

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
NÍCOLAS MATEUS DEBASTIANI BITENCOURT

COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETOS LEVES COM DIFERENTES AGREGADOS:
ARGILA EXPANDIDA E POLIESTIRENO EXPANDIDO

CASCABEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
NÍCOLAS MATEUS DEBASTIANI BITENCOURT

**COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETOS LEVES COM DIFERENTES AGREGADOS:
ARGILA EXPANDIDA E POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Engenheiro Civil Especialista Jefferson Teixeira Olea Homrich.

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

NÍCOLAS MATEUS DEBASTIANI BITENCOURT

**COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETOS LEVES COM DIFERENTES AGREGADOS:
ARGILA EXPANDIDA E POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Especialista **JEFFERSON TEIXEIRA OLEA HOMRICH**.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Professor **Especialista JEFFERSON TEIXEIRA OLEA HOMRICH**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Professora **Mestre ANDREA RESENDE SOUZA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Professora **Mestre MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 28 de novembro de 2017.

RESUMO

Devido ao desenvolvimento tecnológico em diversas áreas, especialmente em técnicas construtivas, foi necessário o surgimento de novos materiais para que atendesse as necessidades das construções. O concreto leve possibilita o uso de agregados não convencionais, que acabam reduzindo a massa específica do concreto, reduzindo a carga aplicada na estrutura, ocasionando um menor dimensionamento para fundação e elementos estruturais. Com o intuito de comparar a influência de diferentes agregados na produção de concretos leves, foi avaliada a resistência à compressão, trabalhabilidade, massa específica e fator de eficiência, para saber qual apresenta melhor desempenho. Testes de laboratório, como o *slump test* e rompimento de corpos de prova na prensa hidráulica, foram realizados em traços de concretos leves com argila expandida e flocos de poliestireno expandido (EPS). Constatou-se que o concreto produzido com argila expandida teve um melhor desempenho em relação a resistência à compressão do que o EPS, apresentando um resistência final aos 28 dias de 22,27MPa contra 5,67MPa do poliestireno expandido, além de um melhor fator de eficiência, já em relação à massa específica o concreto com EPS levou vantagem, pois teve uma redução de 34% em relação ao convencional contra 22% do traço de argila expandida. Conclui-se que apesar da baixa resistência à compressão, o concreto com EPS é uma ótima opção para uso onde não se tenha carga aplicada, como preenchimentos e regularizações de laje, e o concreto com argila expandida apresentou melhor desempenho sendo viável utilizar como concreto leve estrutural.

Palavras-chave: Agregados leves, Massa Específica, Resistência, Plasticidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mesa vibratória 1	27
Figura 2: Mesa vibratória 2	27
Figura 3: Secagem na estufa.....	30
Figura 4: Aferição do peso submerso.....	30
Figura 5: Materiais já pesados.....	32
Figura 6: Moldes preenchidos	33
Figura 7: Corpos de prova curando	33
Figura 8: Curva granulométrica da brita 1	36
Figura 9: Curva granulométrica do pedrisco.....	37
Figura 10: Curva granulométrica da argila expandida	38
Figura 11: Curva granulométrica da areia.....	39
Figura 12: Medição <i>slump test</i> 1	41
Figura 13: Medição <i>slump test</i> 2	41
Figura 14: Composição dos corpos de prova	42
Figura 15: Prensa hidráulica.....	42
Figura 16: Média das massas específicas	42
Figura 17: Valores médios da resistência à compressão	43
Figura 18: Fator de eficiência.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Granulometria da brita 1	35
Tabela 2: Granulometria do pedrisco	36
Tabela 3: Granulometria da argila expandida	37
Tabela 4: Granulometria da areia	38
Tabela 5: Diâmetro máximo dos grãos (mm) e módulo de finura da areia.	40
Tabela 6: Massa específica aparente (Kg/m^3)	40
Tabela 7: <i>Slump test</i>	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Traço do concreto convencional	30
Quadro 2: Traço do concreto com argila expandida	31
Quadro 3: Traço do concreto com EPS	31

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Resistência à compressão	24
Equação 2: Fator de eficiência	25
Equação 3: Massa específica aparente do agregado miúdo	28
Equação 4: Volume de água adicionada ao frasco	29
Equação 5: Massa específica aparente do agregado graúdo	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius

% – Por Cento

A/C – Relação Água/Cimento

a.C. – Antes de Cristo

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAPEX – Associação Brasileira de Poliestireno Expandido

Cm – Centímetro

Dm – Decímetro

EPS – Poliestireno Expandido

Kg – Quilograma

L – Litro

m – Metro

Mm – Milímetro

MPa – Megapascal

N – Newton

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	13
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
CAPÍTULO 2	15
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1.1 Concreto	15
2.1.2 Matérias-primas	16
2.1.2.1 Cimento	16
2.1.2.2 Agregados	17
2.1.2.3 Água	18
2.1.2.4 Aditivos	18
2.1.3 Concreto leve	19
2.1.3.1 Argila expandida	21
2.1.3.2 Flocos de poliestireno expandido (EPS)	22
2.1.4 Propriedades no estado fresco do concreto	23
2.1.5 Propriedades no estado endurecido do concreto	23
2.1.6 Análise do fator de eficiência	24
CAPÍTULO 3	26
3.1 METODOLOGIA	26
3.1.1 Materiais utilizados	26
3.1.2 Caracterização dos agregados	26
3.1.3 Traços	30
3.1.4 Confeção, <i>slump test</i> , moldagem e cura dos corpos de prova	31
3.1.5 Massa específica e resistência à compressão	34
3.1.6 Análise dos dados	34
CAPÍTULO 4	35
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35

4.1.2 Diâmetro máximo dos grãos e módulo de finura da areia	39
4.1.3 Massa específica aparente	40
4.1.4 <i>Slump test</i>	40
4.1.5 Massa específica, resistência à compressão e fator de eficiência.	41
CAPÍTULO 5	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS	47

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O aumento tecnológico em quase todos os setores, e especialmente em técnicas construtivas, exigiu o surgimento de novos materiais para que atendesse as necessidades das obras (COUTINHO, 2006; PETRUCCI, 1998).

De acordo com Bremner (1998), o pesquisador norte-americano Stephen Hayde, desenvolveu os primeiros agregados leves pensando num projeto estrutural, com tijolos cerâmicos aquecidos sob temperaturas elevadas provocando grande expansão, podendo até dobrar de volume quanto mais rápido era seu aquecimento.

O concreto feito com agregados leves, difundido no mundo todo, é utilizado em diferentes áreas na construção civil, como em plataformas, pontes e construções pré-fabricadas, com fins estruturais, enquanto que em pequenas residências ou lugares onde não exige grande esforço, utiliza-se dele para regularização de lajes, painéis para fechamento, base para quadras esportivas, sem fins estruturais, além de elementos pré-fabricados como blocos vazados e elementos decorativos.

Segundo Rossignolo (2009), ao substituir agregados comuns pelos agregados leves, ocorrem alterações importantes nas propriedades do concreto como trabalhabilidade, durabilidade, deformação, resistência e condutividade térmica, além da diminuição da massa específica, reduzindo o peso próprio ocorrendo diminuição da carga das fundações reduzindo os custos da obra.

Entre os vários materiais utilizados como agregados leves destaca-se a argila expandida, produto obtido de alguns tipos de argila por aquecimento em torno de 1200 °C. Neste grau de temperatura uma parte do qual o material é formado se funde enquanto a outra se decompõe quimicamente e libera gases que incorporam à massa sintetizada e não podem escapar devido a parte líquida que cerca a parte externa das partículas de argila (MORAVIA, OLIVEIRA, GUMIERI, VASCONCELOS, 2006).

Destaca-se também o poliestireno expandido (EPS), conhecido como Isopor®. Devido às suas qualidades, este material é consagrado na construção civil por ser resistente, isolante, leve, de fácil manuseio e de baixo custo (STOCCO *et al.*, 2009).

