

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LETÍCIA MORAES DA CUNHA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO DO CONCRETO
LEVE UTILIZANDO EPS, ARGILA EXPANDIDA E EVA**

**LAGES
2020**

LETÍCIA MORAES DA CUNHA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO DO CONCRETO LEVE
UTILIZANDO EPS, ARGILA EXPANDIDA E EVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Unifacvest, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.e. Aldori Batista dos Anjos

**LAGES
2020**

LETÍCIA MORAES DA CUNHA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO DO CONCRETO LEVE
UTILIZANDO EPS, ARGILA EXPANDIDA E EVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil,
do Centro Universitário Unifacvest, como
parte dos requisitos necessários à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.e. Aldori Batista dos
Anjos

Lages, SC ___/___/2020. Nota _____

**LAGES
2020**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por ter me dado saúde, força e sabedoria para concluir este trabalho.

Aos meus pais e minha irmã, por todo incentivo e esforço nesses 5 anos, me ajudando a superar todas as dificuldades.

Aos meus avós, que sempre estiveram ao meu lado e disponibilizaram ajuda sempre que possível.

Ao meu namorado, que também me apoiou para que esse sonho se tornasse realidade, e por toda paciência ao longo desse tempo.

Ao meu orientador, pelo empenho e paciência respondendo todas mensagens enviadas.

A todos professores que passaram pela minha caminhada, transmitindo todo seu conhecimento e atenção quando solicitado, e que concederam todo amparo durante nosso percurso.

Aos meus colegas de curso, em especial à Josiani e Sonieli, pela reciprocidade na amizade, que sempre estiveram ao meu lado dividindo alegrias e dificuldades, e por todas dúvidas tiradas minutos antes de algumas provas.

Por fim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO DO CONCRETO LEVE UTILIZANDO EPS, ARGILA EXPANDIDA E EVA

¹ Letícia Moraes da Cunha

² Aldori Batista dos Anjos

RESUMO

O âmbito da construção civil retrata grande potencial para o aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. Diante de todo crescimento econômico mundial já ocorrido, as tecnologias têm gerado mudanças e adaptações em busca de transformações nas alternativas de materiais em prol da sustentabilidade do setor. A incorporação desses resíduos como agregados em concretos vem passando por muitos estudos e, entre eles, se destaca o desenvolvimento de concretos leves, uma categoria especial de concreto que se distingue pela sua massa específica menor que 2.000 kg/m^3 . Frente ao exposto, este trabalho tem como objetivo comparar o concreto leve com a inserção de E.P.S. (Poliestireno Expandido), E.V.A. (Espuma Vinílica Acetinada) e Argila Expandida, tendo a finalidade de analisar a funcionalidade, os benefícios da utilização e suas propriedades, como a resistência à compressão e massa específica. Sendo que, tais resultados comprovam que os concretos leves com adição de E.P.S. e E.V.A. não possuem resistência mínima determinada pela ABNT NBR 6118:2014, sugerindo seu uso para fins não estruturais. No entanto, com a introdução de Argila Expandida se obteve resistência mínima determinada pela norma, possibilitando seu uso em elementos estruturais.

Palavras-chave: Concreto Leve. EPS. EVA. Argila Expandida.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil, décima fase, Curso de TCC II, do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Professor Mestre.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE APPLICATION OF LIGHT CONCRETE USING EPS, EXPANDED CLAY AND EVA

¹ Letícia Moraes da Cunha

² Aldori Batista dos Anjos

ABSTRACT

The scope of civil construction shows great potential for the use of various types of industrial waste. In view of all the world economic growth that has already occurred, technologies have generated changes and adaptations in search of changes in the alternatives of materials in favor of the sector's sustainability. The incorporation of these residues as aggregates in concretes has been undergoing many studies and, among them, the development of lightweight concretes stands out, a special category of concrete that is distinguished by its specific mass less than 2,000 kg / m³. In view of the above, this work aims to compare lightweight concrete with the insertion of E.P.S. (Expanded polystyrene), E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) and Expanded Clay, with the purpose of analyzing the functionality, the benefits of use and its properties, such as resistance to compression and specific mass. These results prove that light concretes with the addition of E.P.S. and E.V.A. they do not have a minimum resistance determined by ABNT NBR 6118: 2014, suggesting their use for non-structural purposes. However, with the introduction of Expanded Clay, minimum resistance determined by the standard was obtained, allowing its use in structural elements.

