

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CESAR MOREIRA DA CUNHA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE PEAD**

ANÁPOLIS / GO

2019

CESAR MOREIRA DA CUNHA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE PEAD**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI
QUARESMA**

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

CUNHA, CESAR MOREIRA

Estudo do Comportamento Mecânico do Concreto com Adição de PEAD

(65P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).)

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto com adição de PEAD
I. ENC/UNI

2. Ref. teórico
II. Bacharel (9^o)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CUNHA, Cesar Moreira. Estudo do Comportamento Mecânico do Concreto com Adição de PEAD, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 65p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Cesar Moreira da Cunha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do comportamento mecânico do concreto com adição de PEAD

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito d

o autor.

Cesar Moreira da Cunha

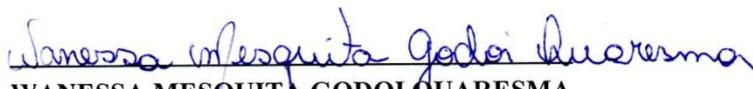
Cesar Moreira da Cunha
cesar.eng1000@gmail.com

CESAR MOREIRA DA CUNHA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE PEAD**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA,
Professora Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)


JOÃO SILVEIRA BELÉM JÚNIOR,
Professor Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)


MARY HELLEN DA COSTA MONTEIRO,
Professora Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADORA INTERNA)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 04 DE MAIO de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço a coragem de enfrentar novos desafios, ainda que houvesse inúmeras das dificuldades, e por sempre me permitir procurar forças para continuar.

Agradeço a minha esposa Elaine, meus filhos: Maria Eduarda, Fabrício e Nicole pela força que me deram para concluir o curso.

Agradeço a minha avó Amélia e meu saudoso avô José Moreira (Vô Juca) pelo carinho.

Agradeço a meus pais Lazaro Moreira e Terezinha Moreira pelas orações.

À minha orientadora Wanessa Mesquita pela disponibilidade em ajudar-me, pelo tempo dispensado a mim, por seu esforço e dedicação.

Cesar Moreira da Cunha

RESUMO

O concreto com adição de PEAD, a partir deste TCC, pode tomar novos rumos na questão de sustentabilidade, Neste TCC pretendíamos adicionar uma mistura do material PEAD ao concreto e analisarmos sua resistência, a idéia seria usar este concreto com a mistura do PEAD para concretos estruturais, mas conforme os resultados e durabilidade do PEAD que pesquisadores sugerem 400 anos para sua degradação, este concreto poderia ser usados em locais que não precisam ser duráveis como uma passagem de pedestres pelo jardim ou praças, bancos de concreto, contrapisos, fachadas, etc. Compulsando as diferentes áreas de aplicação do polímero em questão, tem-se que a intenção do presente estudo foi mostrar a utilização do concreto com o PEAD tanto em obras estruturais, vigas baldrame, vigas, pilares e lajes, tanto quanto em contrapisos e emboço. De modo que seja possível sua utilização. A adição do PEAD é benéfica, bem como trata-se de uma solução eficiente de retirada deste material no meio ambiente e utilizando na construção civil. O PEAD foi utilizado por apresentar um impacto reduzido, se comparado aos outros materiais ligados à construção civil. Nos testes feitos, vamos apresentar os resultados e definir qual será o uso adequado deste material misturado com concreto convencional.

PALAVRAS-CHAVE:

Agregado reciclado. Compressão axial. Concreto. PEAD. Traço. Trabalhabilidade.

ABSTRACT

In this TCC we wanted to add a mixture of the PEAD material to the concrete and to analyze its resistance, the idea would be to use this concrete with the PEAD blend for concretes structural, but according to the results and durability of PEAD that researchers suggest 400 years for its degradation, this concrete could be used in places that do not need to be durable like a pedestrian walk through the garden or squares, concrete benches, countertops, facades, etc. .

The aim of the present study was to prove the use of PEAD in structural works, balustrade beams, beams, columns and slabs, as well as in subfloors and plaster. So that its use is possible. The addition of PEAD is beneficial, as well as an efficient solution for the removal of this material from the environment and for civil construction.

PEAD was used because it has a reduced impact compared to other building materials.

In the tests made, we will present the results and define what will be the proper use of this material mixed with conventional concrete.

KEYWORDS:

Recycled aggregate. Axial compression. Concrete. PEADE. Trace. Workability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva típica de tensão na compressão VS.	
(a) deformação total e axial, e (b) deformação volumétrica.....	21
Figura 2 – Relação entre resistência de carregamento de curto e de longo prazo.....	22
Figura 3 – Macroestrutura esferulítica.....	24
Figura 4 – Triturador de PEAD.....	26
Figura 5 – Laboratório centro tecnológico da UniEvangélica.....	27
Figura 6 – Produção do concreto com mistura de PEAD.....	44
Figura 7 – Corpos de prova na câmara úmida.....	45
Figura 8 – Rompimento dos corpos de prova em presença de compressão axial.....	46
Figura 9 – Gráfico comparativo da resistência a compressão axial dos grupos.....	48

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Número de corpos de provas para compressão axial.....	28
Tabela 2 – Dados para calculo da massa unitária do agregado miúdo.....	35
Tabela 3 – Massa unitária do agregado miúdo.....	36
Tabela 4 - Dados para calculo da massa específica do agregado miúdo.....	36
Tabela 5 – Massa específica do agregado miúdo.....	38
Tabela 6 – Granulometria amostra 1 do agregado miúdo	38
Tabela 7 - Granulometria amostra 2 do agregado miúdo.....	38
Tabela 8 – Granulometria média das amostras 1 e 2 agregados miúdos.....	39
Tabela 9 – Dados para calculo da massa unitária da brita 0.....	39
Tabela 10 – Massa unitária brita 0.....	40
Tabela 11 – Dados para calculo da massa específica da brita 0.....	40
Tabela 12 – Massa especifica brita 0.....	41
Tabela 13 – Granulometria amostras 1 da brita 0.....	42
Tabela 14 - Granulometria amostras 2 da brita 0.....	42
Tabela 15 – Granulometria media das amostras 1 e 2 brita 0.....	43
Tabela 16 – Todos os resultados para o ensaio de compressão axial, prova e contra prova de acordo com os grupos.....	46

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CPs	Corpo-de-prova
NBR	Norma Brasileira
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
SCC	Self Compacting Concrete
T500	Tempo para o concreto alcançar um diâmetro de 50 cm

SUMÁRIO

1 – Introdução.....	08
1.1 – Contextualização.....	08
1.2 – Justificativa.....	10
1.3 – Objetivo.....	10
1.3.1 – Objetivo geral.....	10
1.3.2 – Objetivo específico.....	10
1.4 – Metodologia.....	11
1.5 – Estrutura do trabalho.....	11
2 – Referencial Teórico.....	12
2.1 – Sustentabilidade na construção civil.....	12
2.2 – Aspectos gerais do concreto.....	15
2.2.1 – Cimento.....	16
2.2.2 – Agregados.....	17
2.2.3 – Água	18
2.2.4 – Produção de concreto.....	18
2.2.5 – Comportamento do concreto sob compressão uniaxial.....	20
2.3 – Polietileno de alta densidade (PEAD)	22
2.3.1 – Vantagens e desvantagens da adição do PEAD.....	24
2.3.2 – Aplicação do PEAD.....	25
3 – Procedimento experimental.....	25
3.1 – Caracterização do PEAD.....	25
3.2 – Procedimento experimental.....	26
3.2.1 – Caracterização dos materiais.....	28
3.2.2.1 - Massa específica dos agregados segundo NBR NM 53:2009 e a NBR 53:2009.....	29
3.2.2.2 – Massa unitária dos agregados segundo NBR NM 45:2006.....	30
3.2.2.3 – Determinação da composição granulométrica segundo NBR NM 248:2003.....	31
3.2.2.4 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo a NBR NM 67:1998.....	31
3.2.3 – Resistência a compressão axial em concreto segundo NBR 5739:2007.....	32
4 – Resultados.....	35

4.1 – Caracterização dos materiais.....	35
4.1.1 – Agregados miudos.....	35
4.1.2 – Agregados graúdos.....	39
4.2 – Escrita do traço.....	43
4.3 – Ensaio de compressão axial.....	45
5 – Considerações finais.....	49
5.1 – Trabalhos futuros.....	49
Referências	51
Apêndice A.....	59
Anexo A.....	65

1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os estudos que deram início a esta pesquisa. Estrutura-se uma contextualização, justificativa sobre o tema trabalhado, exposição dos objetivos, breve metodologia e por fim, é descrita a estruturação do texto aqui apresentado.

1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas civilizações primitivas, o homem utilizava como materiais de construção a pedra, a madeira e o barro. Entretanto, de acordo com as exigências do homem, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Surgiu, dessa forma, o concreto, trabalhável como barro e resistente como pedra (FRANCZAK&PREVEDELLO, 2012).

Sabe-se que o concreto é basicamente resultado da mistura entre cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico. Na composição pode conter também adições de outros materiais como cinza, sílica e aditivos químicos que atuam com a finalidade de melhorar ou modificar o desempenho do compósito (BASTOS, 2014).

No preparo do concreto, um ponto de atenção é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar (OLIVEIRA, 2013).

A proporção entre todos os materiais que fazem parte do concreto é também conhecida por dosagem ou traço, sendo que podemos obter concretos com características especiais, ao acrescentarmos à mistura, aditivos, isopor, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições. Cada material a ser utilizado na dosagem deve ser analisado previamente em laboratório (conforme normas da ABNT), a fim de verificar a qualidade e para se obter os dados necessários à elaboração do traço (massa específica, granulometria etc.) (AGREGADOS PARA CONCRETO, 2018.).

Atualmente, o conceito de construção sustentável vem sendo aplicado com o objetivo de minimizar os impactos ambientais atuando sobre cinco pilares: 1) projetos inteligentes, usando luz natural e aproveitando o terreno como elemento da construção; 2) redução da

poluição, através do gerenciamento dos resíduos da construção por segregação e reciclagem para outros usos; 3) eficiência energética, construir obras que possam ser mantidas de forma econômica; 4) materiais ecológicos, feitos a partir de resíduos reciclados da obra ou com outros produtos reciclados e como o caso do concreto com adição de PEAD. (DOM TOTAL, 2018).

Assim, ao longo do tempo novos produtos foram surgindo e algum deles foram acrescentados ao concreto, dando maior resistência ou simplesmente um material que pode ser reciclado como o PEAD (Polietileno de Alta Densidade) objetivo deste trabalho.

Com a grande procura de matéria prima para a indústria da construção civil, pesquisadores como Belchior (2017), Formagini (2005), Cordeiro (2006), Lima (2009), dentre outros, estão cada vez mais buscando alternativas para o uso de novos materiais que causem menos impacto ao meio ambiente. Nesse sentido, as alternativas estão voltadas para o aproveitamento de resíduos, oriundos da própria indústria da construção civil e de outros segmentos da economia. Para tanto, é necessário um estudo minucioso das características físico-químicas e mecânicas dos materiais a serem utilizados.

O Polietileno (PE) é um dos polímeros mais empregados dentre as resinas termoplásticas. Obtido a partir do gás etileno ou como subproduto do processamento do petróleo, o Polietileno é um polímero plástico obtido através de um processo de polimerização em baixa ou alta pressão, sendo classificado de acordo com a sua densidade (baixa, média e alta) que produzem o PEAD (Polietileno de Alta Densidade ou o PEBD Polietileno de Baixa Densidade) (KANTOVISCKI, 2019).

Seu consumo mundial é aproximadamente 100 milhões de toneladas de materiais plásticos por ano mostram a relevância do Polietileno. O PEAD tem qualidades relevantes como sua grande durabilidade, estanqueidade, resistência à corrosão e ductibilidade. Devido a flexibilidade o PEAD é menos suscetível a danos causados por oscilações extremas, como vibração e choques. No aspecto técnico não existem restrições para a reciclagem do PEAD. Normalmente são empregados 1,75 kg de petróleo para fazer 1 kg de PEAD. Seu símbolo de reciclagem é o "2". Em 2007 o mercado de PEAD chegou a 30 milhões de toneladas (TECHDUTO, 2018)

O PEAD possui excelente resistência a água sem segurar o oxigênio ou o gás carbônico. A Reciclagem do PEAD provém de uma infinidade de origens como embalagens plásticas, barris em PEAD, brinquedos, utilidades, sacolas em PEAD e outros produtos que são selecionados, limpos, moídos, secados e transformados em granulado (MAMAPLAST, 2018).

1.2 - JUSTIFICATIVA

O consumo do PEAD é de 100 milhões de toneladas/ano e sua decomposição na natureza chega até 400 anos. Aliando essa oferta de material em lixões ao fato dos recursos que compõem o concreto serem esgotáveis, nasceu a necessidade de estudar novos materiais para competir, no mercado de trabalho, em determinadas situações, justificando assim este estudo.

1.3 - OBJETIVOS

Este tópico apresenta os objetivos idealizados neste estudo, objetivos gerais e específicos.

1.3.1 – OBJETIVO GERAL

A pesquisa teve como objetivo geral estabelecer um traço de modo que aceite bem o material, bem como observar as características visuais e mecânicas do concreto com o PEAD incorporado em sua composição.