Utilizando os agregados citados a cima na confecção dos concretos, foram analisadas as vantagens e desvantagens no uso da construção civil como preenchimento e uso estrutural, sua massa específica, sua resistência à compressão, trabalhabilidade e fator de eficiência.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar o desempenho da argila expandida e de flocos de poliestireno expandido (EPS) como agregado em concreto leve.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os agregados comuns e leves a serem utilizados;
- Comparar a plasticidade no estado fresco do concreto produzido com argila expandida e do concreto produzido com poliestireno expandido;
- Calcular as massas específicas para cálculo do fator de eficiência do concreto feito com argila expandida e do concreto feito com poliestireno expandido;
- Realizar o ensaio de resistência mecânica para determinar a resistência à compressão no estado endurecido do concreto feito com argila expandida e do concreto feito com poliestireno expandido.

1.3 JUSTIFICATIVA

O amplo uso de concreto no mundo e a ideia de sustentabilidade contribuem para o uso de materiais alternativos que reduzam o consumo de energia e materiais na construção,

assim como exemplo o uso de agregados leves que contribuam para economia de matérias primas, tanto na fundação quanto no próprio concreto, reduzindo custos e poupando o meio ambiente.

O motivo deste trabalho acadêmico justifica-se como uma forma de mostrar que algumas propriedades dos concretos leves têm benefícios em diversas aplicações na construção civil, como em regularizações, preenchimento e estrutural.

Este estudo tem como objetivo de tornar mais claro as diferenças de algumas propriedades dos concretos leves, para difundir o seu uso na construção civil.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Qual tipo de agregado leve apresenta um melhor desempenho para produção de concretos?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O uso de concretos leves no Brasil ainda é pouco difundido, devido ao pouco conhecimento sobre suas propriedades. Espera-se que o concreto leve feito com argila expandida tenha um melhor desempenho em relação à resistência à compressão devido seu agregado apresentar maior densidade em relação ao isopor além de um melhor fator de eficiência e plasticidade, e que o concreto com isopor tenha uma menor massa devido a sua menor densidade.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada ao Centro Universitário Assis Gurgacz localizado na Avenida das Torres, 500, no loteamento Fag da cidade de Cascavel.

O levantamento dos dados será realizado por ensaios laboratoriais. A pesquisa se restringe a confecção dos corpos de prova utilizando os traços já definidos, com os materiais comuns (cimento, areia, brita e água) além da argila expandida e EPS, e ensaios realizados com os equipamentos do laboratório.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo será abordado o conceito de concretos, concretos leves, tipos de agregados comuns e agregados leves, além de outros constituintes do concreto e suas propriedades.

2.1.1 Concreto

Concreto é um produto produzido a partir de um meio cimentante. Esse meio geralmente é uma reação entre água e um cimento hidráulico (material que endurece com a água). Os primeiros a usarem esta reação foram os antigos romanos, devido ao fato de não ocorrer reações químicas no concreto endurecido quando em contato com a água. Este foi o fator importante para difundir seu uso como material de construção (NEVILLE e BROOKS, 2013).

São três os fatores pelo qual o concreto é caracterizado como o material mais utilizado na construção (NEVILLE, 1997).

1º - Excelente resistência à água, usado em estruturas destinadas a estocar, controlar e transportá-la devido à eficiência do concreto em resistir à sua ação sem degradação. Aquedutos e muros de contenção de água construídos pelos romanos são um dos primeiros usos que conhecemos hoje.

2º - Capacidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, em diversas formas, tamanhos e dimensões, por ter uma consistência plástica no seu estado fresco, permitindo fluidez, com reaproveitamento das fôrmas após retirá-las quando o concreto já endureceu.

3º - Baixo custo e facilmente acessível no canteiro de obras, os elementos para execução de concreto, são baratos e normalmente encontrados em todos os lugares. Conferindo os outros materiais de engenharia, a fabricação do concreto dispõe de um consumo de energia menor e boa parte das sobras industriais podem ser recicladas nele, substituindo os agregados ou o material cimentante.

Com uma produção mundial estimada de 6,5 bilhões de toneladas por ano, o concreto é o segundo produto mais consumido no mundo de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2005), Estima-se que no Brasil as concreteiras tenham produzido cerca de 51 milhões de metros cúbicos de concreto em 2012 (ABCP, 2013).

Monteiro e Mehta (1994) classificam o concreto em três grandes categorias em relação à massa específica:

Concreto leve, pesando cerca de 1800 Kg/m^3 , serve para aplicações que necessitam uma relação resistência/peso alta, sendo possível diminuir a massa específica, utilizando agregados processados termicamente ou naturais que tenham baixa densidade, possibilitando uma redução na massa específica;

Concreto de peso normal, pesando geralmente 2400 Kg/m^3 , utilizado em elementos estruturais, é composto de seixo rolado ou pedra britada e areia natural;

Concreto pesado, pesando mais de 3200 Kg/m^3 , usado em blindagens de radiação, é produzido com agregados de alta densidade.

Classificam quanto a sua resistência à compressão aos 28 dias também em três categorias:

1° - Concreto de baixa resistência: Menor de 20 Megapascal;

2° - Concreto de resistência moderada: Entre 20 e 40 Megapascal;

3° - Concreto de alta resistência: Maior que 40 Megapascal.

2.1.2 Matérias-primas

São os materiais que são utilizados para a fabricação do concreto, descritos e caracterizados abaixo.

2.1.2.1 Cimento

Em 1824 o cimento conhecido por Portland, foi patenteado por um construtor chamado Joseph Aspdin. Cimento Portland é obtido pela mistura de calcário, materiais silicosos ou argila, matérias com a presença de óxido de ferro e alumina. O processo de produção começa com a moagem das matérias primas cruas até chegar a um pó fino, onde são queimadas a uma temperatura aproximada de 1400°C . Ocorre então a sinterização e sua fusão parcial formando o clínquer, que recebe uma quantia de sulfato de cálcio após resfriar sendo moído de novo e resultando no produto que conhecemos (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Para Monteiro e Mehta (1994), o cimento é um material finamente pulverizado, não é considerado aglomerante quando está sozinho, porém desenvolve propriedades ligantes, resultado da hidratação, ou seja, reações químicas entre a água e os minerais do cimento. Quando os produtos de hidratação são estáveis na presença de água é chamado de cimento hidráulico, o mais utilizado na confecção de concreto é o cimento Portland.

2.1.2.2 Agregados

Segundo Petrucci (1998), são agregados os fragmentos rolados dos leitos dos rios, as rochas britadas e os materiais encontrados em jazidas, provenientes das alterações das rochas.

Eles ocupam cerca de 75% do volume de concreto. Sua qualidade é de grande importância, além de limitar a resistência afetam o desempenho estrutural e a durabilidade do concreto. No início os agregados eram classificados como materiais inertes e de baixo custo, porém eles não são inertes, suas propriedades térmicas e físicas, e às vezes químicas, influenciam no desempenho do concreto (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Podemos dividir os agregados em agregado miúdo e agregado graúdo, abaixo os dois exemplos mais comuns de cada grupo:

a) Areia

O termo areia é usado para o agregado miúdo que corresponde a partículas menores que 4,8mm, resultante da fragmentação e abrasão natural de rochas arenosas (MONTEIRO e MEHTA, 1994).

Para Petrucci (1998), a areia normal corresponde ao agregado miúdo natural, além do pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, que no máximo apenas 15% ficam retidas na peneira de 4,8mm.

b) Brita

A brita é o agregado graúdo, com partículas maiores que 4,8mm (retidas na peneira número 4), são naturais formados por processos de britagem de blocos de rocha-mãe, além das propriedades da rocha-mãe, a forma e dimensão das partículas, a textura superficial e a

absorção exercem considerável influência na qualidade do concreto. (MONTEIRO e MEHTA, 1994).

Para Petrucci (1998) agregado graúdo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, através do britamento de rochas estáveis, passando no máximo 15% pela peneira de 4,8mm, pode ter origem artificial como pela trituração mecânica de rochas, como a pedra britada e cascalho ou natural como seixo e pedregulhos.

A normalização é feita através da NBR NM 248 (2003), tanto para brita quanto para a areia, para o ensaio de determinação da composição granulométrica de ambas.