Keywords: Light Concrete. EPS. EVA. Expanded Clay.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil, décima fase, Curso de TCC II, do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Professor Mestre.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Concreto leve: a) com agregado leve	16
Figura 2 – Concreto leve: b) ar incorporado	16
Figura 3 – Coliseu (Roma) – Fundações e diversas paredes.....	17
Figura 4 – Panteão (Roma) – Cobertura	17
Figura 5 – Navio Uss Selma	17
Figura 6 – Navio Uss Selma 2	18
Figura 7 – Edifício Southwestern Bell Telephone Company.....	18
Figura 8 – Módulo de Elasticidade das duas fases do concreto.....	25
Figura 9 – Módulo de elasticidade do concreto com três diferentes tipos e porcentagens de agregados.....	26
Figura 10 – Poliestireno Expandido (E.P.S.).....	27
Figura 11 – Tipos de Argila Expandida.....	28
Figura 12 – E.V.A. triturado	29
Figura 13 – Habitação Cinasa com concreto leve.....	31
Figura 14 – Concreto com E.P.S. reciclado	35
Figura 15 – Concreto com pérolas de E.P.S.....	36
Figura 16 – Adensamento mecânico dos corpos-de-prova cilíndricos.	40
Figura 17 – Corpos-de-prova após a ruptura por tração diametral.	43
Figura 18 – Resistência à compressão axial dos concretos aos 7 dias.....	46
Figura 19 – Resistência à compressão axial dos concretos aos 28 dias.....	46
Figura 20 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 7 dias.	47
Figura 21 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores da Massa Específica Aparente do concreto leve estrutural.....	15
Tabela 2 – Tipos de cimentos e suas composições em massa.....	20
Tabela 3 – Resistência à Compressão.....	23
Tabela 4 – Consumo dos materiais para 1 m ³ dos diferentes concretos estudados.....	34
Tabela 5 – Resultados de abatimento e massa específica no estado fresco.....	36
Tabela 6 – Valores médios e desvio padrão da resistência à compressão dos concretos estudados.....	37
Tabela 7 – Dosagem dos Concretos.....	39
Tabela 8 – Propriedades dos concretos leves no estado fresco.....	41
Tabela 9 – Resistência à compressão e massa específica dos concretos leves.....	42
Tabela 10 – Valores da resistência à tração dos concretos leves.....	42
Tabela 11 – Traços utilizados para produção dos concretos.....	44
Tabela 12 – Massa específica dos concretos no estado fresco.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Relação Água Cimento
ACI	American Concrete Institute
CEB-FIP	Federação Internacional de Concreto Estrutural
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
CP-V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
DIN	Normas Nacionais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ECI	Módulo de Elasticidade Inicial
ECS	Módulo de Elasticidade Secante
EPS	Poliestireno Expandido
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
FCK	Resistência Característica do Concreto à Compressão
GPa	Gigapascal
ISO	Normas Internacionais
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Newton-Metro
NS	Código Norueguês
PVC	Policloreto de Polivinila
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
REF	Referência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	METODOLOGIA.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	CONCRETO LEVE	15
2.1.1	Componentes do Concreto Leve	18
2.1.1.1	Cimento Portland	18
2.1.1.2	Agregados	20
2.1.1.3	Agregados Leves.....	21
2.1.1.4	Água.....	21
2.1.2	Propriedades do Concreto.....	22
2.1.2.1	Trabalhabilidade	22
2.1.2.2	Resistência à Tração	22
2.1.2.3	Resistência à Compressão.....	23
2.1.2.4	Porosidade.....	24
2.1.2.5	Módulo de Elasticidade	24
2.2	POLIESTIRENO EXPANDIDO (E.P.S.)	27
2.3	ARGILA EXPANDIDA	28
2.4	ETHYLENE VINYL ACETATE (E.V.A.)	29
2.5	DESEMPENHO.....	30
2.5.1	Regional	30
2.5.2	Nacional	30
2.5.3	Tecnológico.....	31
2.5.4	Econômico	32
2.5.5	Ambiental	33
3	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	34
3.1	CONCRETO LEVE COM E.P.S.....	34
3.1.1	Materiais	34
3.1.2	Produção	34
3.1.3	Ensaio	35
3.1.4	Resultados.....	36
3.2	CONCRETO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA.....	37
3.2.1	Materiais	37
3.2.2	Produção	38
3.2.3	Ensaio	40
3.2.4	Resultados.....	41