1.3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular e experimentar um traço que se adéque ao material;
- Realizar a preparação do PEAD;
- Confeccionar corpos de provas cilíndricos com concreto convencional e concreto com adição de PEAD;
- Analisar as propriedades visuais (como o PEAD ficou no CP), físicas (análise granulométrica do PEAD) e mecânica (resistência à compressão axial) do tratamento e compará-lo com o concreto convencional;
- Tabular os resultados e analisar as vantagens e desvantagens da utilização do PEAD com material reciclado em estruturas de concreto.

1.4 - METODOLOGIA

Foi realizado a elaboração e confecção de um traço de concreto convencional utilizando cimento Portland CP-II Z 32, disponibilizado pelo laboratório do Centro Universitário da UniEvangélica, onde ocorreu todos os testes. Inicialmente foi calculado um traço para o concreto simples apresentar uma resistência de 15 MPa (Cimento:Areia:Brita:Água:PEAD sendo 1:2,08:2,39:0,58:00 (Kg)), visto que é a resistência indica pela NBR 6118:2014 para fundações e estruturas provisórias, este traço foi escolhido para melhor observar o ganho de resistência. Executado a produção do concreto será realizado a moldagem de 32 corpos de prova seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015), onde 4 foram confeccionados com concreto simples, este denominado controle, e 7 grupos de diferentes proporções de adição de PEAD com 4 CPs cada (grupo 1 = 25g de adição de PEAD, grupo 2= 50g de adição de PEAD, grupo 3 = 75g de adição de PEAD, grupo 4 = 100g de adição de PEAD, grupo 5 = 125g de adição de PEAD, grupo 6 = 150g de adição de PEAD, grupo 7 = 175g de adição de PEAD). Os corpos de prova irão prosseguir para o processo de cura de 28 dias, posteriormente cada grupo será submetido aos testes de resistência mecânica através da compressão axial seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018) com a ajuda equipamentos de laboratórios elucidando assim o estudo. Ver melhor capítulo 3.

1.5 - ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1 é apresentada uma breve introdução, onde se contextualiza o tema tratado, expõe os objetivos gerais e seus desdobramentos específicos, justificativa, bem como uma apresentação da metodologia a ser empregada e a estruturação do texto. Logo, o Capítulo 2 traz o referencial teórico onde será discutido todo o embasamento teórico para esta pesquisa. Capítulo 3 descreverá a metodologia do trabalho desenvolvido, onde é produzido um traço de concreto e os testes realizados; Capítulo 4 discutirá os resultados obtidos com os testes e com as análises mecânicas e experimentais da pesquisa; Capítulo 5, por fim, apresentará a conclusão obtida após a análise do experimento.

2 - REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o embasamento teórico de estudo deste trabalho, subdividido em: Sustentabilidade na Construção Civil; Aspectos Gerais do Concreto; e por fim a apresentação do material utilizado, Polietileno De Alta Densidade (PEAD).

2.1 - SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

É notório que à medida que o homem se desenvolveu, houve um crescimento exacerbado no consumo de matéria-prima, exigindo do meio-ambiente uma demanda maior que a produzida. Dessa forma, surgiu a necessidade da criação de conselhos e órgãos voltados para a preservação e implementação de políticas públicas, no intuito de conservar a matéria, preservando-as para as futuras gerações.

Sob vários aspectos nascem modestamente, baseada nos estudos de grandes sociólogos, filósofos e alguns economistas, a preocupação com o meio ambiente, pois a trajetória humana até os dias atuais traduziu-se em um deprimente rastro de ruínas, como escreve SACKS (2008) em sua obra *Desenvolvimento Includente, Sustentável Sustentado*.

O tópico “sustentabilidade” surgiu a partir de uma reunião do Clube de Roma no ano de 1961, trata-se de um momento marcante, visto que fora uma das primeiras vezes que o tema recebeu comentários esboçados e indagações ambientalistas. Um dos marcos importantes decorrentes de tal debate foi a Declaração de Estocolmo, na qual foram elaborados vinte e seis princípios comuns que ofereçam aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o ambiente humano (SUASSUNA, 1995).

BOFF (2008) diz que a sustentabilidade é o ponto para a cosmovisão ecológica e, possivelmente, constitui um dos fundamentos do novo paradigma civilizatório que procura harmonizar o ser humano. Comumente a sustentabilidade vem acoplada ao desenvolvimento. O mesmo autor mostra que o conceito de desenvolvimento sustentável foi usado pela primeira vez na Assembleia Geral das Nações Unidas em 1979. Onde foi assumido pelos governos e pelos organismos multilaterais a partir de 1987 quando, depois de quase mil dias de reuniões de especialistas convocados pela ONU sob a coordenação da primeira ministra da Noruega GroBrundland se publicou o documento *Nosso Futuro Comum*. É lá que aparece a definição tornada clássica: sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.

NETO (1999) diz na sua coluna da folha de São Paulo que corriqueiramente, a sustentabilidade é tratada como um tópico, cujo qual abrange os variados setores da sociedade, elucidando a importância de visar um desenvolvimento que abranja e trate das questões naturais como fatores imprescindíveis. Sabe-se que o desenvolvimento sustentável busca o progresso do homem, de modo que supra suas presentes necessidades, sem que condene o futuro das gerações.

A partir da constante evolução, o indivíduo desenvolveu um traço consumista desenfreado, isto é, um conceito que opõe ao pregado na sustentabilidade. Seguindo, assim, um caminho rumo ao caos que pode ser notado já na atualidade, extrair, produzir, vender, utilizar e descartar, gerando um contingente altíssimo de lixo e prejudicando cada vez mais o meio ambiente em suas mais variadas esferas. As consequências das referidas ações não se fizeram questionadas no primeiro momento, restando, dessa forma, prejuízos dificilmente reparáveis, tendo em vista que parte dos recursos utilizados não são renováveis.

Consultando a história acerca da sustentabilidade na engenharia é notório que há uma incorporação crescente de tal nas construções. Para tanto o setor de construções civis sente a necessidade de se engajar cada vez mais na busca de soluções sustentáveis a serem aplicadas. Vale ressaltar que para um empreendimento humano seja sustentável é necessário que o mesmo cumpra os quatro requisitos básicos, tais quais são: adequação ambiental, viabilidade econômica, aceitação cultural e justiça social (SILVEIRA, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura- AsBEA e o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2019), bem como diversas instituições elencam princípios básicos para que uma construção atinja a sustentabilidade visada:

- aproveitamento de condições naturais locais;
- utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- implantação e análise do entorno;
- não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
- qualidade ambiental interna e externa;
- gestão sustentável da implantação da obra;
- adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- uso de matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo;
- redução do consumo energético;
- redução do consumo de água;

- reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Além disso, é de extrema importância ter em mente o enfoque social cujo qual a construção civil sustentável deverá observar. O tema é discutido pelo engenheiro Ubiratan Félix que em uma de suas obras concede enfoque ao assunto: “a dificuldade de acesso à moradia de amplos setores populacionais é a principal ameaça a sustentabilidade das cidades brasileiras, já que, em razão da exclusão de grande parte da população do mercado imobiliário formal cresce o déficit habitacional e as normas de ocupação irregulares em áreas de risco, de proteção ambiental e de mananciais” (FÉLIX,2009, p.61).

A preocupação com a sustentabilidade no setor da construção civil se deve ao fato de que este tem um amplo papel no cenário econômico nacional, colaborando para a geração de empregos e desenvolvimento regional; porém, é o setor econômico que mais causa resíduo, responsável por 40 a 70% de todo entulho gerado nos centros urbanos (ISAIA, 2011, p.46).

Tem-se que considerando o contexto atual o material que mais gera preocupação é o concreto, uma vez que esse tem sido consumido em largas escalas ao redor do mundo, por apresentar durabilidade, resistência, plasticidade, viabilidade econômica e versatilidade como aspectos consideráveis, tornando-o assim uma fonte viável.

Ante o exposto, é válido ressaltar que buscando não permitir que a sociedade esteja fadada ao caos, visa-se atualmente reciclar materiais descartados, uma vez que a construção civil desde o princípio demanda diversos materiais como matéria, sejam eles renováveis ou não. Sendo assim, pretendendo minimizar os impactos ambientais gerados, passou-se a adicionar reciclados, tais como o plástico.

Atualmente, o conceito de sustentabilidade no campo da Engenharia Civil, tem sido aplicado objetivando reduzir os impactos ambientais, sustentando-se em cinco diferentes pilares, sendo esses:

1. Aproveitamento de recurso hídricos, tais como a chuva;
2. Eficiência energética, ou seja, obras que gerem economia;
3. Redução da poluição, através de gerenciamento dos resíduos gerados na construção;
4. Projetos inteligentes, planejados de modo que aproveitem o terreno ao máximo, bem como a luz natural;
5. Materiais ecológicos, provenientes dos recursos que foram reciclados.

2.2 - ASPECTOS GERAIS DO CONCRETO

Segundo BASTOS (2014) o concreto é uma mistura, em determinadas proporções, de quatro componentes básicos: cimento, agregados e água. O mesmo pode ser classificado de várias formas: Concreto simples; Concreto Armado; Concreto Protendido, Concreto Auto Adensável e outras derivações.

Atualmente o concreto tem sido o material estrutural mais usado no mundo, ainda que não possua uma resistência nem seja tão tenaz quanto o aço, mas possui excelente resistência à água. Ao contrário da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de resistir à ação da água, sem deterioração séria, faz dele um material ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. Tem-se que, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo a NBR 6118:2014 o concreto é material durável e economicamente viável, fato este que o faz o material mais utilizado no mundo depois da água. O concreto possui também a capacidade de pré-moldagem e rapidez na sua execução podendo se adaptar a inúmeras formas de acordo com a idealização do projetista. Apresenta elevado peso próprio, limitando seu uso em determinadas situações ou aumentando abundantemente seu custo e volume (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

O concreto, no âmbito de seu comportamento mecânico, apresenta-se basicamente como um material com alta resistência à tensão, sabe-se que a resistência está diretamente ligada a tensão, tornando possível afirmar que as fissuras, quando apresentadas no material, são a tensão máxima que a amostra do concreto é capaz de suportar. Nos casos expressamente observados através da mecânica do concreto, tem-se que ao longo do ensaio de tração, a fratura do corpo experimentado indica ruptura, já no ensaio de compressão, o corpo é estabelecido como rompido, ainda que não tenha sinais visíveis de uma fratura (PINHEIRO, 2004).

A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo. Uma diretriz geral, encontrada na literatura técnica, ressalta que a durabilidade da estrutura do concreto é determinada por quatro fatores identificados como regra dos 4c: composição ou traço do concreto; compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura; cura efetiva do concreto na estrutura; cobrimento das armaduras (HELENE, 2002).

2.2.1 - CIMENTO

O elemento principal do concreto é o cimento Portland que é um pó fino com propriedades físico químicas classificado como aglomerante hidráulico, após a hidratação tornando um material sólido com resistência definida no traço que foi calculado. Após o período de cura que são 28 dias para os cimentos comuns, ele não se decompõe, mesmo que esteja em presença constante de água. Suas matérias primas é o cal (CaO), Sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), proporções de magnésia (MgO) e anidro sulfúrico (SO₃), possui ainda substâncias menores como impurezas, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras substâncias de menor importância (BAUER, 2012).

O cimento Portland é normalizado pela NBR 16697 (ABNT, 2018), e os tipos de cimento são:

- Cimento Portland comum – CP I E CPI-S (ABNT NBR 5732)
- Cimento Portland Composto – CP II (ABNT NBR 11578)
- Cimento Portland de Alto Forno – CP III (ABNT NBR 5735)
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (ABNT NBR 5736)
- Cimento Portland de Alta Resistência inicial – CP V ARI (ABNT NBR 5733)
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos – RS (ABNT NBR 5737)
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação – BC (ABNT NBR 13116)
- Cimento Portland Branco – CPB ABNT NBR 12989)

O cimento CP II se diferencia dos demais devido a presença de substâncias em sua composição como FILER, POZOLANA e ESCÓRIA acrescentados no processo de moagem para dar características especiais a este concreto (ISAIA, 2011).

O que difere a velocidade de hidratação do cimento, é a sua finura ou tamanho dos grãos, a finura afeta diretamente na velocidade de hidratação de argamassas e concretos e esta ligada ao seu desempenho (FALCÃO BAUER, 2012)

Para elevar a resistência do concreto, deve-se aumentar sua finura do cimento, com isto diminui a exsudação e outras segregações. Os pontos negativos são o custo de moagem e o calor que é liberado durante a hidratação do cimento por isso se faz um limite para este processo (SIQUEIRA, 2008)

A NBR 11579 determina a finura do cimento que deve ser peneirado na peneira número 200, isso determina a finura dos grãos e esse índice de finura deve ser superior a 12% (NETO,2013)

O concreto deve atender aos requisitos de segurança, de modo a atingir a resistência a compressão prevista em sua classe designada. O cimento Portland passa pelo ensaio de compressão axial em corpos de prova feitos de cimento, areia, brita e água, misturados até obter uma mistura homogênea de consistência normal. As moldagens seguem a norma NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova são conservados em câmara úmida por 28 dias, depois será rompido pela máquina de compressão (BAUER, 2012).