2.1.2.3 Água

A água é responsável pelas reações de hidratação do cimento, que vai permitir a ligação entre os componentes do concreto e fornecer a plasticidade da mistura.

Neville e Brooks (2013), dizem que a importância da qualidade da água é fundamental, pois suas impurezas podem atrapalhar na pega do cimento, diminuir a resistência do concreto, além de manchamento na superfície, também podendo ocorrer corrosão em armaduras.

Tanto a água potável como água não potável podem ser usadas na produção de concreto, mas é fundamental utilizar água limpa. Já Aldolfato (2012), afirma que água a ser usada deve ser potável, sem conter resíduos industriais ou substâncias orgânicas, capazes de interferirem na composição e reação do concreto.

2.1.2.4 Aditivos

Segundo Neville e Brooks (2013), são substâncias que alteram algumas propriedades dos cimentos e concretos, muitas vezes o único jeito de atingir um determinado efeito é através dos aditivos.

No mercado existe um grande número disponível. Suas características são determinadas pelos fabricantes, porém outros efeitos não conhecidos podem ocorrer, devendo fazer ensaios de desempenho.

Dentre os tipos de aditivos podemos destacar e explicar alguns deles:

Aceleradores: estes tipos de aditivos apressam o endurecimento ou o desenvolvimento da resistência inicial. Ele não deve contribuir sobre o tempo de início de pega (enrijecimento);

Retardadores de pega: são aditivos que retardam a pega do concreto, são úteis em concretagens de climas com altas temperaturas, onde o tempo de pega é diminuído pela mesma;

Redutores de água (plastificantes): utilizados para três situações, obter resistência elevada pela diminuição da relação água/cimento, conseguir mesma trabalhabilidade pela diminuição do teor de cimento e para aumentar a trabalhabilidade e facilitar lançamento em locais de difícil acesso;

Superplastificantes: o mais novo e eficiente aditivo redutor de água, também conhecido como redutor de água de alto desempenho, usado para produzir concreto fluido;

Adições e fillers: no Brasil filler é o termo usado para materiais inertes, e adições para os materiais que causam reações. Filler é um material moído com finura parecida com o cimento Portland e tem efeitos positivos por causa de suas propriedades físicas. Melhora a trabalhabilidade, permeabilidade, massa específica, exsudação capilar e tendência a fissuração;

Polímeros: conhecidas como emulsões poliméricas (látex), são úteis para concretos usados em obras de reparos, pois melhoram a aderência do concreto fresco com o endurecido, porém são caros;

Aditivos impermeabilizantes; o concreto absorve água por causa da tensão capilar dos poros da pasta de cimento hidratada. O aditivo impermeabilizante tem a função de evitar a penetração da água por sucção capilar, tornando o concreto hidrófobo, repelindo a água devido ao aumento do ângulo de contato entre as paredes dos capilares e ela;

Aglutinante; ajuda os materiais componentes a se manterem unidos na mistura, por meio químico do aditivo.

O uso de aditivos oferecem vantagens, mas com alguns cuidados de maneira que se obtenham todos os benefícios. Exemplo, um aditivo que tem desempenho conhecido em temperaturas normais, pode sofrer alterações em temperaturas baixas ou elevadas.

2.1.3 Concreto leve

De acordo com Rossignolo (2009), o concreto leve data suas primeiras aparições em 1100 a.C., onde construtores pré-colombianos que viviam na região da atual cidade El Tajin no México, usaram uma mistura de pedra-pomes com um ligante a base de cinzas vulcânicas e cal para construir elementos estruturais. No Coliseu de Roma, por volta de 80 a.C., na sua

estrutura de fundação e em diversas paredes o concreto com agregados leves também foi empregado.

Durante a primeira guerra mundial Stephen J. Hayde, engenheiro e fabricante de tijolos cerâmicos em Kansas nos Estados Unidos, foi o inventor do processo de fabricação dos agregados expandidos, patenteando-os em 1918. Uma das primeiras construções utilizando concreto leve com agregados expandidos foi uma embarcação chamada USS Selma na qual foram utilizados 2000m³ de concreto leve com cerca de 38,5 MPa aos 28 dias e massa específica de 1905 kg/m³ numa época em que o concreto convencional atingia 15 MPa. Já a primeira aplicação em estruturas de edifício foi de 1929 no Kansas, na ampliação de um edifício de escritórios de 14 pavimentos, onde era previsto um aumento de 8 pavimentos utilizando concreto convencional, mas devido ao uso do concreto leve foi possível levantar mais 6 pavimentos além daqueles que já eram previstos. A partir da década de 70 com o avanço da tecnologia dos concretos e novos materiais componentes, como aditivos redutores de água, passou ser mais fácil a obtenção de concretos de alta resistência e durabilidade (ROSSIGNOLO, 2009).

O maior valor no Brasil registrado de resistência à compressão de concreto com argila expandida é de 73 MPa em concretos com massa específica de 1720kg/m³, porém com uma dimensão máxima característica do agregado de 6,3 mm.

Para Monteiro e Mehta (1994), são concretos feitos com agregados leves, com massa menor que 1120 Kg/m³. A massa menor é devido a sua microestrutura celular ou altamente porosa. Agregados orgânicos como cavacos de madeira não são utilizados devido ao meio alcalino e úmido do concreto.

Agregados leves naturais podem ser produzidos pelo beneficiamento de rochas ígneas vulcânicas, já os sintéticos são fabricados pelo tratamento térmico de diversos materiais como argilas. Agregados muito porosos são fracos sendo mais adequados para a produção de concretos isolantes não estruturais, já os agregados menos porosos e com poros finos distribuídos uniformemente são resistentes e capazes de produzir concreto estrutural (MONTEIRO e MEHTA, 1994).

Petrucci (1998), divide em três processos que reduzem o peso do concreto devido a seus vazios, são eles:

Concretos porosos, celulares ou aerados obtidos pela formação de gases aprisionados no interior da massa;

Concretos sem finos, produzidos sem a adição de agregado miúdo;

Concreto com agregados leves, os agregados tem estrutura celular, porosa e as células de ar estão nos agregados que possuem menor massa específica que os naturais.

Newman e Choo (2003) classificam os concretos leves de acordo as suas propriedades. Segundo os autores, o concreto leve pode ser:

- a) Classe I – Estrutural, com resistência à compressão maior que 15 MPa e massa específica entre 1600 a 2000 kg/m³;
- b) Classe II – Estrutural/Isolamento, com resistência à compressão maior que 3,5 MPa e massa específica menor que 1600 kg/m³;
- c) Classe III – Isolamento, com resistência à compressão maior que 0,5 MPa e massa específica muito menor que 1450 kg/m³.

De acordo com Catoia (2012), a massa específica reduzida do concreto, ocasionada devido aos agregados leves substituírem os agregados comuns, interfere em características fundamentais do concreto como a trabalhabilidade, resistências, módulo de elasticidade, fluência, retração, isolamento térmico e resistência ao fogo.

2.1.3.1 Argila expandida

De acordo com Rossignolo (2009) existem dois processos utilizados na fabricação de agregados leves sintéticos, a sinterização e o forno rotativo. O processo de forno rotativo, também chamado de nodulação, aproveita as características de expansão de alguns materiais, como algumas argilas que se expandem a temperaturas entre 1000°C e 1350 °C.

No Brasil o processo de fabricação da argila expandida é feita através do forno rotativo (MORAVIA *et al.*, 2006).

A produção em forno rotativo promove a formação de uma camada cerâmica vitrificada externa da partícula com baixa porosidade, resistente e baixa permeabilidade, reduzindo consideravelmente a absorção de água, ao contrário da sinterização que deixa os poros abertos sem recobrimento e com alta absorção de água. Apresentam uma granulometria variada, forma arredondada regular, e no centro uma massa esponjosa micro celular.

