (60%)	646,2 Kg/m ³
Areia	293,58Kg/m ³

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Depois de realizar todos os cálculos ,se encontra o traço do concreto de acordo com a Dosagem feita pelo método ABCP:

$$\frac{425,53}{425,53} : \frac{293,58}{425,53} : \frac{430,8}{425,53} : \frac{646,2}{425,53} : \frac{200}{425,53}$$

Foram feitos 3 traços sendo o traço unitário, o traço em massa que corresponde a um saco de cimento de 50 kg e o traço usado pra realizar os ensaios como mostra a tabela 5:

Traço unitário	1: 0,68 : 1,01 : 1,52: 0,47
Traço em massa (por saco)	50: 34: 50,5 : 76 : 23,5
Traço usado no ensaio	8 : 5,44 : 8,08 : 12,16 : 3,76

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

A Figura 4 mostra os materiais para elaboração do concreto de acordo com o traço calculado:

Figura 4: Materiais separados e pesados prontos para ser colocado na betoneira



Fonte: acervo dos autores, 2018.

4.1.2 Ensaios para realizar a dosagem pelo método ABCP e o traço do concreto Convencional

b) Massa unitária- areia e pó de brita

As misturas de pó de brita e areia levaram a determinação da Massa unitária em estado compactado seco, a qual definiu sua capacidade máxima, de acordo com a NM 45:2016. Os resultados obtidos no ensaio de capacidade máxima estão na tabela a seguir 6.

Tabela 6: Determinação de melhor porcentagem de compactação

% de pó de brita em relação a massa do agregado	Massa unitária (g/cm ³)
0	2,76
2	2.83
4	2.86
6	2.89
8	2.87
10	2.81

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

A partir do resultado encontrado na tabela observa se que a maior capacidade entre o agregado e o filer ficou estabelecida com a adição de 6% de pó de brita em relação a massa de areia. O uso de um teor maior que 8% não irá contribuir para aumentar o preenchimento de vazios entre os grãos e o agregado passando a promover um possível afastamento entre os grãos de areia (GORNINSKI,2002).

Este afastamento poderá modificar a resistência mecânica, bem como gerar vazios e poros, prejudicando a durabilidade dos mesmos.

c) Consumo de resina

De acordo com estudos feitos em concreto poliméricos, os teores para aglomerante variam entre 10 e 20% em relação da massa total do agregado e filer (ATZENI et al., 1990; REBEIZ,1995; GORNINISKI, 1996; ORAK,2000; ABDEL-FATTAH E EL-HAWARY,1999; BINOZZI, ET AL.. 2000; GOPAL,2006; MAHDI ET AL., 2007; GORNINSKI et al., 2007).

O teor de resina partiu do parâmetro de 15% de resina em relação a massa do agregado + filer, o teor foi sendo acrescido 1% até apresentar uma trabalhabilidade aceitável em estado fresco chegando a 17%.

A tabela 6 apresenta de maneira esquemática, as dosagens das composições adotadas para o trabalho experimental, os valores de referência desse trabalho foram baseados em estudos anteriores conforme TROMBINI (2004). Para este estudo foram adotadas as seguintes siglas:

N - Agregado (areia e brita 0)

C- Fíler (pó de brita)

P- Aglomerante Resina Epóxi

Tabela 5: Dosagens das composições de PC propostas para o programa experimental.

COMPOSIÇÃO	AGLOMERANTE(P) (%)	AGREGADO(N)		FILER (C)
Concreto polimérico	Resina	Areia	Brita 0	Pó de Brita
Referencia	15 A 20% da massa total (N) + (C)	Massa referencial(N)	Massa referencial (N)	6% da massa referencial(N)
Valor unitário	17%	13Kg	7kg	—
Valor Total	3.6 Kg	20kg		1,2 Kg

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

A figura 5 mostra os materiais para elaboração do concreto de acordo com o traço calculado:

Figura 5: Materiais separados e pesados prontos para ser colocado na betoneira



Fonte: acervo dos autores, 2018.

4.1.3 Resultado do ensaio de Slump Test

A Consistência do concreto está diretamente relacionada a suas características, alterando o grau de umidade que a consistência é determinada, sua trabalhabilidade também está ligada à sua consistência para cada tipo de função o concreto exige uma consistência diferente, um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o slump test que é baseado na norma ABNT NBR NM 67 (1996).