A exsudação ocorre com a segregação da pasta de cimento. O cimento Portland por possuir partículas mais pesadas que a água, pela ação da gravidade a uma sedimentação e com isso ocorre o afloramento da água que tem na mistura que ocorre antes da pega do cimento, e prejudica na resistência e durabilidade final do concreto.(SIQUEIRA, 2008)

2.2.2 - AGREGADOS

Materiais granulares ou agregados são materiais sem forma e volume definidos, que são acrescentados ao concreto para torná-lo economicamente viável, evitando o consumo excessivo de cimento que é um produto que consome muita energia em sua fabricação. Estes agregados compõem cerca de 80% da mistura do concreto, os agregados podem ser de origem natural ou industrializada suas propriedades devem ser adequadas ao traço de concreto que será feito. Geralmente os agregados são materiais inertes e são retirados de jazidas próximas aos locais onde vão ser utilizados e estes exercem influencias diretas sobre algumas características do concreto. Sobre sua granulometria, são classificados como agregados miúdos que passa pela peneira 4,8 mm e contém areia, o pó de pedra e os siltes, já os agregados graúdos, ficam retidos na peneira 4,8 mm que na maioria das vezes são as britas e o cascalho (MARTINS, 2008).

Ao conhecer as propriedades dos agregados, torna-se mais fácil fazer a dosagem adequada para cada fim, desta forma chegamos de forma mais fácil ao objetivo pretendido, conseguimos identificar as propriedades do concreto fresco, no estado endurecido e podemos ate mesmo definir a durabilidade da argamassa e concretos.

Agregados são formados por grãos de vários tamanhos, e a granulometria é a distribuição destes grãos. A norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) descreve a forma correta de se obter a granulometria, utilizando peneiras para classificar cada agregado de acordo com sua dimensão (MARTINS, 2008).

Ao se classificar os agregados, devemos perceber se não contém substâncias nocivas que poderão alterar o resultado final do nosso concreto, prejudica as propriedades, alterando a

trabalhabilidade e pode reduzir a resistência mecânica. A grande parte das impurezas estão no agregado miúdo, e estas impurezas são detectadas utilizando a NBR NM 49 (ABNT, 2001), grande parte das impurezas são de origem orgânica como os torrões de argila, materiais pulverulentos, minerais álcali-reativos, resíduos industriais, impurezas salinas entre outros (NETO, 2011).

2.2.3 - ÁGUA

Como o cimento é um aglomerante hidráulico, e a água provoca reação de hidratação em seus componentes, facilitando a trabalhabilidade da pasta e argamassa, a água é o principal componente para transformar o concreto em uma massa trabalhável, sendo facilmente deslocada, lançada, transportada, etc, mas o seu exagero pode provocar a exsudação, porosidade e reduzir a resistência (AMORIM, 2010).

A água utilizada para fazer o traço, permanece na mistura até a sua evaporação, e esta água pode provocar após a sua evaporação, canais e bolhas, e a consequência é um produto que não atende as especificações pré estabelecidas, quanto maior a quantidade de água, maior será a quantidade de canais e bolhas presentes no concreto e a consequência é um concreto com pouca resistência a compressão axial. Mas nunca haverá um concreto sem água pois ela que possibilita as reações químicas de hidratação (YAZIGI, 2009).

Outra importante utilização da água é na cura do concreto, pois se o concreto secar muito rápido, ocorre o aparecimento de fissuras que compromete a estabilidade das construções, evitando a evaporação rápida da água, as reações de hidratação ocorrem de maneira adequada tornando o concreto mais resistente (MAPA DE OBRA, 2016).

A NBR 15900-1 (ABNT,2009) recomenda analisar a água utilizada no amassamento do concreto quanto na cura, ela deve ser límpida sem presença de impurezas, óleos, graxas, ácidos e materiais sólidos, que influenciam de forma negativa nas características do concreto (ISAIA, 2011).

2.2.4 – PRODUÇÃO DO CONCRETO

O preparo do concreto atende a alguns requisitos básicos que tem como objetivo uma mistura homogênea de modo a agrupar os agregados, os aglomerantes, a água e os aditivos. As fases de produção são: mistura transporte, lançamento, adensamento e cura.

Para misturar o concreto a seus componentes utilizou-se alguns instrumentos mecânicos como a betoneira, o caminhão betoneira, já no processo manual é feito com enxada e pá, no processo manual, é utilizado quando não tem muita importância a resistência final, pois a mistura é feita de forma grosseira, não misturando como deveria ser, já na betoneira ou caminhão betoneira, seguindo todos os passos como a pesagem do material, acrescentando primeiro a brita e o cimento com a metade da água, roda a betoneira, acrescenta a areia e outros materiais que no nosso caso é o PEAD e o restante da água, roda a betoneira até a mistura de todo material de modo que fique homogêneo (CONSTRUFACILRJ, 2013).

Ao utilizar o caminhão betoneira, a mistura fica mais eficiente e é possível produzir grandes quantidades de concreto, pode ser produzidos máquinas que façam a mistura do concreto, elas têm que possuir um tambor ou uma cuba, ser fixas e girar em torno do eixo, podendo ser vertical, inclinado ou horizontal (BAUER, 2012).

Quando houver necessidade do transporte do concreto do local de produção até o destino final, deve ser feito de maneira rápida evitando o início de pega e perda da trabalhabilidade. Ao ser descarregado no local pré definido, sempre que possível ser feito direto na forma evitando manipulação inadequada do material, evitando a segregação, pois o mesmo é uma mistura homogênea (BAUER, 2012).

Antes de iniciar o transporte até a concretagem, deve saber o tipo específico do concreto (tamanho dos agregados, a trabalhabilidade entre outros fatores) e a forma que será retirado do meio de transporte, levando em conta a distância percorrida, local de acesso (BAUER, 2012).

Evitando a demora na colocação das formas para evitar o início do tempo de pega e o material ficar inutilizado ou impróprio para a utilização.

Alguns fatores influenciam indiretamente na resistência final do concreto, as formas devem ser molhadas para não absorver água do concreto. No lançamento do concreto, a altura não pode ser superior a 2 metros para evitar a segregação do concreto, pois acima desta medida, os agregados graúdos podem ficar na parte inferior do concreto e a parte superior ficando sem o agregado graúdo, interferindo na resistência final do concreto. Sempre que necessário deixar juntas de dilatação para que ocorra a deformação correta da estrutura (AOKI, 2007).

Ao fazer o adensamento que é a retirada de ar do concreto, diminuí a existência de vazios no concreto. O adensamento pode ser manual ou mecânico, o processo manual é feito o apiloamento utilizando um soquete até que o concreto na superfície pareça uma camada lisa,

este modelo é recomendado para obras de pequeno porte e a camada de concreto não exceda 20 cm de espessura (BAUER, 2012).

O modelo de adensamento mecânico que pode ser feito com vibração ou centrifugação. Os modelos de vibradores são por imersão, superfície ou externo, ocorrendo à vibração, as bolhas de ar saem da mistura de concreto e acomodado toda a mistura na forma de concreto. A centrifugação é utilizado mais em concreto pré-moldados, ela provoca o adensamento pelo aumento do peso aparente do concreto contra as formas (CONSTRUFACILRJ, 2014).

Para conseguir um resultado final excelente para o concreto, deve ser feito a cura apropriada evitando a evaporação da água, permitindo a completa aglutinação das partículas presentes, evitando ficar exposto ao sol, se possível colocar mantas para inibir a evaporação da água (YAZIGI, 2009).

A cura é um fator primordial no resultado final do concreto, deve se utilizar de técnicas que não onera financeiramente a obra, utilizar de ferramentas na desforma que não abalem a estrutura, a cura pode trazer transtornos para o restante do canteiro de obra. Alguns métodos utilizados estão o recobrimento, irrigação, submersão, impermeabilização por pintura entre outros. A cura tem período mínimo de 7 dias assim poderá alcançar seu objetivo de resistência, impermeabilidade e a resistência ao ataque de agentes agressivos (AECWEB, 2018).

2.2.5 - COMPORTAMENTO DO CONCRETO SOB COMPRESSÃO UNIAXIAL

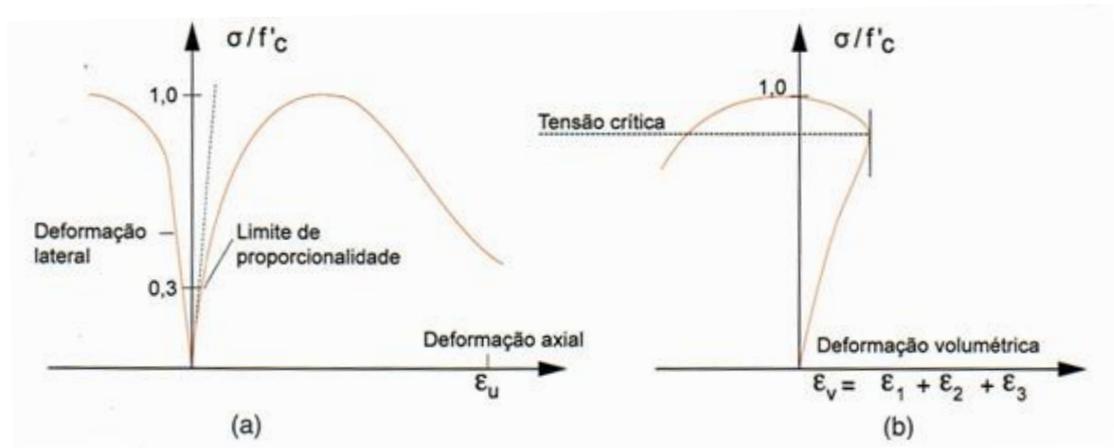
No estudo do comportamento de tensão-deformação do concreto submetido à compressão uniaxial temos a curva tensão-deformação que apresenta um ramo ascendente, seguido por um pico que é conhecido como a resistência de compressão do concreto e finalmente um ramo descendente ou amolecimento (QUARESMA, 2016).

Na Figura 1a pode-se observar um comportamento linear-elástico até cerca de 30% da resistência final f'_c porque, sob carregamento de curto prazo, as microfissuras na zona de transição na interface permanecem inalteradas. Para tensões acima desse ponto, a curva apresenta um aumento gradual na curvatura até cerca de $0,75 f'_c$ a $0,9 f'_c$ e, então, curva-se acentuadamente (torna-se quase horizontal); finalmente, decai até que o corpo de prova se rompa (QUARESMA, 2016).

Para concretos usuais, a forma da curva tensão-deformação parece mostrar que, com o nível de tensão entre 30 e 50 % de f'_c , as microfissuras na zona de transição apresentam certa extensão devida à concentração de tensão nas extremidades das fissuras; entretanto, não ocorre fissuração na matriz da argamassa. Até este ponto, assume-se que a propagação de fissuras é estável, uma vez que as fissuras rapidamente alcançam seus valores finais de comprimento se a tensão aplicada é mantida constante (QUARESMA, 2016).

Com um nível de tensão entre 50 e 75 % de f'_c , o sistema de fissuração tende a ser cada vez mais instável a medida que as fissuras da zona de transição começam a crescer novamente. Quando a energia interna disponível excede a energia necessária para avaliar a fissuração, a velocidade da propagação de fissuras aumenta e o sistema se torna instável. Isso acontece em níveis de tensão de compressão acima de 75 % de f'_c , quando a ruptura completa do corpo de prova pode ocorrer pela união de fissuras entre a matriz e a zona de transição na interface (QUARESMA, 2016).

Figura 1 - Curvas típicas de tensão na compressão vs. (a) deformações lateral e axial, e (b) deformações volumétricas.



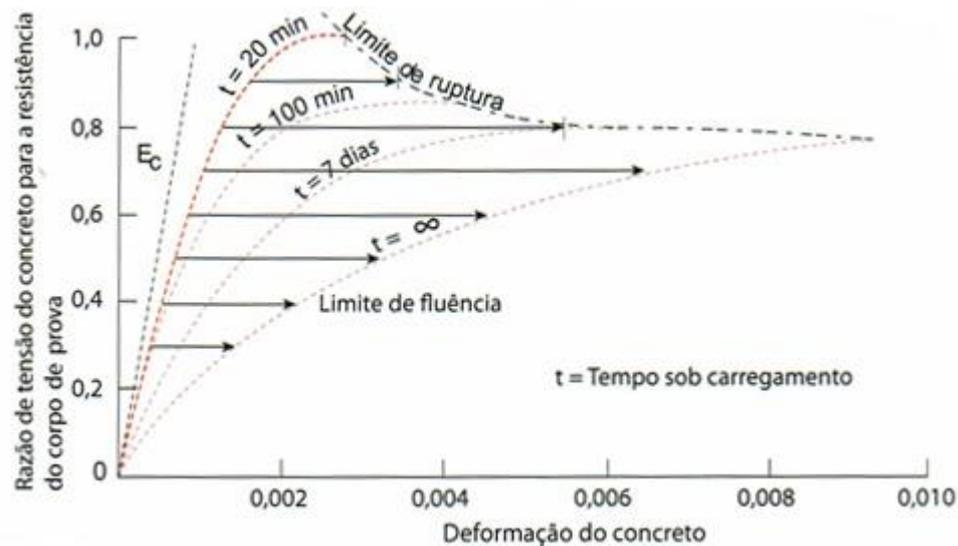
Fonte: (CHEN, 1982¹apud MEHTA; MONTEIRO, 2014)

Acima do nível crítico de tensão, o concreto mostra uma ruptura dependente do tempo. Ou seja, sob condições de tensão constante e contínua, a união da fissuração entre a zona de transição na interface e a matriz leva à ruptura com uma tensão menor do que a

¹CHEN, W. F., Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill, New York, p.20, 1982

resistência de carregamento de curto prazo f'_c . O limite de ruptura de longo prazo encontrado foi de cerca de 80 % da resistência final de curto prazo (Figura 2).