De acordo com a empresa fabricante no Brasil, CINEXPAN (2017), o diâmetro das partículas podem variar entre 0mm a 32mm, com valores de massa específica inversamente proporcional ao diâmetro. Os tipos de argila expandida que são comercializados são:

- Argila Expandida 3222, apresentando grãos entre 22 a 32 mm, com uma massa volumétrica seca de 450 Kg/m³;

- Argila Expandida 2215, apresentando grãos entre 15 a 22 mm, com uma massa volumétrica seca de 500 Kg/m³;
- Argila Expandida 1506, apresentando grãos entre 6 a 15 mm, com uma massa volumétrica seca 600 Kg/m³;
- Argila Expandida 0500, apresentando grãos aproximadamente entre 0 a 5 mm, com uma massa volumétrica seca de 850 Kg/m³;
- Argila Laminada 2,5mm, apresentando grãos aproximadamente entre 0 a 2,5 mm, com uma massa volumétrica seca de 750 Kg/m³.

Ambas podendo ter variação de 10% para mais ou menos em sua densidade.

Entre as aplicações sugeridas pela empresa além do concreto leve estrutural, encontra-se o isolamento térmico, a impermeabilização, o enchimento com nata de cimento, no uso em telhados verdes, no paisagismo e na geotecnia.

2.1.3.2 Flocos de poliestireno expandido (EPS)

Segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX, 1993), EPS é a sigla internacional para poliestireno expandido, no Brasil é conhecido por Isopor®, marca registrada pela Knauf Isopor Ltda., foi descoberto no ano de 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando estavam trabalhando nos laboratórios da Basf (Badische Anilin & Soda Fabrik), na Alemanha.

Caracterizado por ser um plástico rígido, resultado da polimerização do estireno em água, seu processo nunca utilizou o gás clorofluorcarbono ou outro substituto do mesmo, como expensor para transformação do EPS, usa-se o pentano um hidro carbureto que devido aos raios solares se deteriora rapidamente, sem afetar o meio ambiente.

O produto final atinge um diâmetro de até 3 milímetros, no processo de transformação que se destinam chegam a expandir 50 vezes do seu tamanho inicial, através do vapor em alta temperatura, após expandidas consistem em até 98% de ar e somente 2% de poliestireno, são recicláveis e reaproveitáveis e podem voltar à condição inicial de matéria-prima, não tem cheiro, e não contaminam a água, o solo ou o ar.

Entre as inúmeras aplicações, é na construção civil que seu uso é mais difundido, além de embalagens industriais, artigos de consumo como caixas térmicas e pranchas, entre outros tantos. Os países mais desenvolvidos não construiriam de modo econômico, visando a economia de energia, sem ele, pois nos últimos 35 anos esse material ganhou estabilidade na construção civil, não apenas por suas características isolantes (isolamento térmico e acústico)

mas também por sua leveza, facilidade de manuseio, resistência, baixa absorção de água, baixo custo, entre outros.

2.1.4 Propriedades no estado fresco do concreto

A trabalhabilidade do concreto pode ser definida como a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com a perda mínima de homogeneidade (ROSSIGNOLO, 2003)

Para Monteiro e Mehta (1994) a trabalhabilidade do concreto fresco feito com agregado leve e os fatores que as afetam são essencialmente os mesmos que influenciam no concreto normal.

Considerando a massa específica dos agregados leves e sua textura em geral áspera e porosa, o abatimento do tronco de cone dos concretos leves apresenta valores menores do que os obtidos para os concretos convencionais, para uma mesma condição de trabalhabilidade (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005).

Conhecido como ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone ou *slump test*, normalizado pela NBR NM 67 (1998), determina que a fôrma seja um tronco de cone de metal oco, com 30 cm de altura, diâmetro do topo de 10 cm e diâmetro da base de 20 cm, colocado sobre uma base de chapa metálica quadrada de 50 cm cada lado com espessura de 3 mm e uma haste de compactação de 16 mm de diâmetro, e 60 cm de comprimento usada para aplicar os golpes no concreto ao ser adicionado.

2.1.5 Propriedades no estado endurecido do concreto

Massa Específica: é a relação da quantidade de material que ocupa em determinado volume, geralmente quilos por metro cúbico, ou gramas por centímetro cúbico. A massa específica do concreto é reduzida pelo uso dos agregados leves.

De acordo com Rossignolo e Agnesini (2005), a resistência à compressão e a massa específica são as propriedades mais usadas para caracterizar os concretos leves estruturais, por estarem diretamente relacionadas com o tipo e a granulometria do agregado leve utilizado.

Os agregados utilizados têm mais influência na resistência e na massa específica em concretos leves do que os convencionais, por vez que o valor da massa específica do agregado ser inversamente proporcional a sua dimensão, como é o caso da argila expandida e do isopor que quanto maior sua granulometria menos denso eles são.

Para Rossignolo (2003) os concretos leves apresentam estabilização dos valores finais da resistência mais rápido que os concretos comuns, geralmente aos 7 dias de cura já chegam a 80% da resistência à compressão observada aos 28 dias.

Ensaio de resistência à compressão: é normalizado pela NBR 5739 (2007), tem como objetivo determinar a resistência mecânica dos concretos em geral.

De acordo com a NBR 5739 (2007) para realizar o ensaio foi necessário os equipamentos, sendo eles a máquina de compressão e o paquímetro para determinar as medidas dos corpos de prova cilíndricos. O procedimento do ensaio consistiu em determinar a área da seção dos corpos de prova que foram moldados de acordo com NBR 5738 (2003), sendo iguais para todos, já que o diâmetro é o mesmo, e rompidos em idades de diferentes dias, sendo eles em 7 dias, 14 dias e 28 dias.

A resistência à compressão é calculada através da Equação 1;

$$f_c = F/(\pi \times r^2) \quad (1)$$

Onde:

f_c : resistência à compressão (MPa);

F : força máxima resistida (N);

r : raio do corpo de prova (mm).

Pode-se citar outras propriedades que não serão analisadas, como resistência à tração, módulo de elasticidade e propriedades térmicas (calor específico, condutividade térmica, difusão térmica e expansão térmica).

2.1.6 Análise do fator de eficiência

De acordo com Spitzner (1994), o concreto leve de alto desempenho pode ser avaliado de acordo com o parâmetro, conhecido por fator de eficiência (FE), considerado

concreto leve estrutural de alto desempenho um concreto com fator de eficiência acima de 25 MPa.dm³/Kg, abaixo disso sendo considerado concreto de desempenho normal.

O fator de eficiência relaciona o valor de resistência à compressão e de massa específica aparente do concreto, mostrado na Equação 2;

$$f_e = f_c / \gamma$$

(2)

Onde:

f_e : fator de eficiência (MPa.dm³/Kg);

f_c : resistência à compressão (MPa);

γ : massa específica aparente (Kg/dm³).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Etapa da pesquisa, onde foi produzido os concretos e realizado os ensaios laboratoriais para atingir os objetivos propostos.

3.1.1 Materiais utilizados

Os materiais abaixo foram utilizados na confecção dos concretos:

Cimento Portland CP II-Z-32 para uso geral, facilmente encontrado no mercado, podendo atingir uma resistência de 32 Mpa a 28 dias de cura.

Isopor reciclado moído utilizando moedores de milho adaptados por um produtor rural, encontrado na cidade de Palotina, PR.

Argila Expandida produzida no Brasil encontrada em lojas de matérias de jardinagem ou em distribuidoras regionais, marca Cinexpan 1506, de Várzea Paulista, SP, com dimensões entre 6 mm e 15 mm.

Aditivo tipo aglutinante, marca DAF - Química em concreto, de Realeza, PR, devido ao EPS apresentar baixa densidade e flutuar na betoneira não deixando o concreto homogêneo.

Areia natural, extraída geralmente de rios, com granulometria media entre 0,2 mm e 0,6 mm segundo a NBR 7211 (2009).

Brita tipo 1, com dimensões de 9,5 a 19 mm muito utilizado na confecção de concretos e de fácil acesso no comércio.

Brita tipo 0, chamada também de pedrisco, com dimensões de 4,8 a 9,5 mm utilizada em concretos para vigas e lajes pré-moldadas.

3.1.2 Caracterização dos agregados

Para caracterização dos agregados usou-se os laboratórios da instituição de ensino superior Centro Universitário Assis Gurgacz localizado na Avenida das Torres, 500, no loteamento Fag da cidade de Cascavel, Paraná.

a) Análise granulométrica

A granulometria dos agregados miúdo e graúdo foram determinadas através do ensaio de composição granulométrica com uso de peneiras com diferentes aberturas e uso da mesa vibratória conforme a NBR NM 248 (2003).