A figura 6 mostra o resultado do slump test referente ao concreto convencional podemos ver que ele apresenta uma boa trabalhabilidade e foi alcançado o resultado esperado:

Figura 6: Slump Test –Concreto Convencional



Fonte: acervo dos autores, 2018.

De acordo com o comportamento de consistência pode se observar que o concreto convencional possui boa trabalhabilidade.

De acordo com Neville (1997) Um concreto com trabalhabilidade adequada, não depende apenas da quantidade de água utilizada na mistura, podendo, muitas

vezes, levar à exsudação, à segregação, ou apenas a um aumento do abatimento. A trabalhabilidade depende de uma seleção e proporção adequada dos materiais e muitas vezes do uso de adições e aditivos.

A Fig. 7 mostra o resultado do slump test referente ao concreto polimérico podemos ver que houve um menor abatimento em relação ao concreto convencional, mas é nítido que o concreto polimérico possui uma boa coesão

Segundo Helene e Terzian, (1993), concreto coeso é aquele que se apresenta homogêneo e sem separação de materiais da mistura em todas as fases de sua utilização. A coesão está relacionada a proporção de partículas finas na mistura e, em especial, nas misturas com baixos teores de cimento.

Figura 7- Slump Test –Concreto Polimérico

4 cm
(abatimento)



Fonte: acervo dos autores, 2018.

4.1.4 Ensaio de resistência mecânica

a) Resistência a compressão axial- Resultado e discussão

Foi realizado os ensaios para 7 dias, 14 dias e por fim 28 dias, e feitos os cálculos segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 1980). No Quadro está sendo mostrado os resultados obtidos pelo ensaio de compressão axial para o concreto polimérico e o concreto convencional:

Quadro 5: Resultados ensaio de compressão axial - Concreto Polimérico e Concreto convencional

Características	Concreto convencional	Concreto Polimérico
Traço final unitário em massa Cimento: areia: brita 1 : brita 0 : a/c	8 :5,44 : 8,08 : 12,16 :3,76	—
Traço final unitário em massa Resina: Areia: Brita 0 : Pó de Pedra	—	3,6: 13 : 7 : 1,2
Compressão 7 dias (Mpa)	8,28	24,37
Compressão 14 dias (Mpa)	18,51	25,64
Compressão 28 dias (Mpa)	20,71	26,45

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

A partir dos resultados mostrados no quadro 5, pode-se inicialmente constatar que, os concretos produzidos com aglomerantes poliméricos possuem resistência a compressão axial elevada em relação ao concreto convencional, a resistência característica de projeto utilizado é de 20 Mpa , os dois concretos atingiu a resistência mínima exigida, pode se notar que o concreto convencional atinge sua resistência total gradativamente e só apresenta resistência acima de 50% do valor total a partir do 14^a dias, já o concreto polimérico já nos primeiros 7 dias apresenta mais de 80% de sua resistência.

b) Resistência a tração na flexão- Resultado e discussão

Foi realizado o aos 28 dias, e feitos os cálculos segundo a norma NBR 12142:1990. No Quadro 4.6 está sendo mostrado os resultados obtidos pelo ensaio de tração na flexão para o concreto polimérico e o concreto convencional:

Quadro 6: Resultados ensaio de tração na flexão - Concreto Polimérico e Concreto convencional

Características	Concreto convencional	Concreto Polimérico
Traço final unitário em massa Cimento: areia: brita 1 : brita 0 : a/c	8 :5,44 : 8,08 : 12,16 :3,76	—
Traço final unitário em massa Resina: Areia: Brita 0 : Pó de Pedra	—	3,6: 13 : 7 : 1,2
Tração na flexão 28 dias (Mpa)	36,71	22,28

Fonte: elaborado pelos autores

De acordo com os resultados mostrado no quadro 6 pode se constatar que o concreto convencional apresentou um valor de resistência de tração na flexão maior que o concreto polimérico com 14,43 Mpa de diferença entre as duas amostras de concreto, os dois concretos atingiram a resistência mínima exigida que é de 20 Mpa, mostrando então que os dois apresentam condições para ser utilizados.