Figura 2 - Relação entre resistências de carregamento de curto e de longo prazo.



Fonte: (RUSCH, 1960²apud MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.3 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

A mistura de novos materiais ao concreto está sempre em alta, pois novos estudos sempre são feitos para buscar uma melhora significativa na qualidade do concreto, não deixando de lado a sustentabilidade, agregando novas tecnologias reaproveitando materiais que antes seriam descartados, esse é o nosso propósito do nosso trabalho, agregar novas tecnologias, melhorando a qualidade do concreto, quanto a trabalhabilidade, e a estabilidade (FONSECA, 2018).

O PEAD (polietileno de alta densidade) é o polímero mais utilizado mundialmente para a fabricação de geomembranas, uma vez que atende tanto os mais exigentes regulamentos internacionais de proteção ambiental, como fatores econômicos, facilidade de instalação, bem como soldagem (TUBOPEAD, 2018).

Sendo assim, este polímero é, essencialmente, composto de silicatos de cálcio ($3CaO.SiO_2$, $2CaO.SiO_2$), aluminatos ($3CaO.Al_2O_3$), ferro aluminatos de cálcio

²RUSCH, H. J., ACI, Proc., v. 57, n. 1, 1960

($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{F}_3\text{O}_3$) e pequenas quantidades de óxido de cálcio, óxido de magnésio, sulfatos de sódio, potássio, cálcio, e ainda traços de outros elementos (modificadores).

O polietileno de alta densidade é uma resina constituída por alto peso molecular, consagrada internacionalmente por suas excepcionais qualidades mecânicas e de processabilidade, as quais são mantidas inalteradas por um longo período de tempo, sabe-se ainda que essas qualidades se aliam a alta resistência do PEAD à maioria dos produtos químicos e efluentes gerados por indústrias, os quais prejudicam com facilidade a composição de outros materiais (REDES PEAD, 2018)

O PEAD resulta da polimerização do etileno em reatores de baixa pressão, processo que lhe confere uma estrutura molecular regular e estável e, conseqüentemente, resulta em produtos com características superiores às de outros materiais plásticos.

A este polímero, recebido diretamente da petroquímica, são agregados aditivos, gerando um produto, onde características fundamentais são bem melhoradas. Dentre estes aditivos destacam-se os termos estabilizantes e antioxidantes que aumentam significativamente a resistência às intempéries, calor, soldabilidade e a resistência à degradação.

O Polietileno de Alta Densidade é considerado como um dos compostos mais importantes, bem como o mais utilizado dentre as três variações conhecidas de polietilenos, visto que o PEAD apresenta características intrínsecas e que correspondem ao conseqüente enorme volume consumido em esfera global.

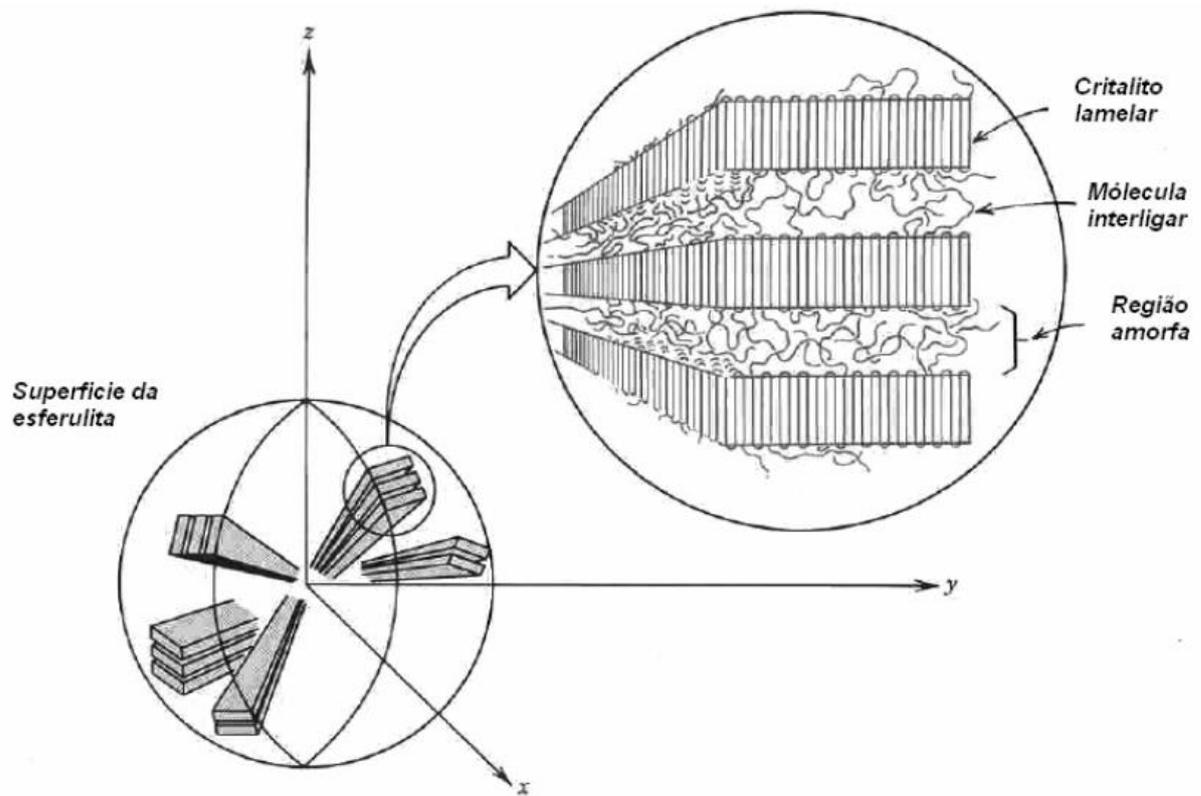
PEAD é uma resina constante de alto peso molecular, cuja qual foi consagrada mundialmente por apresentar excepcionalidade em suas condições mecânicas e de processabilidade, uma vez que essas podem se manter inalterada durante um longo período, tornando-se uma aliada quando a resistência é foco primordial.

O dado composto é resultado da polimerização do etileno em reatores onde encontra-se baixa pressão, conferindo assim a ele composição molecular regular e estável, conseqüentemente resultando aos produtos com características superiores ao demais plásticos.

Esse polímero é termoplástico, ou seja, pode ser fundido a um líquido e depois reformado, retornando ao estado sólido. A sua síntese tem origem no etileno. Um composto obtido do petróleo ou de gás natural.

O polietileno possui uma macroestrutura conhecida como esferulítica. A parte cristalina é constituída de moléculas regularmente organizadas dentro de lamelas, tal como mostra a figura abaixo.

Figura 3 - Macroestrutura esferulítica.



Fonte: ULLOA TORRES, 2007

2.3.1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ADIÇÃO DO PEAD

GOMA (2019) diz que existem inúmeros benefícios na utilização desse polímero. E o mesmo lista alguma das suas principais características que o tornam bastante procurado pelas indústrias e empresas.

- É atóxico, ou seja, não é nocivo.
- Tem alta resistência à tração, tensão e compressão.
- É impermeável.
- Bastante flexível.
- Pode ser utilizado com outros polímeros mesclando características.
- Boa resistência a incidência de raios solares, quando comparado a outros polímeros.

Essas trata-se de algumas das características que fazem com que o polietileno seja empregado em vários produtos presentes do cotidiano.

É imprescindível considerar o fato de não se ter outros trabalhos realizados com adição deste material, nos encoraja a enfrentar o desafio, ainda que no futuro este material

possa vir a degradar mais rápido que o concreto, trazendo prejuízos para obras feitas com este material, dessa forma torna-se de extrema importância ressaltar as vantagens do mesmo.

A adição do PEAD, até o presente momento, considerando os benefícios que tal composto pode trazer como maior resistência ante o concreto comum tem apresentado resultados positivos, visto que se trata de uma opção adicional mediante os compostos apresentados na contemporaneidade.

2.3.2 – APLICAÇÃO PEAD

Polynorte (2018), Eportali (2019) e IVCEmbalagens (2019) apresentam o PEAD (Polietileno de Alta Densidade) como um material de grande utilização para a fabricação de diversos tipos de produtos com moldagem como as que vamos citar abaixo:

Embalagens: bolsas, garrafas, caixas, embalagens de alimentos para compostos químicos, frascos, rolhas, tampas, cápsulas;

Eletrônico: isolante de fios, alambrados, bobina, suporte de lâmpadas, aparas, monofilamentos;

Automobilístico: tubos, mangueiras, conexões, recipientes de combustível;

Eletrônicos: placas de produtos eletrônicos;

3 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado o processo de confecção dos corpos de prova para os testes mecânicos e a descrição do processo experimental.

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO PEAD

O PEAD que foi adquirido para este fim, foi buscado em uma recicladora que fica no bairro cidade universitária próximo ao campo experimental da Unievangélica, encontramos um material já triturado tinha grande quantidade deste material, mas adquiridos apenas 4 kg do produto, não nos foi repassado pela recicladora o que era anteriormente este material antes da trituração, se era frasco de shampoo, de remédio, etc, como este material chegou até lá, se foi triturado lá mesmo, se veio de outro lugar ou estado, não nos descreveu como era a máquina que fez a trituração, etc., mas pesquisando na internet, encontramos máquinas que se

dizem recicladoras de material plástico, sem muita informação quanto ao tamanho final do produto. Segue abaixo figura 4 (a) e (b) desta máquina pesquisada.

Figura 4 - (a) triturador de PEAD

(b) triturador de PEAD



Fonte: Mercado Livre, 2019

A máquina que triturou o PEAD em questão, deixou o PEAD bastante irregular, com tamanhos variados, desde pulverulentos até tamanhos de 10 mm em sua grande parte retangular não uniforme.

3.2 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento feito para o estudo de caso deste trabalho foi conduzido no período de julho de 2018 a março de 2019, no laboratório do CENTRO TECNOLÓGICO do Centro Universitário da Faculdade Evangélica de Anápolis, no município de Anápolis – GO (Figura 5).

Figura 5 - Laboratório Centro Tecnológico da UniEvangélica



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Nesse experimento, pretendia-se encontrar um traço ideal que não reduziria a resistência do concreto, ao contrário gostaríamos muito se ele tivesse aumentado sua resistência, com isso nosso trabalho seria um início de outras pesquisas relacionadas ao PEAD.

Foi feito um plano experimental com concreto convencional e 7 grupos com variações de quantidades de PEAD, utilizando como base o concreto convencional, para ser acrescentado a quantidade de PEAD em cada grupo feito, esses grupos variaram de 25 em 25 gramas por corpo de prova, que iniciou com 25 gramas de PEAD e no final do sétimo teste ficou com 175 gramas de PEAD por corpo de prova, os traços foram feitos individuais para cada teste e cada traço fizemos 4 corpos de prova cilíndricos para que no fim da cura do concreto com 28 dias testar a resistência axial do concreto, conforme tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Número de corpo de provas para compressão axial.

Grupo de concreto	Adição de PEAD (g)/CP	Nº de CPs
Convencional	0	4
Grupo 1	25	4
Grupo 2	50	4
Grupo 3	75	4
Grupo 4	100	4
Grupo 5	125	4
Grupo 6	150	4
Grupo 7	175	4

Fonte: próprio autor, 2019.

Ao dosar o concreto, entendemos a influência do Cimento Portland e da água na resistência final do Concreto. Utilizamos o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para calcular a resistência de um concreto de 15 MPa.

Para fazer pelo método ABCP, temos que conhecer as propriedades dos materiais utilizados para a confecção do concreto que são o cimento, agregado graúdo, miúdo e a água. Tudo calculado para fazer 1m³ de concreto.

Após obtidos os valores referentes a massa específica e massa unitária dos materiais, qual fck utilizar e abatimento, podemos calcular o traço, procedimento este disponível no apêndice A.

3.2.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais foram caracterizados com auxílio da técnica de laboratório do centro universitário.

Para as análises foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Agitador mecânico de peneiras;
- Balanças;
- Balde;
- Bandejas metálica retangular;
- Câmara úmida;
- Carrinho de mão;
- Cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm;
- Concha;

- Corpo de prova 100x200 mm;
- Escova;
- Estufa;
- Frasco aferido de 500 centímetros cúbicos;
- Funil de vidro;
- Haste de compactação metálica com superfície circular plana;
- Haste reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento;
- Molde tronco-cônico metálico de 40 mm de diâmetro superior, 90 mm de diâmetro inferior e 75 mm de altura, com espessura mínima de 1 mm;
- Molde tronco de cone com diâmetro inferior 200 mm e superior de 100 mm;
- Pá;
- Placa de base com dimensão de 500 mm;
- Peneiras serie normal e intermediaria com tampa e fundo de acordo com a NM-ISO 3310-1 e 2;
- Pincel;
- Prensa de compressão axial da Contenco;
- Recipiente cilíndrico metálico com alças;

3.2.2.1 – MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS SEGUNDO NBR NM 52:2009 E A NBR NM 53:2009

Utilizando a norma NBR NM 52:2009 e NBR NM 53:2009, encontramos a massa especifica da areia e brita 0.