Para a brita 1, pedrisco e argila expandida fez-se o ensaio da determinação da composição granulométrica utilizando-se a mesa vibratória da Figura 1, como diz a NBR NM 248 (2003), com as peneiras específicas. Para o peneiramento do agregado miúdo, utilizou-se outra mesa vibratória como mostra a Figura 2, ambos foram realizados ensaios de duas amostras e feito a média.

Figura 1: Mesa vibratória 1.



Fonte: Autor (2017).

Figura 2: Mesa vibratória 2.



Fonte: Autor (2017).

O procedimento do ensaio consistiu na secagem da amostra em estufa por 24 horas, depois a amostra foi colocada nas peneiras e agitadas com a mesa vibratória, em seguida pesado a massa retida em cada peneira com o auxílio de um pincel. Com estes resultados foram calculadas as porcentagens retidas acumuladas e porcentagem que passaram em cada peneira para cálculo da curva granulométrica.

Para encontrar o diâmetro máximo característico, que é dado pela máxima abertura da peneira, onde apresenta uma porcentagem igual ou inferior a 5% da amostra em massa retida, ao qual o ensaio foi feito duas vezes, sendo que a dimensão máxima característica não pode ser diferente, de acordo com a NBR NM 248 (2009), pois, ainda segundo a mesma ela define como módulo de finura do agregado miúdo, a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, considerando somente as peneiras da série normal, dividida por 100.

b) Determinação da massa específica aparente do agregado miúdo e graúdo

A determinação da massa específica aparente do agregado miúdo foi realizada conforme os procedimentos da NBR NM 52 (2009), que define a massa específica aparente como a relação da massa seca do agregado pelo volume, incluindo os poros permeáveis.

A norma traz como materiais necessários para a realização do ensaio, o frasco, a balança, picnômetro, com volume de 500 cm³ e estufa. Para a realização do ensaio foi necessário secar a amostra na estufa a uma temperatura de 110°C, conforme Figura 3.

Após as 24 horas em estufa e esperado esfriar para manuseio, foi determinado a massa da amostra seca, depois preenchido e pesado a massa do conjunto frasco e amostra, depois enchido com água o conjunto e aferido a massa, e para determinar a massa específica aparente do agregado miúdo, pela norma usou-se a Equação 3:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (3)$$

Onde:

d_1 : massa específica aparente (g/cm³)

m : massa da amostra seca (g)

V : volume do frasco (cm³)

V_a : volume de água adicionada ao frasco (cm³)

O volume de água adicionado ao frasco é dado pela Equação 4:

$$V_a = \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_a} \quad (4)$$

Onde:

V_a : volume de água adicionada ao frasco (cm³);

m_1 : massa do conjunto agregado e frasco (g);

m_2 : massa do conjunto agregado, frasco e água (g);

ρ_a : massa específica da água (g/cm³).

A determinação da massa específica aparente do agregado graúdo foi realizada conforme os procedimentos da NBR NM 53 (2009).

Para realizar o ensaio, foi necessário a secagem da amostra em estufa a uma temperatura de 110°C, conforme Figura 3, aferindo a sua massa, depois foi saturada a amostra e pesada, e por último aferida a massa saturada submersa da amostra, semelhante a Figura 4. A massa específica aparente foi calculada usando a Equação 5:

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (5)$$

Onde:

d_a : massa específica aparente (g/cm³);

m : massa da amostra seca (g);

m_s : massa da amostra saturada (g);

m_a : massa da amostra saturada submersa (g).

Figura 3: Secagem na estufa.

Fonte: Autor (2017).

Figura 4: Aferição do peso submerso.

Fonte: Autor (2017).

3.1.3 Traços

Uma forma de explicar o que é o traço de concreto é compará-lo com uma receita de bolo, trata-se de uma mistura básica com quantidades estabelecidas entre, água, cimento e agregados e entre outros insumos para produção do concreto, como aditivos.

De acordo com Gasperin (2012), Silva (2014) e a empresa DAF - Química em concreto, os traços estudados por eles e que foram utilizados, estão listados abaixo:

Quadro 1: Traço do concreto convencional.

Composição do traço de concreto 1:1,89:1,99:0,33	
Cimento (Kg)	8,25
Areia (kg)	15,6
Brita (Kg)	16,42
Água (L)	2,72

Fonte: Autor (2017).

Quadro 2: Traço do concreto com argila expandida.

Composição do traço de concreto 1:2,3:0,75:0,75:0,65	
Cimento (Kg)	7,30
Areia (Kg)	16,79
Brita (Kg)	5,47
Argila Expandida (Kg)	5,47
Água (L)	4,74

Fonte: Autor (2017).

Quadro 3: Traço do concreto com EPS.

Composição do traço de concreto 1:2,29:0,86:0,43	
Cimento (Kg)	7,00
Areia (Kg)	16,00
Pedrisco (Kg)	6,00
Água (L)	3,00
EPS (L)	9,60
Aditivo (L)	0,04

Fonte: Autor (2017).

De acordo com Monteiro e Mehta (1994), o traço de um concreto é a melhor proporção escolhida entre cimento, água, agregados, e aditivos para fabricar um concreto que atenda a características estabelecidas, como a resistência após a cura e trabalhabilidade no estado fresco.

3.1.4 Confeção, *slump test*, moldagem e cura dos corpos de prova

Iniciou-se com a limpeza e preparação da betoneira e dos equipamentos necessários para a confecção dos traços, como balança e recipientes, após pesados os materiais conforme Figura 5, e preparados os moldes passando óleo mineral em seu interior com o auxílio de um pincel para facilitar a desforma, iniciou-se o processo de mistura na betoneira.

Figura 5: Materiais já pesados.



Fonte: Autor (2017).

Com a betoneira funcionando, foi colocado o agregado graúdo e metade da água e misturado durante um minuto, depois o cimento e areia e por último o restante da água e misturado até formar uma massa homogênea, que demorou cerca de 4 a 5 minutos. Foi observado que na confecção do concreto com EPS, colocado antes do cimento e areia, enquanto não foi adicionado o aditivo aglutinante diluído no resto da água os flocos de EPS não se misturavam ao concreto.

Observou-se que na hora da confecção do concreto com argila expandida, não foi necessário utilizar toda a água, sobrando um total de 360 ml, reduzindo a relação água/cimento (a/c) de 0,65 para 0,60.

Após a mistura ficar homogênea na betoneira deu-se início ao processo de realização do *slump test*, conhecido como ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone,

obedecendo a NBR NM 67 (1998). Foram dados 25 golpes a cada uma das três camadas que foram adicionadas, e em seguida retirada a fôrma devagar, e na posse de uma trena para fazer a medição da diferença entre a altura da fôrma e a altura do concreto depois de assentado.

Feito os ensaios de abatimento de cone, deu-se início ao preenchimento dos moldes dos corpos de prova.

Os corpos de prova de concreto foram moldados e curados de acordo com a NBR 5738 (2003). Para cada traço de concreto produzido foram moldados 10 corpos de prova, em fôrmas cilíndricas de aço de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

O adensamento do concreto foi manual, em duas camadas com 15 golpes cada, através de uma haste de aço com 60 cm de comprimento e 16 mm de diâmetro. Na Figura 6 mostra alguns moldes já preenchidos e adensados.

A cura dos corpos de prova foi realizada nos moldes nas primeiras 24 horas, após esse período de um dia, foram desmoldados e colocados na câmara úmida, de acordo com a Figura 7, com umidade relativa do ar mínima de 95% até as idades de execução dos ensaios, com 7 dias, 14 dias e 28 dias, foi rompido para cada tipo de concreto 3 corpos de prova por dia.

Figura 6: Moldes preenchidos.



Fonte: Autor (2017).

Figura 7: Corpos de prova curando.



Fonte: Autor (2017).