Neste item são relacionados e discutidos os resultados dos ensaios realizados em estudos feito por , com base na análise estatística. Para apresentação dos resultados, adotaram-se as seguintes siglas:

- (a) I = para amostras produzidas com resina poliéster insaturada isoftálica;
 - (b) O = para amostras produzidas com resina poliéster insaturada ortoftálica;
- e (c) os números 13, 15, 17 e 19 correspondem ao percentual de resina utilizado, em relação à massa de agregado mais filler no caso do autor utilizou areia e cinza volante. A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, obtidos a partir da média de três resultados individuais, para os concretos polímeros com os dois tipos de resinas utilizadas.

Tabela 7: Médias da resistência à compressão axial e à tração na flexão dos concretos polímeros de resinas isoftálica e ortoftálica, em função dos teores de resina

Corpo – de - prova	Resistencia à tração na flexão (Mpa)	Resistencia à compressão axial (Mpa)
I-13	19,65	85,65
I-15	23,00	96,19
I-17	23,26	100,03
I-19	23,85	104,93
O-13	20,86	94,30
O-15	20,84	94,99
O-17	22,57	98,78
O-19	22,53	93,68

Fonte: GORNINSKI,J.P; Kazmierczak, C.S; Avaliação da resistência química de concretos poliméricos em ambientes agressivos; 2008

Analisando os resultados de resistência à compressão axial apresentados pelos autores GORNINSKI,J.P; Kazmierczak, C.S 2008 e nesse trabalho , pode se constatar que, de modo geral, os concretos produzidos com aglomerantes poliméricos possuem resistência à compressão axial bastante elevada, se comparados com concretos produzidos com cimento Portland

Para o concreto de cimento Portland, geralmente, a resistência à tração na flexão varia entre 10% e 15% da resistência à compressão. No caso do concreto polímero utilizado no trabalho de GORNINSKI,J.P; Kazmierczak, C.S 2008, o percentual ficou em torno de 22% da resistência à compressão. Já no presente trabalho o concreto polimérico atingiu valores menores referente ao concreto convencional, isto pode ter ocorrido devido a diversos fatores como o teor de resina utilizado e os tipos e teores de agregados .

Os resultados obtidos mostram que o aumento do teor de resina, para os concretos polimérico, produz aumento da resistência à compressão.

Pode-se observar, também, que os concretos produzidos com ambas as resinas mostraram uma pequena tendência de crescimento da resistência à tração na flexão à medida que se eleva o percentual de resina na composição do concreto polímero.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como escopo, pesquisar, desenvolver e comparar resultados obtidos nos ensaios destrutivo por compressão axial e tração na flexão em corpos de prova. Com os valores obtidos foi possível correlacionar os resultados de resistência mecânica dos concretos estudados, Esta correlação mostrou que o ensaio de slump test se mostra adequado principalmente para avaliação da trabalhabilidade do concreto, pode se notar que o concreto convencional apresenta ótima trabalhabilidade e o concreto polimérico devido suas características apresentou boa coesão ,comprovando que esse concreto pode ser utilizado para realizar a construção de pré-moldados, em obras de infraestrutura pois apresenta características que o torna um material moldável.

Contudo, a partir dos dados obtidos nesta pesquisa foi possível propor que o concreto polimérico seja empregado no mercado da construção civil. Pode ser visto também que o tipo e teor dos materiais utilizados no concreto têm interferência na suas propriedades e características e principalmente influencia em sua resistência.

Outro ponto verificado foi que o concreto polimérico atingiu o tempo de cura com mais velocidade que o concreto convencional sendo que já nos primeiros 7 dias do concreto polimérico o mesmo atingiu 92% de sua resistência total a compressão enquanto o concreto convencional aos 7 dias atingiu 39,98%. Em relação a resistência a tração na flexão o concreto polimérico apresentou uma resistência menor comparado ao concreto convencional de cimento Portland.

Com os dados apresentados neste estudo, se espera que o mesmo possa servir como referência para estudos futuros para melhor avaliação da aplicação do concreto polimérico. Espera-se também, que o concreto polimérico seja mais conhecido e difundido, e que seu uso adequado possa ser aplicado para melhoria das propriedades do concreto.

Contudo, fica como sugestão a realização de estudos mais aprofundados sobre o concreto polimérico referente a ensaios de abrasão, resistência a ataque químico, comparação da aplicação de diferentes teores de resinas afim de melhorar a resistência a tração na flexão, que possa complementar esse estudo obtendo maiores

dados sobre esse tipo de concreto especial e conseqüentemente maior precisão no desenvolvimento desse concreto.