A descobrir a massa especifica da areia, uma amostra foi colocada em um recipiente submersa em água permanecendo em repouso por um dia, após este tempo, a areia foi retirada da água e colocada em uma superfície plana, secando naturalmente.

A areia foi colocada no molde tronco-cônico com medidas de 40 mm de diâmetro superior, 90 mm de diâmetro inferior e 75 mm de altura; e sua superfície foi compactada suavemente com haste de compactação metálica, com 340 g de massa, tendo superfície de compactação circular plana de 25mm de diâmetro; com 25 golpes, e então o molde foi levantado verticalmente para testar a umidade superficial do agregado, quando o cone do agregado desmoronar ao retirar o molde, neste momento o agregado terá chegado a condição

de saturado superfície seca, tal teste assegura que o agregado tenha alguma umidade superficial.

O procedimento consistiu em pesar 500 gramas de amostra (ms), coloca-la no frasco aferido de 500 centímetros cúbicos de capacidade e registrar a massa do conjunto (m1), depois encher o frasco com água até próxima da marca de 500 ml e movê-lo para eliminar as bolhas de ar, em seguida colocá-lo em banho mantido a temperatura constante de 21°C por 1 hora.

Completar o frasco com água até a marca de 500 centímetros cúbicos e determinar a massa total (m²). Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo na estufa a 105°C até massa constante, esfriar à temperatura ambiente e pesar (m).

Já para a massa específica da brita 0, foram separadas duas amostras de 2 quilogramas cada, após pesar colocou-se em um recipiente e cobriu com água permanecendo em repouso por 24 horas, retira-se a amostra da água e com um pano absorvente enxuga a amostra até que toda a água visível seja eliminada, mesmo que a superfície das partículas se apresente úmida.

Logo após ser enxugada, pesa-se a amostra (ms), e a coloca no cesto de arame e submerge em água e pesar em água (ma). Seca-se a amostra na estufa a 105°C até massa constante, esfriar até a temperatura ambiente por 1 a 3 horas e pesar novamente (m).

3.2.2.2 - MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS SEGUNDO NBR NM 45:2006

A NBR NM 45 (ABNT, 2006), descreve a massa unitária da areia e brita 0.

A amostra de areia foi seca em estufa a 105°C por 24 horas, como o agregado possui dimensão máxima característica inferior a 37,5 mm foi empregado o “método A” da NBR NM 45:2006. Nesse método foi determinada e registrada a massa do recipiente cilíndrico vazio, com 27 centímetros de altura, 22 centímetros de diâmetro e volume de 0,01 metros cúbicos. A seguir, encheu-se o recipiente com o material até um terço de sua capacidade o adensou com 25 golpes da haste de adensamento reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento, distribuídos uniformemente em toda a superfície do material.

Encheu novamente o recipiente até dois terços de sua capacidade e aplicou mais 25 golpes, por fim, terminou de encher totalmente o recipiente e aplicou mais 25 golpes. A camada superficial do agregado foi nivelada com uma espátula, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente. Foi registrada a massa do recipiente mais seu conteúdo.

O mesmo processo descrito para a areia foi realizado com a brita 0 para determinação de sua massa unitária.

3.2.2.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA SEGUNDO A NBR NM 248:2003

Seguindo a NBR NM 248:2003 foi realizado o ensaio de granulometria para a brita 0 e areia.

Para a areia secou se em estufa por 24 horas 1 quilograma de areia, que foi dividido em duas amostras de 500 gramas cada, cada amostra foi pesada após esfriar em temperatura ambiente e suas massas foram registradas (m_1 e m_2), as peneiras foram encaixadas formando um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente e provido de um fundo adequado para o conjunto.

Cada amostra foi ensaiada individualmente colocando a amostra na peneira superior do conjunto e colocando o conjunto no agitador mecânico por dois minutos cada peneira, após agita-las o material foi removido e colocado em uma bandeja circular, a malha foi escovada para retirar o material remanescente e pesou se o elemento retido em cada peneira. O procedimento deve ser repetindo para cada abertura de malha.

Para a brita 0 foi realizado o mesmo experimento descrito para a areia, mudando apenas o tamanho das peneiras e o agitador mecânico, e para cada amostra foi utilizado 2 quilogramas de agregado que foi colocado no peneirador por 1 minuto em cada peneira e registrado a massa retida em cada uma.

3.2.2.4 - DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE SEGUNDO A NBR NM 67:1998

Produzimos 8 traços de concreto, um de teste e os outros 7 com respectivas quantidades de material e feito o ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR NM 67:1998. As dimensões do tronco de cone são: diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm, foi utilizado também uma haste de compactação se seção circular com diâmetro de 16 mm feita em aço e comprimento de 600mm com extremidades arredondadas, utilizadas também uma placa metálica quadrada com dimensões de 500mm.

Primeiramente molha o molde e a placa metálica, posiciona o molde em cima da placa metálica, apoia os pés nas alças do molde, encher em 3 camadas cada uma com um terço da altura do molde e cada camada dar 25 golpes com a haste.

Após preenchido o molde, rasar a superfície do concreto com a haste de compactação e retirar cuidadosamente na posição vertical para não deformar o concreto, medindo logo após a retirada o abatimento do concreto, através da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.

Como o abatimento pretendido era zero, após todo o processo com os oito traços, foi identificado abatimento de $0 \pm 1,5$ cm em média o que satisfaz nosso experimento.

3.2.3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM CONCRETOS SEUNDO A NBR 5739:2007

O concreto é um material de baixo custo com fácil execução, simples, preciso e seguro, sua importância nas construções é fundamental e o método avaliativo mais importante é a compressão axial, que avalia se o concreto está apto a ser usado nas obras tanto de baixa ou alta complexidade.

A realização do ensaio padroniza a qualidade do concreto verificando a resistência real do traço produzido. Os corpos de prova foram confeccionados no laboratório do centro tecnológico da UniEvangélica de Anápolis.

Até o concreto atingir 28 dias de cura, os corpos de prova foram mantidos na câmara úmida do centro tecnológico, sendo retirados para fazer o rompimento, portanto não ficaram fora da câmara úmida. Ao ser realizado o rompimento, toda vez que trocou o corpo de prova, limpou-se os pratos para não ficar resíduos de outros corpos de prova que poderiam interferir nos resultados. A carga do ensaio foi aplicada com velocidade de 0,3MPa/s a 0,8MPa/s, com velocidade contínua e sem choque, após os ensaios, foi gerado um gráfico com todas as informações do rompimento dos corpos de prova pelo programa do computador.

A NBR 5738:2015, regulamenta os procedimentos de moldagem dos corpos de prova e sua cura, usando formato cilíndrico ou prismático. Em nosso trabalho os corpos de prova foram utilizados os modelos cilíndricos, e neste tópico exemplificaremos os procedimentos com este modelo.

De acordo com a norma mencionada acima, os moldes devem ser de aço ou material não absorvente ou reagente ao cimento Portland, de devem ser suficientemente resistente, não mudando sua forma original durante a operação de moldagem e desmoldagem dos corpos de

prova. Sobre sua confecção, a altura deve ser o dobro de seu diâmetro e os diâmetros que existem são 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm.

A ABNT NBR NM 33, mostra a porção de concreto empregado no preparo dos corpos de prova, os cilindros devem ser no mínimo 3 vezes maior do que a dimensão do agregado graúdo. Deve também ser registrado a data, hora local e abatimento, essas referências são necessárias para quando fizer o rompimento do concreto, obter resultados com mais exatidão e sem dúvidas se houver outros corpos de prova juntos aos que serão rompidos.

Antes da moldagem dos corpos de prova, os moldes foram untados com um desmoldante específico para concreto. Segundo a ABNT NBR 5738 (2015, p.3).

A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos de prova durante sua moldagem e início de pega. (ITEM 7.2.2 DA NBR 5738)

Após fazer o slump test, o concreto foi devolvido a betoneira, feito uma nova mistura para garantir a uniformidade do concreto. O concreto foi introduzido em 3 camadas, e cada camada recebeu 12 golpes com a haste cilíndrica, que é o recomendado para este tipo de molde.

O rasamento foi feito com colher de pedreiro, os moldes permaneceram por 24 horas sobre uma superfície horizontal sem qualquer avaria e cobertos por material para impedir a perda de água do concreto.

Após o fim do prazo de cura inicial que foi de 24 horas, foi retirado o molde metálico e transportado pra a câmara úmida para que o concreto tenha a cura correspondente ao nosso projeto para que ao final da cura verificar a qualidade e a resistência de cada corpo de prova

A NBR 67, de 1998, que ainda está em vigência determina “o método aplicável aos concretos plásticos e coesivos”. Determina a consistência do concreto pelo método de abatimento do tronco de cone.

Ao fazer o teste do abatimento, a porção de concreto deve fazer parte da porção total de todo o lote de concreto. O molde utilizado tem formato cone oco, e o diâmetro da base inferior tem 200mm, diâmetro superior com 100mm e altura de 300mm; feito de metal com interior liso com espessura igual ou maior que 1,5mm.

A NBR NM 67 (1998, p.3) diz que:

As bases superior e inferior devem ser abertas e paralelas entre si, formando ângulos retos com o eixo do cone. O molde deverá ser provido, em sua parte superior, de duas alças, posicionadas a dois terços de sua altura, e ter aletas em sua parte inferior para mantê-lo estável.

O procedimento ideal para fazer o abatimento do tronco de cone, deve-se umedecer com água tanto o molde quanto a base, e preencher todo o molde dividido em 3 camadas, cada camada com um terço da altura total do molde, e o operador deve apoiar os pés sobre as alças do molde para evitar movimentos involuntários do molde.

Cada camada recebe 25 golpes com a haste de compactação. A NBR NM 67 (1998, p.3), descreve que a haste deve “ser de seção circular, reta, feita de aço ou outro material adequado com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas”. Ao compactar as 3 camadas de concreto no tronco de cone, os golpes devem penetrar apenas na última camada.

O preenchimento da última camada deve estar em excesso, para se feito o rasamento da superfície, com uso de desempenadeira em movimentos rolantes. O molde deve ser retirado entre 5s a 10s em movimento constante na direção vertical, evitando qualquer movimento de torção lateral. Ainda segundo a NBR NM 67 (1998, p.4):

Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos.

Colocar o corpo de prova de forma que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, que devem receber o carregamento, coincida com eixo de aplicação de carga. Colocar, entre os pratos da máquina e os corpos de prova em ensaio, as duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, definidas em 3.4. As tiras de madeira devem ser usadas para apenas uma determinação. Ajustar os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo de prova.

4 - RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e a discussão sobre os mesmos para fins de entendimento e cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho.

4.1.- CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Realizados os ensaios no laboratório do Centro Universitário da UniEvangélica, Anápolis-GO e os posteriores cálculos de acordo com as normas citadas no capítulo 3 foram obtidos os seguintes resultados:

4.1.1 AGREGADO MIUDO

Considerando a amostra da areia a primeira caracterização foi a de massa unitária, os dados obtidos na análise seguem na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados para cálculo da massa unitária do agregado miúdo.

Massa unitária	
Recipiente vazio	6,5 kg
Diâmetro recipiente	0,22 m
Altura recipiente	0,27 m
Amostra 1	18,00 kg
Amostra 2	17,95 kg
Amostra 3	17,95 kg

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Segundo a norma da ABNT (2006) NBR NM 45 a massa unitária é obtida pela equação (4.1) a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (4.1)$$

Onde,

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

O volume do recipiente foi obtido por meio da fórmula do volume do cilindro conforme Equação (4.2):

$$V = \pi r^2 h \quad (4.2)$$

Onde r é o raio do recipiente e h a altura ambos em metros

Que resultou em um volume de $V = 0,010 \text{ m}^3$.

Com o volume e o peso das amostras obteve as massas unitárias, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Massa unitária do agregado miúdo.

Massa unitária	
Amostra 1	1150,00 kg/m ³
Amostra 2	1145,00 kg/m ³
Amostra 3	1145,00 kg/m ³
Média	1146,67 kg/m ³

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Os dados obtidos para cálculo da massa específica conforme normas da ABNT NBR NM 52:2009 seguem na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados para cálculo da massa específica do agregado miúdo.

Massa específica	
MS	500 g
M1	886 g
M2	1125,2 g
M	470 g
Água a 24,5°	$\rho_a = 0,99716 \text{ cm}^3$

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O cálculo da massa específica do agregado seco é obtido por meio das Equação (4.3):

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (4.3)$$

Onde,

d_1 , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a , é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a Equação (4.4), em centímetros cúbicos:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (4.4)$$

Onde,

m_1 , é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

m_2 , é a massa total (frasco + agregado + água), em gramas;

ρ_a , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Já a massa específica do agregado saturado superfície seca é obtido pela Equação (4.5):

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (4.5)$$

Onde,

d_2 , é a massa específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

m_s , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

V , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a , é o volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Já a massa específica é obtida pela Equação (4.6) a seguir:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \left(\frac{m_s - m}{\rho_a} \right)} \quad (4.6)$$

Onde,

d_3 , é a massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

m , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a , é o volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

m_s , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

ρ_a , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Os resultados calculados para a massa específica da areia reciclada de acordo a ABNT NBR NM 52:2009 estão na tabela 5.