3.1.5 Massa específica e resistência à compressão

Para determinar massa específica dos concretos em seu estado endurecido, após a cura dos corpos de prova, eles foram retificados para deixar a superfície da área da base plana e livre de erros ou defeitos, depois foram pesados os mesmos, em seguida o procedimento consistiu em determinar a altura dos corpos de prova com o auxílio de um paquímetro, para cálculo do volume e dividido o peso encontrado pelo volume do corpo de prova cilíndrico, encontrando a massa específica. A massa específica de um concreto simples segundo Petrucci (1998) é em torno de 2300 kg/m^3 .

Depois de retificados, pesados e medidos, deu-se processo de rompimento dos corpos de prova utilizando uma prensa hidráulica, e seguindo a NBR 5739 (2007). Os últimos três corpos de prova com argila expandida foram rompidos numa prensa hidráulica manual, onde a leitura não era digital, mostrando somente o valor da força em toneladas, sendo necessário a utilização da Equação 1 para cálculo da resistência, com três dias a mais de cura, na cidade de Toledo-PR, devido a prensa hidráulica do Centro Universitário Assis Gurgacz estar estragada e sem data prevista para conserto.

3.1.6 Análise dos dados

Depois de realizado os ensaios e coletado os dados, foi feito a análise comparando suas resistências à compressão e trabalhabilidade, com o concreto convencional, além das massas específicas e fator de eficiência, definindo qual agregado apresenta melhor desempenho. Foram armazenados no Excel gerando tabelas e gráficos.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Análise granulométrica

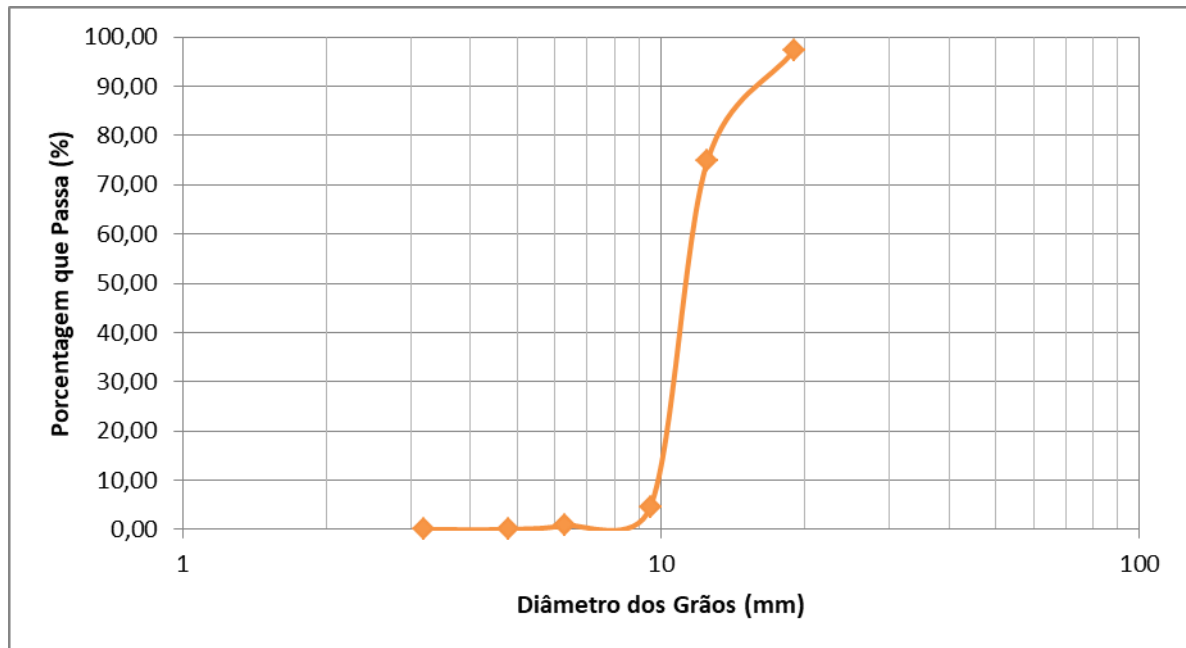
a) Brita 1

Os resultados da granulometria da brita 1 estão apresentados a seguir na Tabela 1, e a curva granulométrica está apresentada na Figura 8.

Tabela 1: Granulometria da brita 1.

Abertura da Peneira (mm)	Amostra 1 – Brita 1			Amostra 2 – Brita 1			Média
	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	
19	124,60	124,60	2,49	139,50	139,50	2,74	2,62
12,5	4167,70	4292,30	85,85	4141,60	4281,10	83,94	84,90
9,5	564,80	4857,10	97,14	493,30	4774,40	93,62	95,38
6,3	138,70	4995,80	99,92	241,50	5015,90	98,35	99,14
4,8	4,20	5000,00	100,00	77,80	5093,70	99,87	99,94
3,2	0,00	5000,00	100,00	5,20	5098,90	99,98	99,99
Fundo	0,00	5000,00	100,00	1,10	5100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2017).

Figura 8: Curva Granulométrica da brita.

Fonte: Autor (2017).

b) Pedrisco

Os resultados da granulometria do pedrisco estão apresentados a seguir na Tabela 2, e a curva granulométrica está apresentada na Figura 9.

Tabela 2: Granulometria do pedrisco.

Amostra 1 - Pedrisco				Amostra 2 - Pedrisco			
Abertura da Peneira (mm)	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Média
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	172,20	172,20	3,44	180,30	180,30	3,54	3,49
6,3	2622,70	2794,90	55,90	2615,50	2795,80	54,82	55,36
4,8	1113,30	3908,20	78,16	1203,40	3999,20	78,42	78,29
3,2	1066,60	4974,80	99,50	1081,50	5080,70	99,62	99,56
Fundo	25,20	5000,00	100,00	19,30	5100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2017).

Figura 9: Curva granulométrica do pedrisco.

Fonte: Autor (2017).

c) Argila Expandida

Os resultados da granulometria da argila expandida estão apresentados a seguir na Tabela 3, e a curva granulométrica está apresentada na Figura 10.

Tabela 3: Granulometria da argila expandida.

Amostra 1 - Argila Expandida				Amostra 2 - Argila Expandida			
Abertura da Peneira (mm)	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Média
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	324,00	324,00	6,38	334,50	334,50	6,59	6,49
9,5	2413,40	2737,40	53,93	2398,20	2732,70	53,80	53,87
6,3	1966,60	4704,00	92,67	1985,60	4718,30	92,90	92,79
4,8	325,70	5029,70	99,09	315,30	5033,60	99,11	99,10
3,2	33,20	5062,90	99,74	35,60	5069,20	99,81	99,78
Fundo	13,10	5076,00	100,00	9,80	5079,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2017).

Figura 10: Curva granulométrica da argila expandida.

Fonte: Autor (2017).

d) Areia

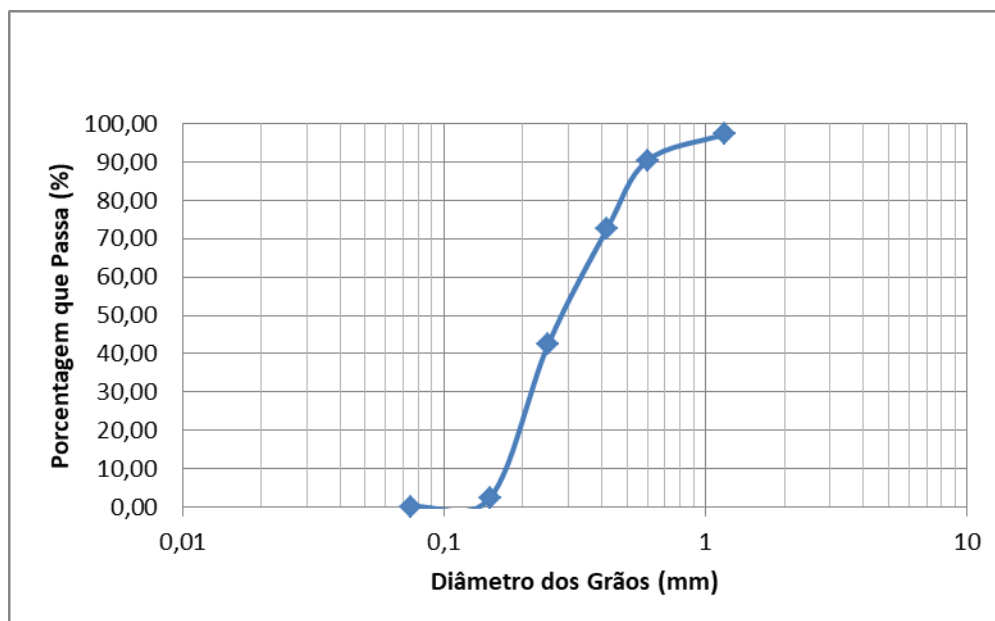
Os resultados da granulometria da areia estão apresentados a seguir na Tabela 4, e a curva granulométrica está apresentada na Figura 11.