6 REFERÊNCIAS

AITCIN, PIERRE-CLAUDE. **CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO**. TRAD. GERALDO G. SERRA. SÃO PAULO: PINI, 2000.

AITCIN, PIERRE-CLAUDE. **HIGH PERFORMANCE CONCRETE**. P. 199. LONDON: E&F N SPON, 1998.

ANDRIOLO, F. R. **USOS E ABUSOS DO PÓ DE PEDRA EM DIVERSOS TIPOS DE CONCRETO**. IN: **SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM**. II SUFFIB, SÃO PAULO, 2005. ANAIS, SÃO PAULO, EPUSP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. 7.ED. SÃO PAULO: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211/2005**. AGREGADOS PARA CONCRETO – ESPECIFICAÇÃO. RIO DE JANEIRO, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217/1987**. AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA. 1987

ATLANTIC CITY. PROCEEDINGS... **DETROIT: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**, 1973. P.123-137, (ACI.SP,40).

BEPET. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET**. DISPONÍVEL EM: WWW.ABEPET.COM.BR. ACESSO EM: NOV. 2002.

BOSILJKOV, V. B. SCC MIXES WITH POORLY GRADED AGGREGATE AND HIGH VOLUME OF LIMESTONE FILLER. **CEMENT AND CONCRETE RESEARCH**, V. 33, N. 9, P. 1279-1286, SEPT. 2003.

CARNEIRO, F.L.L.B. **DOSAGEM DE CONCRETOS**. 2 ED. RIO DE JANEIRO: INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, 1953. 102 P.

CASTRO, A. L. DE; LIBORIO, J. B. L. AND PANDOLFELLI, V. C.. A INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO NO DESEMPENHO DE CONCRETOS AVANÇADOS FORMULADOS A PARTIR DO

MÉTODO DE DOSAGEM COMPUTACIONAL. **CERÂMICA [ONLINE]**. 2011, VOL.57, N.341, PP.10-21. ISSN 0366-6913. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1590/S0366-69132011000100002](http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132011000100002).

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. REVISÃO: CONCEITOS DE DISPERSÃO E EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS ESPECIAIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **REVISTA CERÂMICA**, SÃO PAULO, VOL. 55, FAPESP, 2009.

CHERUBINO, DISTRIBUIÇÃO COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA. BELO HORIZONTE – MG. DISPONÍVEL EM: WWW.CHERUBINO.COM.BR. ACESSO EM: NOV. 2002.

D.C. MILES E J.H. BRISTON, TRADUÇÃO CAETANO BELLIBONI, **TECNOLOGIA DOS POLÍMEROS**, EDITORA POLÍGONO, SÃO PAULO, SP, 1ª EDIÇÃO, 1975, PÁGINAS 121-125.

DANA, J. D. MANUAL OF MINERALOGY. REVISÃO: C. KLEIN; C. S. HURLBUT JR. 21ST ED. NEW YORK: JOHN WILEY & SONS, 1993. 681 P.

FIGUEIREDO, A. D.; TANESI, J.; NINCE, A. A.; CONCRETO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (CFP). **REVISTA TÉCNICA**, SÃO PAULO, SETEMBRO DE 2002. P.48.

FIGUEIREDO, A.D.; (1997). PARÂMETROS DE CONTROLE E DOSAGEM DO CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS DE AÇO. TESE (DOUTORADO) ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

GIAMMUSSO, S., **MANUAL DO CONCRETO**. SÃO PAULO: PINI, 1992, P. 23-24.

GORNINSKI, J.P. **INVESTIGAÇÃO DO COMPOSTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO POLIMÉRICO DE RESINA POLIÉSTER**. PORTO ALEGRE, 1996. 103P. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA). PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS, METALURGIA E DE MINAS- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

OGUIMARÃES, J. P. Z. **ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO**. RIO DE JANEIRO, 2002. 121 P. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL) PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO.