Tabela 5: Massa específica do agregado miúdo.

Massa específica	
Va	239,88 cm ³
d1	1,81 g/cm ³
d2	1,92 g/cm ³
d3	2,043 g/cm ³

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O teste de Granulometria foi realizado conforme a norma NBR NM 248:2003 os dados obtidos para os cálculos seguem abaixo na Tabela (6) para a amostra 1 de 500g:

Tabela 6 - Granulometria amostra 1 do agregado miúdo.

Abertura da malha	Material retido	% retida	% acumulada
4,75mm	2,0g	0,4	0,4
2,36mm	63,6g	12,72	13,12
1,18mm	91,8g	18,36	31,48
600mm	112,8g	22,44	53,92
300mm	112,9g	22,58	76,50
150mm	66,2g	13,24	89,74
Fundo	51,3g	10,26	100

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Na Tabela (7) para a amostra 2 de 500 g:

Tabela 7 - Granulometria amostra 2 do agregado miúdo.

Abertura da malha	Material retido	% retida	% acumulada
4,75mm	3,0g	0,6	0,6
2,36mm	92,5g	18,5	19,1
1,18mm	108,6g	21,72	40,82
600mm	116,7g	23,34	64,16
300mm	96,4g	19,28	83,44
150mm	45,6g	9,12	92,56

Fundo	37,2g	7,44	100
-------	-------	------	-----

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O cálculo de percentagem retida é realizado conforme a Equação (4.7) a seguir:

$$\% \text{ Retida} = \frac{\text{material retido}}{500} \cdot 100 \quad (4.7)$$

Tendo a Tabela (8) como média das amostras

Tabela 8 - Granulometria média das amostras 1 e 2 agregado miúdo.

Abertura da malha	% Média Retida	% Média Acumulada
4,75mm	0,5	0,5
2,36mm	15,61	16,11
1,18mm	20,04	36,15
600mm	22,89	59,04
300mm	20,93	79,97
150mm	11,18	91,15
Fundo	8,85	100

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Conforme a norma o módulo de finura da areia é de 2,83 g/cm³.

4.1.2 AGREGADOS GRAUDOS (Brita 0)

Analisando a amostra da brita 0 inicialmente foi caracterizado massa unitária, as informações obtidas na análise seguem na Tabela 9.

Tabela 9: Dados para cálculo da massa unitária da brita 0.

Massa unitária	
Recipiente vazio	6,5 kg
Diâmetro	0,22 m
Altura	0,27 m
Amostra 1	17,40 kg
Amostra 2	17,75 kg

Amostra 3

17,95 kg

 Fonte: Próprio Autor, 2019.

Conforme a norma da ABNT (2006) NBR NM 45 a massa unitária é encontrada pela equação (1) citada no item 4.1.1. J volume do recipiente foi calculado pela fórmula do volume do cilindro de acordo com a Equação (2). Que resultou em um volume de $V = 0,010 \text{ m}^3$.

Tendo o volume e o peso das amostras obteve-se as massas unitárias, apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Massa unitária brita 0.

Massa unitária	
Amostra 1	1090,00 kg/m ³
Amostra 2	1125,00 kg/m ³
Amostra 3	1145,00 kg/m ³
Média	1120,00 kg/m ³

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Os valores encontrados para o cálculo da massa específica seguindo a norma da ABNT NBR NBR NM 53:2009 seguem na Tabela 11.

Tabela 11: Dados para cálculo da massa específica da brita 0.

Massa específica	
Ms1	2571,4g
Ma1	1391 g
M1	2336,5 g
Ms2	3021,2 g
Ma2	1642 g
M2	2817,8 g

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O cálculo da massa específica do agregado seco é obtido por meio das Equação (4.8):

$$d = \frac{m}{ms - ma} \quad (4.8)$$

Onde,

d , é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_a , é a massa em água da amostra, em gramas.

Ja a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca é calculada pela Equação (9):

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (4.9)$$

Onde,

d_s , é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

m_s , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a , é a massa em água da amostra, em gramas.

A massa específica aparente do agregado é dada por meio das Equação (4.10):

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (4.10)$$

Onde,

d_a , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a , é a massa em água da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas

A absorção de água é calculada utilizando a Equação (11):

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (4.11)$$

Onde,

A , é a absorção de água, em percentagem;

m , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas.

Com os cálculos da massa específica da brita 0 foram obtidos os valores apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Massa específica brita 0.

Massa específica		
	Amostra 1	Amostra 2
d	1,98 g/cm ³	2,04 g/cm ³
d _s	2,178 g/cm ³	2,19 g/cm ³
d _a	2,47 g/cm ³	2,40 g/cm ³

A

10,05%

7,2%

 Fonte: Próprio Autor, 2019.

O teste de Granulometria foi realizado conforme a norma NBR NM 248:2003 os dados obtidos para os cálculos seguem na Tabela (13) para a amostra 1 de 2,00 kg:

Tabela 13: Granulometria amostra 1 da brita 0.

Abertura da malha	Material retido	% retida	% acumulada
37,5mm	0g	0	0
25mm	0g	0	0
19mm	0g	0	0
12,5mm	0g	0	0
9,5mm	0g	0	0
4,75mm	820g	41	41
2,36mm	775g	38,75	79,75
Fundo	405g	20,25	100

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Ja a Tabela (14) é para a amostra 2 de 2,00 kg:

Tabela 14: Granulometria amostra 2 da brita 0.

Abertura da malha	Material retido	% retida	% acumulada
37,5mm	0 g	0	0
25mm	0 g	0	0
19mm	0 g	0	0
12,5mm	0 g	0	0
9,5mm	0 g	0	0
4,75mm	815g	40,75	40,75
2,36mm	785g	39,25	80
Fundo	400g	20	100

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O cálculo de percentagem retida é realizado conforme a Equação (12) a seguir:

$$\% \text{ Re tida} = \frac{\text{material retido}}{2000} \cdot 100 \quad (12)$$

Tendo a Tabela (15) como média das amostras

Tabela 15: Granulometria média das amostras 1 e 2 brita 0.

Abertura da malha	% Média Retida	% Média Acumulada
37,5mm	0 g	0 g
25mm	0 g	0 g
19mm	0 g	0 g
12,5mm	0 g	0 g
9,5mm	0 g	0 g
4,75mm	40,875 g	40,875 g
2,36mm	39 g	79,875 g
Fundo	20,125 g	100 g

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Conforme a norma o módulo de finura da brita 0 é de 1,21 g/cm³

4.2 - ESCRITA DO TRAÇO

Utilizando os dados da caracterização dos agregados, foram calculados um traço conforme as normas da ABCP (Apêndice A) para uma resistência inicial de 15 MPa, definida com o objetivo de obter uma melhor visualização do ganho de resistência com a adição do PEAD.

A trabalhabilidade do concreto é influenciada por fatores intrínsecos ao concreto, como a sua relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento; teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos agregados. Sendo assim, segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1996) o abatimento do tronco de cone é o método de ensaio definido pela normalização brasileira para determinação da consistência do concreto fresco, em detrimento de tal fato estipulado um abatimento de 0 ± 20 mm no traço final. Inicialmente foi feito um traço teste com o abatimento de 90 ± 10 mm, porém observou-se que o material não absorve a água e isso gera uma perda de resistência assim foi definido a diminuição do abatimento. A trabalhabilidade do concreto com slump 0 é menos fluida porém ainda sim pode ser usada na moldagem de elementos de concreto armado.

Foi utilizado o cimento CP II Z 32 (Ciplan), material este, determinado devido as condições oferecidas pela instituição de pesquisa. Após a realização dos cálculos, resultou para 15 MPa um traço de 1:2,08:2,39:0,58:00 Kg (Cimento:Areia:Brita:Água:PEAD).

A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade. Os procedimentos necessários para execução do Slump Test foram observados. O ensaio realizado alcançou no Slump Test o valor de 0 ± 20 mm para todos os traços.

Os corpos de provas finais foram confeccionados no Centro Tecnológico da UniEvangélica, no dia 13 de março de 2019. Os traços foram produzidos na betoneira, primeiro colocou-se o agregado graúdo, o agregado miúdo e metade da água calculada no traço convencional, após misturar os agregados colocou-se o cimento e foi sendo adicionado o restante da água calculada.

Figura 6 -Produção do concreto com mistura de PEAD.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Figura 8 – Rompimento dos corpos de prova em prensa de compressão axial.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

A idade de rompimento foi aos 28 dias, sendo confeccionados quatro corpos de prova para cada grupo, para podermos obter prova e contraprova de cada resultado, para os testes de compressão axial. A tabela 16 demonstra todos os resultados obtidos no laboratório para o ensaio de compressão axial.

Tabela 16 – Todos os resultados para o ensaio de compressão axial, prova e contraprova de acordo com os grupos.

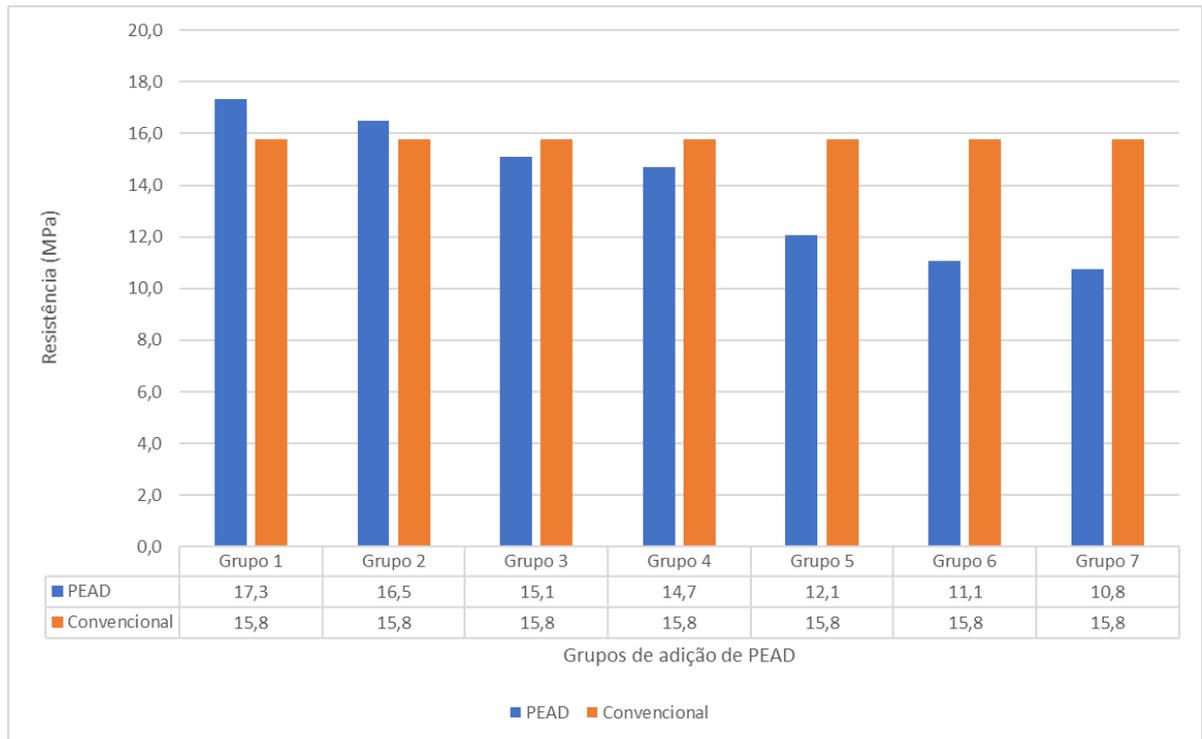
Grupo de concreto	Resistência axial (MPa)	Média (MPa)
Convencional	15,9	15,77
	16,7	
	15,4	
	15,1	

Grupo 1	16,2	17,325
	16,8	
	18,6	
	17,7	
Grupo 2	16,7	16,5
	15,9	
	16,6	
	16,8	
Grupo 3	15,2	15,1
	16	
	13,7	
	15,5	
Grupo 4	15,2	14,7
	15,8	
	13,7	
	14,1	
Grupo 5	11,7	12,075
	13	
	12,6	
	11	
Grupo 6	10,9	11,05
	12,6	
	11	
	9,7	
Grupo 7	11,2	10,75
	11,3	
	9,9	
	10,6	

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Segue a abaixo os gráficos para melhor visualização dos resultados médios, entre CPs, de ruptura por compressão axial. Os gráficos Resistência x Grupo, foi confeccionado em planilha do Excel a partir dos dados obtidos pelos laudos dos testes (anexo A) realizados no laboratório centro tecnológico da UniEvangélica, pelo programa de prensa de compressão axial da contenco, 2019.

Figura 9 - Gráfico comparativo da resistência à compressão axial dos grupos.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível mostrar que a pesquisa abordou a adição de PEAD ao concreto convencional, abrangeu-se as exterioridades ligadas a sustentabilidade, com a certeza de influenciar novas pesquisas para tentar retirar da natureza materiais que serão jogadas no lixo sem nenhum tratamento, transformando esses materiais em novos produtos ou incorporando outros. Alguns pontos foram avaliados como o comportamento mecânico, os métodos de ensaio e procedimentos de dosagem. O objetivo foi a colaboração técnica científica, este trabalho cumpriu com o objetivo apresentando a tecnologia e mostrando a execução da técnica.