Tabela 4: Granulometria da areia.

Abertura da Peneira (mm)	Amostra 1 - Areia			Amostra 2 - Areia			Média
	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Massa (g)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	
1,19	13,60	13,60	2,72	13,20	13,20	2,56	2,64
0,6	35,50	49,10	9,82	34,50	47,70	9,24	9,53
0,42	91,10	140,20	28,04	90,50	138,20	26,78	27,41
0,25	149,40	289,60	57,92	157,30	295,50	57,27	57,60
0,15	200,30	489,90	97,98	205,70	501,20	97,13	97,56
0,075	10,10	500,00	100,00	14,30	515,50	99,90	99,95
Fundo	0,00	500,00	100,00	0,50	516,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2017).

Figura 11: Curva granulométrica da areia.



Fonte: Autor (2017).

e) Flocos de EPS

Os flocos de EPS por se tratarem de um material reciclado e não ter dados de fabricante apresentaram uma grande dificuldade para realizar os ensaios, não sendo possível realizar o ensaio de granulometria.

Um dos fatores é devido ao seu baixo peso específico eles ficavam dispersando no ambiente impossibilitando o peneiramento e a pesagem. Como ele passa por um moedor onde o bocal tem dimensões de 10 milímetros, visualmente, e com a ajuda de um paquímetro foi constatado que realmente o máximo diâmetro era de 10 mm, e chegou-se a massa específica de 10kg/m^3 .

4.1.2 Diâmetro máximo dos grãos e módulo de finura da areia

De acordo com os ensaios de análise granulométrica mostrados no item anterior, os diâmetros máximos característico dos grãos de cada agregado estão apresentados na Tabela 5, junto com o módulo de finura do agregado miúdo.

Tabela 5: Diâmetro máximo dos grãos (mm) e módulo de finura da areia.

Brita 1	Pedrisco	Argila Expandida	EPS	Areia
19,00	9,50	12,50	10,00	2,95

Fonte: Autor (2017).

4.1.3 Massa específica aparente

Podemos reunir os resultados da massa específica aparente que seguiu os procedimentos segundo a NBR NM 52 e 53 (2009), na Tabela 6.

Tabela 6: Massa específica aparente em Kg/m³.

	Brita 1	Pedrisco	Argila Expandida	Areia	EPS
Amostra 1	2770,00	2660,00	1160,00	2600,00	9,80
Amostra 2	2730,00	2690,00	1150,00	2670,00	10,20
Média	2750,00	2675,00	1155,00	2635,00	10,00

Fonte: Autor (2017).

4.1.4 Slump test

Após a realização da mistura da betoneira e com o uso da fôrma metálica, retira-se a medição do abatimento, conforme na Figura 10 e Figura 11, as medições respectivamente do concreto com EPS e do concreto com argila expandida.

Abaixo na Tabela 7 os valores encontrados em centímetros.

Tabela 7: *Slump test*

Concreto	<i>Slump Test</i>
Convencional	9 cm
Com Argila Exp.	22 cm
Com EPS	6,5 cm

Fonte: Autor (2017).

Figura 12: Medição do *slump test* 1.



Fonte: Autor (2017).

Figura 13: Medição do *slump test* 2.



Fonte: Autor (2017).

Conforme a finalidade do uso do concreto, a trabalhabilidade é muito importante. Monteiro e Metha (1994) descrevem que a trabalhabilidade é uma propriedade composta de dois componentes principais: a fluidez, sendo a facilidade de mobilidade do concreto fresco, e a coesão, que descreve a resistência a segregação ou a exsudação.

Não pode-se classificar os concretos em relação a essa propriedade, devido a trabalhabilidade ser definida pelo aplicador e por métodos de transporte e adensamento, como por exemplo um concreto com *slump* baixo ter boa trabalhabilidade num piso, e quase impossível de se utilizar em um pilar densamente armado.

4.1.5 Massa específica, resistência à compressão e fator de eficiência.

Conforme dito no capítulo anterior, os corpos de prova retificados, vistos na Figura 14, foram rompidos utilizando a prensa hidráulica da Figura 15.

Figura 14: Composição dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2017).

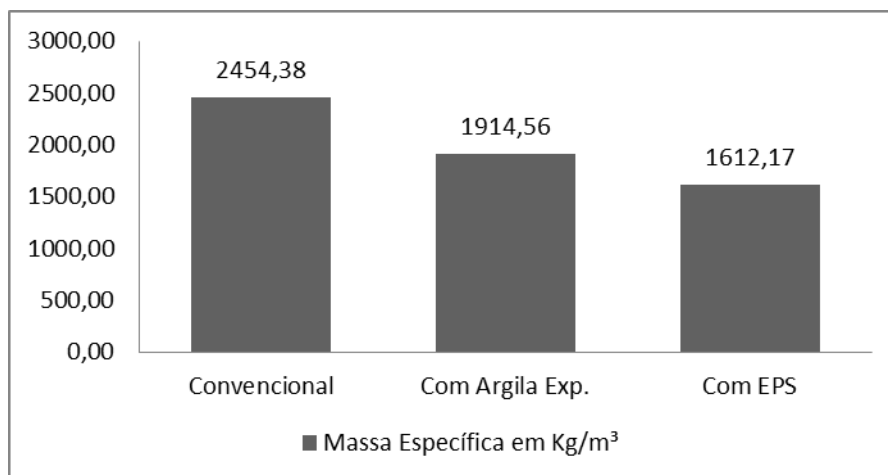
Figura 15: Prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 16 mostra o gráfico com as médias das massas específicas calculadas dos concretos.

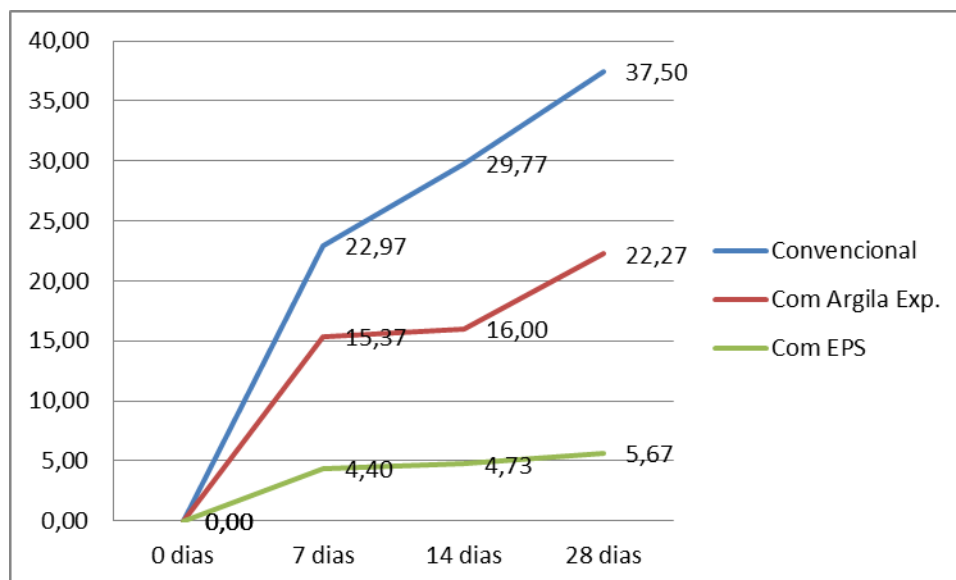
Figura 16: Média das massas específicas.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 17 mostra os valores médios da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias.