HELENE, P. R. L. TERZIAN, **MANUAL DE DOSAGEM E CONTROLE DO CONCRETO**. SÃO PAULO, PINI, 1993.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **MANUAL DE DOSAGEM E CONTROLE DO CONCRETO** - SÃO PAULO – EDITORA PINI-1992. 349P.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **MANUAL DE DOSAGEM E CONTROLE DO CONCRETO**. SÃO PAULO: PINI, 1993

HELENE, P.R.L. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS PARA DOSAGEM E CONTROLE DOS CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**. SÃO PAULO, 1987. TESE (DOUTORADO) – ESCOLA POLITÉCNICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

KUKACKA, L. E.; ROMANO, A. J. **PROCESS TECHNIQUES FOR PRODUCING POLYMER IMPREGNATED CONCRETE**. IN: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE**, 1.,1973, ATLANTIC CITY. PROCEEDINGS... DETROIT: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1973. P.15-31 (ACI.SP,40).

MANO ,E.B **POLIMEROS COMO MATEIRIAS DE ENGENHARIA**. SÃO PAULO: EDGARD LUCHER,1991. 197P

MARTINS, A. ET AL. **APOSTILA DE TREINAMENTO DE MÃO DE OBRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: CIMENTO**. CIA. DE CIMENTO ITAMBÉ. CURITIBA, 2008.

MEHTA, P. K. AND AÏCTIN, P. C. . **MICROSTRUCTURAL BASIS OF SELECTION OF MATERIALS AND MIX PROPORTIONS FOR HIGH STRENGTH CONCRETE**. IN **HESTER W.T. (ED.), PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH STRENGTH CONCRETE**. BERKELEY, PP. 265-286. 1990.

MEHTA, P. K. MONTEIRO J. M. **CONCRETO: MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS**. SÃO PAULO, PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO: ESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS**. SÃO PAULO, PINI, 1994.576 P.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO: ESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS**. SÃO PAULO: PINI, 1994. 573P.

MENOSSE, R. T.; CAMACHO, J.S.; SALLES, F. M.; MELGES, J. L. P. A INFLUÊNCIA DO USO DE PÓ DE PEDRA NAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO. IN: **46º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON**. ANAIS: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO, FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 2004.

MENOSSE, RÔMULO TADEU. **UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA BASÁLTICA EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA NATURAL DO CONCRETO**. 2004. VI, 97 P. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA, 2004. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://HDL.HANDLE.NET/11449/90740](http://hdl.handle.net/11449/90740)>.

NBR 11172/1989 - **AGLOMERANTES DE ORIGEM MINERAL - TERMINOLOGIA**

NBR 11768/1992 - **ADITIVOS PARA CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND - ESPECIFICAÇÃO**

NEVILLE, A. M. , **“PROPRIEDADES DO CONCRETO”** – 2ª EDIÇÃO – ED. PINI, SÃO PAULO, 1997.

NEVILLE, A. M. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. TRAD. SAVADOR E. GIAMUSSO. ED. PINI, SÃO PAULO, 1997

NORMA ABNT NBR 12655:1996 - **CONCRETO - PREPARO, CONTROLE E RECEBIMENTO - PROCEDIMENTO**

NORMA ABNT NBR 12142:1991 - **CONCRETO - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS-DE-PROVA PRISMÁTICOS - MÉTODO DE ENSAIO**

NORMA ABNT NBR 12654:1992 - **CONTROLE TECNOLÓGICO DE MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO - PROCEDIMENTO**

NORMA ABNT NBR 12655, **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND – PREPARO, CONTROLE E RECEBIMENTO – PROCEDIMENTO**

NORMA ABNT NBR 12989:1993 - **CIMENTO PORTLAND BRANCO - ESPECIFICAÇÃO**

NORMA ABNT NBR 15577-1, **AGREGADOS – REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO –**

NORMA ABNT NBR 15900, **ÁGUA PARA AMASSAMENTO DO CONCRETO –**

NORMA ABNT NBR 5732:1991 - **CIMENTO PORTLAND COMUM - ESPECIFICAÇÃO**

NORMA ABNT NBR 5738, CONCRETO – **PROCEDIMENTO PARA MOLDAGEM E CURA DE CORPOS-DE-PROVA**

NORMA ABNT NBR 5739, CONCRETO – **ENSAIOS DE COMPRESSÃO DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS**

NORMA ABNT NBR 7215, **CIMENTO PORTLAND – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

NORMA ABNT NBR 7222:1994 - **ARGAMASSA E CONCRETO - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS - MÉTODO DE ENSAIO**