A dosagem experiencial mostrou o comportamento da resistência do concreto com adições do PEAD, em adições com 25g e 50g do PEAD em cada corpo de prova, mostrou um acréscimo da resistência do concreto, então com esta dosagem o PEAD não interferiu na hidratação do cimento e não interferiu na união do cimento com os agregados miúdos e graúdos, posteriores adições houve gradualmente perda da resistência do concreto, quanto maior a quantidade de PEAD acrescentado, mais frágil ficou o concreto, então o PEAD interveio na hidratação do concreto e a união dos agregados ao cimento.

Este trabalho constituiu uma linha de pesquisa exclusiva com um único material o PEAD, mas com acréscimo de quantidades diferentes em sua composição, foi analisado somente a compressão axial para comprovar a pesquisa teórica na caracterização dos materiais.

Finalmente, não encontramos outras pesquisas no tema da análise mecânica do concreto com adição PEAD, como o PEAD tem uma vida útil estimada de 400 anos, este material não deve ser utilizado como concreto estrutural, principalmente em obras que são previstos uma longa duração da estrutura, mas seu uso é fundamental para a garantia de sua aplicação de uma forma mais sustentável.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Este estudo deu continuidade a outras abordagens a respeito de misturas em concretos, e pretendemos despertar o interesse em novas pesquisas principalmente relacionadas a sustentabilidade, pois vários produtos são descartados diariamente e esses produtos podem ser incorporados ao concreto elevando ou mantendo a resistência do concreto

e retirando esses materiais descartáveis do meio ambiente. Como possibilidades para a utilização de concreto incorporados com novos produtos futuramente.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas – procedimento: NBR8681. 2004

ABNT NBR 5738:2015 Versão Corrigida:2016.Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=357453> >. Acesso em 22 de Abril de 2019.

ABNT NBR 5739:2015 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398444>>. Acesso em 22 de Abril de 2019.

AECWEB, Sustentabilidade começa no canteiro de obras. Disponível em:<https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/sustentabilidade-comeca-no-canteiro-de-obras_10563_0_20>. Acesso em: 22 Abril. 2019.

AMORIM, E. L. C. de. Ferramentas de Análise de Risco. Apostila do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas, CTEC, Alagoas: 2010. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/13061/pdf>> . Acesso em: 22 Abril. 2019.

AOKI, Jorge Proteja seu concreto. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massacinzenta/proteja-seu-concreto>. Acesso em: 22 de Abril /2019

BAUER, Luiz A. F. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC – v.1 - 2000. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9070/1/CT_COECI_2017_2_13.pdf>. Acesso em 22 de Abril de 2019.

BELCHIOR, Wallace Melo. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos com substituição parcial do cimento por resíduos cerâmicos. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.Disponível em:< <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5820>>Acesso em 21Abril 2019.

BOFF, Leonardo. Ecologia, mundialização, espiritualidade. Rio de Janeiro 2008, s.p.
Disponível em: < http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/coletanea-artigos_boff.pdf>. Acesso em 21Abril 2019

CALLERA, CleversonAislan. Industrializando processos na obra: Instalações hidrossanitárias. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/artigos/industrializando-processos-na-obra-instalacoes-hidrossanitarias>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

CARVALHO, Roberto Chust& PINHEIRO, Libânio M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: volume 2. 1ª ed. 3ª tiragem. PINI, São Paulo, 2010. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/157218/TCC_Pedro%20Gabriel%20Kemczinski.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 abr. 2019.

CASTRO/SANTOS. ANDRESSA ANTUNES DE CASTRO / LORENA FLEURY SANTOS. Estudo de concreto produzido com agregados graúdos e miúdos reciclados de resíduos de construção e demolição. 93P, 297mm(ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

CBCS, 2019. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/?>>. Acesso em: 22 abr. 2019. CLIMA TEMPO, Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/>>. Acesso em 15 Abril 2019.

CLUBE DO CRONCRETO, Portal do. CLUBE DO CRONCRETO, 2019. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso em 15 Abril 2019.

CONCRETO, Portal do. AGREGADOS PARA CONCRETO, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>>. Acesso em 29 set. 2018.

CORDEIRO, G.C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. Tese de Doutorado – UFRJ, COPPE, 2006..Disponível em:<<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5820/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Wallace%20M.%20Belchior.pdf>>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

CONSTRUFACILRJ, Portal da construção civil. Disponível em:<<https://construfacilrj.com.br/mistura-e-preparo-do-concreto/>>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

EPORTALI, Embalagens plasticas, Portal do Eportali embalagens plasticas, 2019 Disponível em:<<https://www.eportali.com.br/2018/04/18/o-uso-da-embalagem-saco-pead-para-frigorificos/>> Acesso em: 21 de Abril de 2019

EVOLUÇÃO CRONOLOGICA DOS MATERIAIS, portal do. CENTRO DE INFORMATICA EEL SISTEMAS, 2018. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/984972/LOM3018/IEM-Aula2.pdf>>. Acesso em 16 out. 2018.

FALCÃO BAUER, L.A. - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO VOLUME 1 , EDITORA LCT 5 a EDIÇÃO REVISADA. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios_tecnologicos_cimento_portland.pdf>. Acesso em: 21 de Abril de 2019

FÉLIX, UBIRATAN. Cidades sustentáveis e a Engenharia Urbano-Industrial. 61ª SOEAA Semana Oficial da Engenharia, Arquitetura e da Agronomia. São Luís, p. 59-69, Nov. / Dez. 2009. Disponível em: < <http://www.especializacaocivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>>. Acesso em 22abril. 2019.

FONSECA, Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>>. Acesso em 07 dez. 2018.

FORMAGINI, Sidiclei. Tese: Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concreto de Altíssimo Desempenho. COOPE/UFRJ 2005. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/bitstre>

am/tede/5820/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Wallace%20M.%20Belchior.pdf>.
Acesso em 21 de Abril de 2019

FRANCZAK e PREVEDELLO Portal do ROCA , 2018. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/777/1/CT_TCC_2012_1_13.PDF>.
Acesso em 29 set. 2018.

GOMA, Portal do GOMA Produtos que facilitam a vida. Disponível em:
<<https://www.goma.ind.br/blog/afinal-o-que-e-polietileno-e-quais-sao-suas-vantagens>>.
Acesso em 07 dez. 2018

GOGOLE MAPS, Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-16.2922492,-48.9440112,16.75z>>. Acesso em 21 de Abril de 2019

HELENE, P., (2002). Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/125.pdf>. Acesso em 21 de Abril de 2019

KANTOVISCKI, Adriano R. Materiais Poliméricos Disponível em:
<<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d5matPolimMod1.pdf>>
Acesso em 21 de Abril de 2019.

LIMA, Samantha Pinheiro Buás de. Estudo da Produção e Aplicação em Pastas Cimentícias de sílica gel provenientes das cinzas da casca de arroz. Manaus, UFAM, 2009. Disponível em:
< <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5820/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Wallace%20M.%20Belchior.pdf>>. Acesso em: 21 de Abril de 2019.

MAPA DA OBRA, Portal do Traço de concreto: a importância do controle da água. Disponível em:< <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/>>. 21 de Abril de 2019.

MARTINS, PAULO BENJAMIM MORAIS. Influência da Granulometria do Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTINS.pdf>>. Acesso em: 21 de Abril de 2019.

MATERIAIS RECICLADOS, Portal do. DOM TOTAL, 2018. Disponível em:< (<http://domtotal.com/noticia/1256321/2018/05/materiais-reciclados-na-construcao-civil-concreto-com-adicao-de-pet-politereftalato-de-etileno-e-ou-pneus-descartaveis/>>. Acesso em 29 set. 2018

MEHTA, P. K: MONTEIRO, P. J. M. CONCRETO: Microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: ibracon, 2014. 751p. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6796/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Wanessa%20Mesquita%20Godoi%20Quaresma%20-%202016.pdf>. Acesso em 07 dez. 2018.

NETO, Pasquale Cipro,A cujo, em cujo, de cujo, sob cujo...Disponível em:<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2309199905.htm>>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

NETO, FELIX BENICIO F. Determinação da finura do cimento através da peneira numero 200. Palmas 2013 Disponível em:< http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10258/1/PB_COECI_2017_2_23.pdf>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

O QUE É SUSTENTABILIDADE, Portal do. BRASIL ESCOLA, 2018. Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-sustentabilidade.htm>>. Acesso em 29 set. 2018.

OLIVEIRA, 2013, REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ISOPOR) EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppmec/LIVIA_SOUZA_DE_OLIVEIRA.pdf>. Acesso em 21 Abril. 2019.

PEAD, Portal do. MAMAPLAST, 2018. Disponível em: <http://www.mamaplast.com.br/index.php?a=produtos_pead.php>. Acesso em 29 set. 2018.

ISAIA G.C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais ed. G. C. Isaia. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2011. Volume1. Disponível em: <http://ibracon.org.br/eventos/59cbc/Paginas_Iniciais_Rev6R.pdf>Acesso em 21Abril. 2019.

IVC Embalagens. Portal do Ivcebalagens, 2019 Disponível em:<http://www.ivcebalagens.com.br/o_plastico2.php>. Acesso em: 21 de Abril de 2019

PINHEIRO, Libânio M. Fundamentos do concreto e projetos de edifícios, 2004. Disponível em:<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf> Acesso em 21 de Abril de 2019

POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, Portal do. FGS BRASIL BLOG, 2018. Disponível em: < <http://www.tubohead.com.br/2010/12/pead-%E2%80%93-polietileno-de-alta-densidade/>>. acesso em 16 out. 2018.

POLYNORTE, Embalagens, Portal do Polynorte Embalagens, 2019. Disponível em: <<http://www.polynorte.com.br/?p=776>> Acesso em 21 de Abril de 2019.

QUARESMA, WANESSA MESQUITA GODOI, Contribuição ao estudo do comportamento mecânico do concreto utilizando diferentes modelagens em elementos finitos na escala mesoscópica. Disponível em:< <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6796/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Wanessa%20Mesquita%20Godoi%20Quaresma%20-%202016.pdf>>.Acesso em 21 de Abril de 2019.

REDES PEAD, Portal do. Ecotuneis soluções não destrutivas. Disponível em: <<http://ecotuneis.com.br/redes-pead/>>. Acesso em 07 dez. 2018.

SACKS, 2008. Desenvolvimento Inclusivo, Sustentável Sustentado. Disponível em:< <https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/rdp/article/download/13369/7600>> Acesso em 21 de Abril de 2019.

SERRA, F. Conceito de... SUSTENTABILIDADE. Tempos de Gestão. 2015. Disponível em: <https://www.temposdegestao.com/conceito-de/conceito-de-sustentabilidade>. Acesso em 27 out. 2018.

SILVEIRA, José Henrique Porto, Sustentabilidade e Responsabilidade Social volume 7/ Belo Horizonte (MG): Poisson, 2017 305 p. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4138424/mod_resource/content/1/Livro%20Poisson%20Sustentabilidade%20vol7.pdf> Acesso em 21 de Abril de 2019.

SIQUEIRA, Lígia Vieira Maia. Materiais de construção civil. Disponível em: < http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios_tecnologicos_cimento_portland.pdf>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

SUASSUNA, Dulce. Com base em entrevistas realizadas em Praia do Forte e Regência, no ano de 1999. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1547/2/Dulce_Suassuna_teseparte2.pdf>. Acesso em 21 de Abril de 2019.

TUBOPEAD, Portal do FGS Brasil Blog. Disponível em: <http://www.tubothead.com.br/2010/12/pead-%E2%80%93-polietileno-de-alta-densidade/>. Acesso em 07 dez. 2018.

UBIRATAN, FÉLIX, Cidades sustentáveis e a engenharia urbano-industrial. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>. Acesso em 07 dez. 2018.

ULLOA TORRES, AMÉLIA ANGÉLICA, Envelhecimento físico químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregadas em redes de distribuição de derivados de petróleo. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11035/11035_1.PDF>. Acesso em 29 de Abril de 2019.

YAZIGI, WALID, Técnicas de Edificar. Disponível em:<

<https://pt.slideshare.net/KennedyDuarte/a-tnica-de-edificar-walid-yazigi-39348040>. Acesso em 23Abril. 2019.

APÊNDICE A

CÁLCULO DA DOSAGEM DE CONCRETO – MÉTODO ABCP

Esta metodologia de dosagem publicada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) inicialmente em **1984** por meio do Estudo Técnico (ET-67), sob o título “Parâmetros de Dosagem de Concreto” da autoria do Eng. Públio Penna Firme Rodrigues (revisado em **1995**) apresenta característica eminentemente experimental. (CLUBE DO CRONCRETO, 2019)

Conhecer um método de dosagem de concreto é importante para entendermos a influência do Cimento Portland e da água na resistência final do Concreto.

Primeiramente é preciso conhecer as propriedades dos materiais que serão utilizadas para o cálculo.