Figura 17: Valores médios da resistência à compressão.



Fonte: Autor (2017).

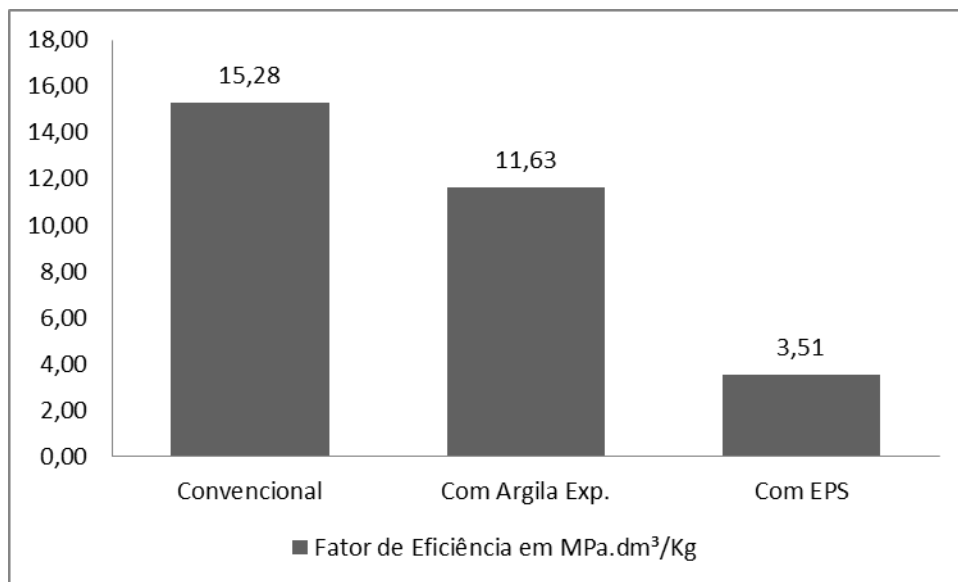
Pode-se observar as densidades dos concretos obtidos, que com a utilização de agregados leves, teve uma diminuição no seu peso, e analisando graficamente vemos que o concreto com argila expandida teve seu peso reduzido em aproximadamente 22% em relação ao convencional, já o com EPS teve uma redução de peso de 34%. Porém se analisarmos a resistência, essas porcentagens aumentam mais ainda, sendo que para a argila expandida teve uma diminuição de resistência aos 28 dias de aproximadamente 41%, mas em contrapartida o EPS teve uma brusca queda com diminuição de praticamente 85% da resistência.

De acordo com Monteiro e Mehta (1994), o concreto com EPS é considerado concreto de baixa resistência, apresentando uma resistência menor de 20 Megapascal, já o concreto convencional e o concreto com argila expandida é classificado como concreto de resistência moderado, entre 20 e 40 Megapascal.

Utilizando a classificação de Newman e Choo (2003), o concreto com EPS é considerado como classe II, sendo de uso estrutural e isolamento, com resistência à compressão maior que 3,5 MPa e massa específica menor que 1600 kg/m³, já o concreto com argila expandida se classifica como classe I, sendo somente de uso estrutural, com resistência à compressão maior que 15 MPa e massa específica entre 1600 a 2000 kg/m³.

Com os valores da resistência à compressão e os valores da massa específica, utilizando a Equação 5, foram calculados os fatores de eficiência dos concretos, conforme a Figura 18.

Figura 18: Valores do fator de eficiência.



Fonte: Autor (2017).

De acordo com Spitzner (1994), o concreto leve estrutural de alto desempenho precisa ter um fator de eficiência acima de 25 MPa.dm³/Kg, abaixo disso sendo considerado concreto de desempenho normal, portanto nenhum dos concretos leves confeccionados são classificados como de alto desempenho, apenas sendo considerado concreto de desempenho normal.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o levantamento bibliográfico e a pesquisa a campo realizada, na qual o objetivo principal era descobrir qual agregado leve apresentava melhor desempenho para a produção de concretos, utilizando como materiais a argila expandida e flocos de poliestireno expandido (EPS), foi possível concluir que o concreto produzido com argila expandida teve um melhor desempenho em relação à resistência à compressão do que o EPS, isso porque ao final de 28 dias a argila expandida apresentou resistência final de 22,27 MPa, contra 5,67 MPa do poliestireno expandido, além de um melhor fator de eficiência, porém ainda não atingiu a classificação para ser um concreto leve de alto desempenho, já em relação à massa específica o concreto com EPS levou vantagem, pois teve uma redução de 34% em relação ao convencional contra 22% do traço com argila expandida.

Além disso, o concreto quando produzido com agregados leves apresenta outras características não abordadas neste trabalho como resistência à tração, módulo de elasticidade e propriedades térmicas (calor específico, condutividade térmica, difusão térmica e expansão térmica), além da resistência à compressão e da diminuição da massa específica, que reduz o peso próprio ocorrendo diminuição da carga das fundações, o que permite uma redução nos custos da obra, que juntas contribuem para a utilização do concreto leve no Brasil.

Outro fator importante é que o uso de concretos leves contribui ainda com a sustentabilidade, algo que atualmente norteia a maioria das obras da construção civil, pois cada vez mais é evidente a necessidade da utilização de materiais que contribuam com o meio ambiente.

Por fim, é possível constatar que apesar da baixa resistência à compressão, o concreto com EPS é uma ótima opção para uso sem fins estruturais, como regularizações de lajes, base para quadras esportivas, além de elementos pré-fabricados como blocos vazados. Já o concreto com argila expandida que apresentou melhor desempenho sendo viável sua utilização como concreto leve estrutural.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo das propriedades térmicas dos concretos leves;
- Estudo da viabilidade econômica na produção do concreto leve estrutural e de preenchimento;
- Comparação entre concretos leves com diferentes agregados: espuma vinílica acetinada (EVA) e vermiculita.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**, Ilha Solteira, janeiro, 2002. 33p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTALAND – ABCP. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/> Acesso em 12 de Maio de 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739 Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52 Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53 Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 67 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248 Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXAPANDIDO – ABRAPEX. Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html> Acesso em 15 de Maio de 2017

BREMNER, T. W. Concreto de agregado leve. **Congresso Brasileiro do Concreto - Reibrac**, Rio de Janeiro, agosto, 1998.

CATOIA, T. **Concreto ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes unidirecionais**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

COUTINHO, A. de S. **Fabrico e propriedades do betão**, vol.III. Lisboa, 2006. 470p.

IBRACON (instituto Brasileiro de Concreto). **Concreto e Construções**. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf Acesso em 10 de Maio de 2017

GASPERIN, R. **Elaboração de um traço ideal de concreto leve estrutural com a utilização da argila expandida**. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel, 2012.

MONTEIRO, P. J. M., E METHA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades e matérias**. Ed. Pini 1ª edição Nov. 1994. São Paulo.

MORAVIA, W.G., OLIVEIRA, C. A. S., GUMIERI, A. G., VASCONCELOS, W. L. 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Ed. Pini 2ª edição mar. 1997. São Paulo.

NEVILLE, A.M. E BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Ed. Bookman 2ª edição 2013. Porto Alegre.

NEWMAN, J. E CHOO, B. S. **Advanced Concrete Technology: Processes**. Elsevier. 2003
PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed São Paulo: Globo, 1998. 307p

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto estrutural leve**. In: **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. G.C. Isaia (Editor). São Paulo: IBRACON, 2005. Vol.2. p. 1333-1362.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve de Alto Desempenho Modificado Com SB Para Pré-Fabricados Esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. São Carlos, 2003. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicação**. Ed. Pini 1ª edição, São Paulo, 2009.

SILVA, W. D. D. **Elaboração de um traço ideal de concreto leve por meio da substituição do agregado graúdo por flocos de eps**. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel, 2014.

SPITZNER, J. **High-Strength LWA Concrete**. In: High-Strength Concrete. RILEM Cap. II – Aggregates. 1994.

STOCCO, W. et al. **Concreto leve com uso de EPS**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, Recife, 2009.