3.3	CONCRETO LEVE COM E.V.A.	43
3.3.1	Materiais	43
3.3.2	Produção	44
3.3.3	Ensaio	44
3.3.4	Resultados.....	45
3.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
4	CONCLUSÃO.....	49
5	BIBLIOGRAFIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Entre os materiais estruturais o concreto é um dos mais utilizados no mundo (PIRES et al., 2010). No entanto, o concreto possui desvantagens e uma delas é o seu peso próprio elevado, e na tentativa de reduzir os esforços estruturais e conseqüentemente baixar os custos das edificações, as construtoras têm revelado a necessidade de utilização de concreto leve. Já foram constatadas a utilização de concreto de agregados leves cerca de 1100 a.C., quando construtores pré-colombianos originários da região da atual cidade de El Tajin, localizada no México, utilizaram uma mistura de pedra-pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais, e também foram averiguadas construções gregas e romanas como, por exemplo, o Panteão, erguido em 118 à 128 d.C. Aplicando concreto leve. No entanto, conforme afirma Angelin (2014), foi somente a partir de 1980 que foram realizadas pesquisas sobre concretos leves, com o intuito de avaliar seu potencial de utilização.

Denomina-se concreto leve aquele com massa específica inferior à dos concretos convencionais e que pode ser obtido com a substituição parcial ou total dos agregados tradicionais por agregados com massa específica reduzida. No que tange à Construção Civil, também podemos buscar desenvolvimentos em bases sustentáveis com a utilização do concreto leve através do melhor aproveitamento dos recursos naturais reduzindo seus impactos ambientais, elaborações de sistemas construtivos alternativos e para gerenciamento e reciclagem de resíduos, e também realização de edificações com menos perdas de energia e conforto térmico.

A utilização do concreto com Poliestireno Expandido (E.P.S.), Argila Expandida e Ethylene Vinyl Acetate (E.V.A.), vem sendo utilizado cada vez mais devido a sua baixa densidade e sua capacidade de isolamento termo acústico, buscando maiores condições de conforto aliada à economia nos gastos anuais com energia elétrica. Outra forma de ser conivente à construção civil é devido ao volume de resíduos de E.P.S. e E.V.A. gerados, no qual vem suscitando grande preocupação tanto para o poder público quanto para a sociedade, havendo assim a necessidade de buscar formas para minimizar sua destinação inadequada.

O processo de industrialização e urbanização associado ao desenvolvimento tecnológico além de trazer grandes benefícios para a sociedade, trouxe também malefícios ao meio ambiente, como a crescente geração de resíduos sólidos associados ao mau gerenciamento dos mesmos. (GARLET, 1998; ROCHA, 2008 e MARQUES ET AL., 2012)

Para incentivar este desenvolvimento existem as resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), entre elas a CONAMA nº 307 (CONAMA, 2002) que criam e

regulam políticas de reuso e reciclagem de resíduos da construção.

Através disto, podemos buscar cada vez mais maneiras de minimizar o impacto ambiental e também reduzir custos das obras na construção civil.