Massa específica é a relação entre a massa (medida em kg) e o seu volume (medido em m³). É uma propriedade que varia de acordo com o material. Um fato importante para diferenciá-la é de que a massa específica é considerado quando a massa do material está compacta e o volume é o total da ocupação dessa porção compacta.

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

Massa unitária é quando o material não está em forma compacta, e sim, em forma de grãos, neste caso é considerado o espaço vazios entre os grãos da porção de massa.

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

EXERCÍCIO PASSO A PASSO PARA CONCRETO 15 MPa

O concreto simples é composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

Concreto:

Fck = 15 Mpa

Abatimento 40 ± 10 mm

Cimento:

CP II Z 32

$$\gamma = 2,96 \text{ g / cm}^3 \text{ (Cimento Ciplan)}$$

Agregado miúdo – Areia reciclada 0% umidade:

Módulo de finura = 2,63

$$\gamma = 2,5 \text{ g / cm}^3 \text{ (Teste ...)}$$

$$MU = 1,36 \text{ g / cm}^3 \text{ (Teste ...)}$$

Agregado graúdo – Brita 0 reciclada:

Diâmetro máximo = 9,5 mm

$$\gamma = 2,67 \text{ g / cm}^3 \text{ (Teste ...)}$$

$$MU = 1,55 \text{ g / cm}^3 \text{ (Teste ...)}$$

Água

$$\gamma = 1,0 \text{ g / cm}^3$$

Obs.: Cálculo é para 1 m³ de concreto

Primeiro passo é o cálculo da resistência média aos 28 dias – F_{cj} – a partir do desvio padrão.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d$$

Em que:

F_{cj} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em Mpa;

F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em Mpa;

S_d = desvio-padrão da dosagem, em Mpa;

Se não for conhecido o desvio padrão S_n , para efeito da dosagem inicial, o modo como pretende conduzir a dosagem, de acordo com o qual será fixado o desvio padrão s_d pelo critério a seguir nas seguintes condições:

A) Quando houver assistência de profissional legalmente habilitado, especializado em tecnologia do concreto, todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água,

corrigindo-se as quantidades de agregados miúdos e de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados:

Sd = 4,0 Mpa concreto classe C10 a C80.

B) Quando houver assistência de profissional legalmente habilitado, especializado em tecnologia do concreto, o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados:

Sd = 5,5 Mpa concreto classe C10 a C25.

C) Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada:

Sd = 7,0 Mpa concreto classe C10 a C15.

Conforme determina a NBR 12655, em nenhum caso o valor deste desvio adotado para o cálculo da resistência de dosagem, poderá ser menor que dois Mpa.

Portanto, o valor mínimo da parcela a ser acrescida à resistência F_{ck} será de 3,3 Mpa (1,65 x 2).

$$F_{cj} = 15 + 1,65 \cdot 5,5 = 24,08 \text{ MPa}$$

Segundo passo - Fixação da relação água/cimento (a/c)

A resistência à compressão é o principal parâmetro da resistência mecânica a ser considerado. O valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento. Quando não se dispõe da Curva de Abrams e não houver restrições quanto à durabilidade, é possível utilizar-se das Curvas de Walz (em 1998 por Rodrigues), mostradas na figura 2.14.

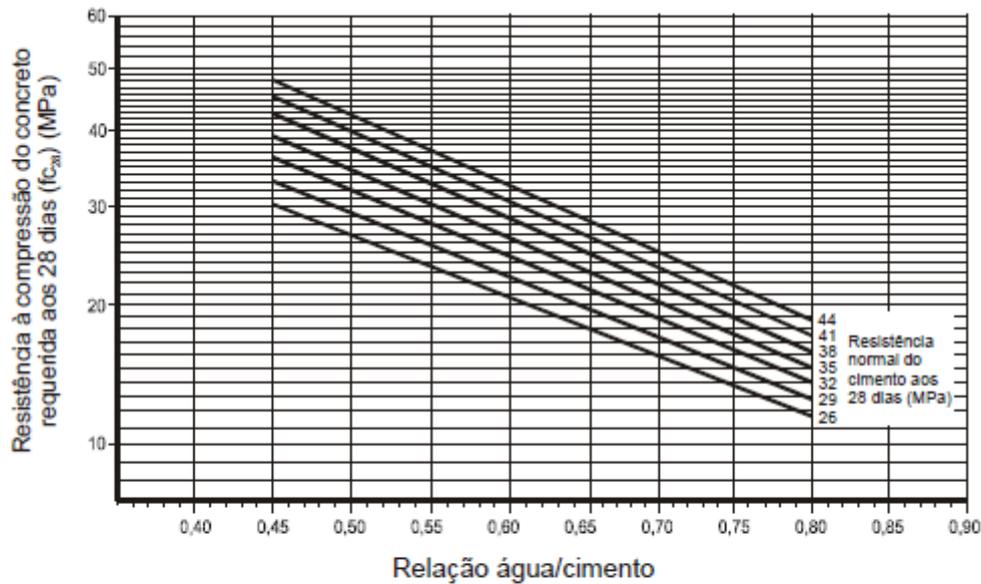


FIGURA 2.14 – Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade (Rodrigues, 1998).

$$a/c=0,58$$

A quantidade de água necessária para que a mistura fresca adquira uma determinada consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone, segundo Rodrigues (1998), depende basicamente da granulometria, da forma e textura dos grãos, mais especificamente, da área específica do agregado total da mistura.

Considerando a dificuldade em expressar o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, este autor apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, os valores constantes na tabela 2.12.

TABELA 2.12 – Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do Diâmetro Máximo Característico do Agregado e do abatimento da mistura (Rodrigues, 1998)

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

OBSERVAÇÕES:

- 1 – Os valores acima são recomendados para concretos confeccionados com agregado graúdo britado (basalto), agregado miúdo (areia de rio), consumo de cimento por metro cúbico de concreto da ordem de 300kg/m³ e abatimento, medido pelo tronco de cone, entre 4mm a 100mm;
- 2 – Quando usado seixo rolado como agregado graúdo, os valores do consumo de água podem ser reduzidos de 5% a 10%;
- 3 – As areias pertencentes à zona 1 da NBR 7211 (muito fina), podem gerar aumentos de até 10% no consumo de água por metro cúbico de concreto.

Consumo de água = 220 l/m³

Terceiro passo é a estimativa do consumo de cimento. O fator água/cimento nada mais é do que uma fração, que divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$A/C = \frac{Ca}{Cc}$$

$$0,58 = \frac{220}{Cc}$$

$$Cc = 379,31 \text{ kg}$$

Quarto passo é a estimativa de consumo de agregados. O método permite a obtenção de misturas com uma determinada consistência aliada ao menor volume de vazios inter-grãos possíveis. Assim, determina-se um teor ótimo do agregado graúdo na mistura por meio de proporcionamento adequado de relação agregado graúdo/agregado miúdo, partindo-se do princípio de colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto.

A tabela 2.13, cujos valores foram determinados experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do Diâmetro Máximo característico do agregado graúdo ($\phi_{\text{máx.}}$) e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

TABELA 2.13 – Volume compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto (Rodrigues, 1998)

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO ($\phi_{\text{máx}}$)				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

OBSERVAÇÃO:

1 – Os valores acima foram obtidos experimentalmente na Associação Brasileira de Cimento Portland.

$$V_{pc} = 0,690 \text{ m}^3$$

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

$$1555 = \frac{P(kg)}{0,565}$$

$$P = 909,70 \text{ kg}$$

Quinto passo é a estimativa do consumo de agregado miúdo. A estimativa do consumo do agregado miúdo (Ca), quando já determinados os consumos do cimento, água e agregado graúdo, é imediata. Isso se deve ao fato que por princípio, o volume de concreto é formado pela soma dos volumes absolutos dos materiais que o constituem. Assim, para 1,0 metro cúbico de concreto, o volume do agregado graúdo é dado pela equação abaixo.

$$V_m = 1 - \left(\frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{P_a}{\gamma_a} \right)$$

$$V_m = 1 - \left(\frac{379,31}{2960} + \frac{909,7}{2670} + \frac{220}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,311 \text{ m}^3$$

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)}$$

$$2540 = \frac{P(kg)}{0,311}$$

$$P = 790,3 \text{ kg}$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água:PEAD (Kg)

379,31:790,30:909,70:220:00 (Kg)

1:2,08:2,39:0,58:00 (Kg)

1º teste 1:2,08:2,39:0,58:14 (Kg)

2 teste 1:2,08:2,39:0,58:28 (Kg)

3 teste 1:2,08:2,39:0,58:42 (Kg)

4 teste 1:2,08:2,39:0,58:56 (Kg)

5 teste 1:2,08:2,39:0,58:70 (Kg)

6 teste 1:2,08:2,39:0,58:84 (Kg)

7 teste 1:2,08:2,39:0,58:98 (Kg)

ANEXO A



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Concreto
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável: César
Data de Moldagem: 15/03/2019

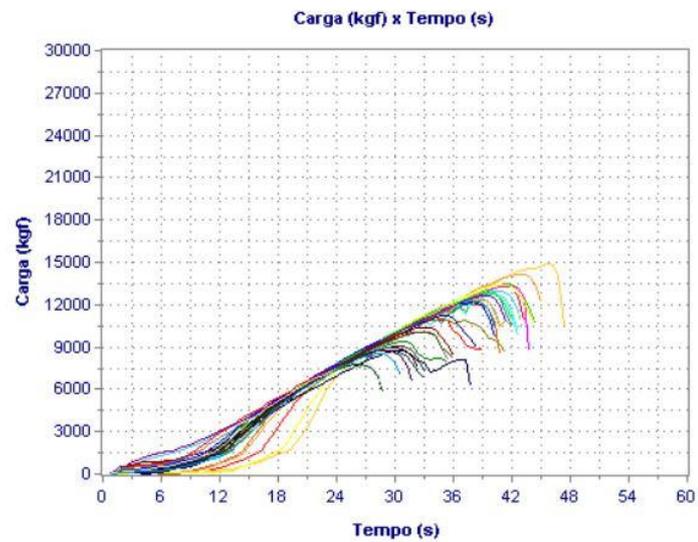
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Referência 01	28	15,9 (MPa)	12.740 (kgf)	
Referência 2	28	16,7 (MPa)	13.390 (kgf)	
Referência 3	28	15,4 (MPa)	12.350 (kgf)	
Referência 4	28	15,1 (MPa)	12.060 (kgf)	
Adição 25 g	28	16,2 (MPa)	12.970 (kgf)	
Adição 25 g	28	16,8 (MPa)	13.450 (kgf)	
Adição 25g	28	18,6 (MPa)	14.890 (kgf)	
Adição 25g	28	17,7 (MPa)	14.150 (kgf)	
Adição 50 g	28	16,7 (MPa)	13.350 (kgf)	
Adição 50g	28	15,9 (MPa)	12.720 (kgf)	
Adição 50 g	28	16,6 (MPa)	13.320 (kgf)	
Adição 50 g	28	16,8 (MPa)	13.430 (kgf)	
Adição 75 g	28	15,2 (MPa)	12.180 (kgf)	
Adição 75 g	28	16,0 (MPa)	12.850 (kgf)	
Adição 75 g	28	13,7 (MPa)	10.950 (kgf)	
Adição 75 g	28	15,5 (MPa)	12.430 (kgf)	
Adição 100g	28	15,2 (MPa)	12.180 (kgf)	
Adição 100 g	28	15,8 (MPa)	12.620 (kgf)	
Adição 100 g	28	13,7 (MPa)	10.980 (kgf)	
Adição 100 g	28	14,1 (MPa)	11.260 (kgf)	
Adição 125 g	28	11,7 (MPa)	9.400 (kgf)	
Adição 125 g	28	13,0 (MPa)	10.380 (kgf)	
Adição 125 g	28	12,6 (MPa)	10.070 (kgf)	
Adição 125 g	28	11,0 (MPa)	8.770 (kgf)	
Adição 150g	28	10,9 (MPa)	8.760 (kgf)	
Adição 150 g	28	12,6 (MPa)	10.080 (kgf)	

Adição 150 g	28	11,0 (MPa)	8.770 (kgf)
Adição 150g	28	9,7 (MPa)	7.790 (kgf)
Adição 175g	28	11,2 (MPa)	8.970 (kgf)
Adição 175g	28	11,3 (MPa)	9.070 (kgf)
Adição 175 g	28	9,9 (MPa)	7.960 (kgf)
Adição 175 g	28	10,6 (MPa)	8.520 (kgf)

Gráfico dos Ensaio

Foram feitos 4 corpos de prova para cada amostra, feito o slump teste de cada um deles, não houve variação no slump teste que ficou com 0 ± 2 , desde o concreto de referência até o concreto com adição de 175g em cada corpo de prova e no final feito a pesagem de cada corpo de prova, logo abaixo será apresentado a média dos corpos de prova.

Concreto de referência	media 15,77 mpa
Concreto com 14kg/m ³ de PEAD	media 17,32 mpa
Concreto com 28kg/m ³ de PEAD	media 16,5 mpa
Concreto com 42kg/m ³ de PEAD	media 15,1 mpa
Concreto com 56kg/m ³ de PEAD	media 14,7 mpa
Concreto com 70kg/m ³ de PEAD	media 12,07 mpa
Concreto com 84kg/m ³ de PEAD	media 11,05 mpa
Concreto com 96kg/m ³ de PEAD	media 10,77 mpa