NORMA ABNT NBR 8522:1984 - **CONCRETO - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO ESTÁTICA E DIAGRAMA TENSÃO DEFORMAÇÃO - MÉTODO DE ENSAIO**

NORMA ABNT NBR 8953:1992 - **CONCRETO PARA FINS ESTRUTURAIS - CLASSIFICAÇÃO POR GRUPOS DE RESISTÊNCIA – CLASSIFICAÇÃO**

NORMA ABNT NBR NM 65, **CIMENTO PORTLAND – DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA**

NUNES, F.W.G., “**RESISTÊNCIA E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE CONCRETOS USADOS NO RIO DE JANEIRO**” – DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, BRASIL, 2005.

NUNES, N.L. (2006). **CONTRIBUIÇÃO PARA A APLICAÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO EM ELEMENTOS DE SUPERFÍCIE RESTRINGIDOS. TESE (DOUTORADO)**, 276P. ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

ORAK, 2000

OSHIMA, M.: **JOYANAGI.W.THERMAL PROPERTIES AND TEMPERATURE DEPENDENCY OF MECHANICAL PROPERTIES OF RESIN CONCRETES STRUCTURAL USE IN: TENTH INTERNATIONAL CONGRESSO ON POLUMERS IN CONCRETE AND ICPIC/OCRI INTERNATIONAL CONCRETE REPAI**, HONOLULU HAWAII, 2001 UNIVERSISITU OF TEXAS AT AUSTIN, 2001

PETRUCCI, E. **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. PORTO ALEGRE: ED. GLOBO, 1982. 307P.

PETRUCCI, E. G. R. **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. 12ª EDIÇÃO . EDITORA GLOBO, 1993

PETRUCCI, E.G.R. **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. 13 ED. SÃO PAULO: EDITORA GLOBO, 1998. 307 P. PETRUCCI, E.G.R. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 11 ED. SÃO PAULO: EDITORA GLOBO, 1998(B). 435 P.

PETRUCCI, ELADIO G.R. **CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. SÃO PAULO. ED. GLOBO, 1998

PRUDÊNCIO JR. L.R. **NOTAS DE AULA**, APOSTILA DE MATERIAIS DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - UFSC, 1994.

REBEIZ K. S.; FOWLER, D. W. RECYCLING PLASTICS IN POLYMER CONCRETE SYSTEMS FOR ENGINEERING APPLICATIONS. **POLYMER-PLASTIC TECHNOLOGY ENGINEERING**, v.8, N.30, P.809-825, 1991.

REBEIZ K. S.; FOWLER, D. W. SHEAR AND FLEXURE BEHAVIOR OF REINFORCED POLYMER CONCRETE MADE WITH RECYCLED PLASTIC WASTES. FONTANA JACK J., KAEDING, AL O., KRAUSS, PAUL D. (ED.) **PROPERTIES AND USES OF POLYMERS IN CONCRETE**. FARMINGTON HILLS, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1996. P.62-77.

RIBOLI, L. E. **RESISTÊNCIA MECÂNICA E DURABILIDADE DE CONCRETOS MODIFICADOS COM POLÍMEROS**. 2012. 48 F. TCC (GRADUAÇÃO) - CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU, BLUMENAU, 2012.

SPECHT, L. P. **COMPORTAMENTO DE MISTURAS SOLO-CIMENTO_FIBRA SUBMETIDAS A CARREGAMENTOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS VISANDO A PAVIMENTAÇÃO**. 2000. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA) – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, UFRGS, PORTO ALEGRE.

STEINBERG, M. **CONCRETE POLYMER MATERIALS AND ITS WORLDWIDE DEVELOPMENT**. IN: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE**,1.,1973,

TAYLOR, H. F. W. **CEMENT CHEMISTRY**. LONDON: ACADEMIC PRESS, 1990.

TEZUKA, Y. **CONCRETO DE CIMENTO E POLÍMERO**. SÃO PAULO:ABCP,1988. 26p.

TROMBINI, R.C. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSIÇÕES POLIPROPILENO/CARGAS RETARDANTES DE CHAMA**. SÃO CARLOS, 2004. 233 P Tese (DOUTORADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS). PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

VERÇOZA, E. J., **DOSAGEM DE CONCRETO (APOSTILA)**. PASSO FUNDO, 1995. P.(42-50).

7 APÉNDICE