Um aspecto importante a se considerar refere-se ao fato de os concretos leves apresentarem um aumento do consumo de energia para sua produção em relação aos concretos convencionais, para a mesma tensão de trabalho, em função da produção dos agregados leves em fornos rotativos. Deve-se ressaltar, porém, que a energia adicional utilizada na produção dos

agregados pode ser facilmente compensada pela redução da massa específica do concreto, que, em casos particulares, favorece a redução da armadura, do volume total de concreto e da energia utilizada no transporte e no processo construtivo. Além disso, quando comparado ao concreto convencional, o concreto leve promove a redução do consumo de energia no condicionamento térmico das edificações quando utilizado nas vedações. (ROSSIGNOLO, 2009, p. 16)

Tendo em vista evidenciar a aplicabilidade do concreto leve utilizando Poliestireno Expandido (E.P.S.), Argila Expandida e Ethylene Vinyl Acetate (E.V.A.), o presente trabalho busca fundamentar seus benefícios de forma a contribuir e tencionando seu maior uso na construção civil.

1.1 METODOLOGIA

Primeiramente, será feita uma revisão bibliográfica através da consulta de vários materiais a fim de obter fundamentação teórica da pesquisa, dando início a caracterização e propriedades do concreto leve. Em seguida, a avaliação da viabilidade técnica do uso de resíduos de E.P.S., Argila Expandida e E.V.A. como agregado leve em concreto será feita através de estudos realizados em experimentos com corpos de prova de acordo com outras dissertações analisadas.

Por último será feita uma discussão sobre resultados obtidos de cada estudo e então, desenvolvido as conclusões sobre o comportamento obtido para cada composição do concreto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Podemos distinguir o concreto como uma pedra artificial moldada à inventividade construtiva do homem. No momento em que está em estado fresco, é um composto plástico possibilitando modelagem de seu formato e tamanho, entretanto depois de endurecido, tal material tem resistência semelhante às rochas naturais. (LIMA, 2014.)

Através de suas massas específicas, contidas pelas distintas dosagens da mistura – também chamadas de traços – dispomos uma das classes básicas de classificação chamada de concreto leve.

2.1 CONCRETO LEVE

Segundo Rossignolo (2009), sua principal característica é sua leveza, que consiste na redução da massa específica, enquanto o concreto convencional varia entre 2.300kg/m³ e 2.500kg/m³, o concreto leve fica abaixo de 2.000kg/m³ que se dá através da substituição dos agregados convencionais por agregados leves, ocasionando de alterações significativas em outras importantes propriedades do concreto, como trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, durabilidade, estabilidade dimensional, condutividade térmica, resistência a altas temperaturas e espessura da zona da transição entre o agregado e a pasta de cimento. A Tabela 1 apresenta as indicações das principais normalizações de referência.

Tabela 1 – Valores da Massa Específica Aparente do concreto leve estrutural

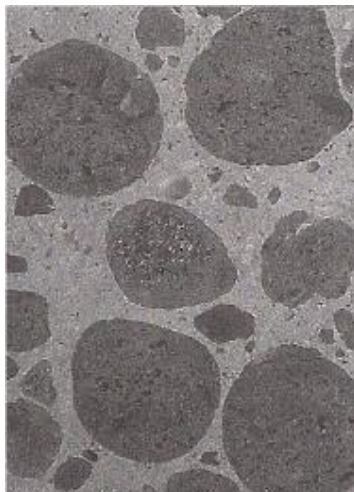
Referência	Massa específica aparente γ (kg/m ³)
ABNT NBR NM 35 (1995)	1680 < γ < 1840
ACI 213R-03 (2003)	1120 < γ < 1920
EUROCODE 2 (2007)	900 ≤ γ ≤ 2000
NS 3473 E (1998)	1200 < γ < 2200
CEB-FIP (1977)	< 2000
RILEM (1975)	< 2000

ROSSIGNOLO, 2009.

Existem, basicamente, duas classes de concreto leve(Figura 1): o com ar incorporado, utilizado para preenchimento e para vedação de painéis, paredes e divisórias; e o estrutural, com

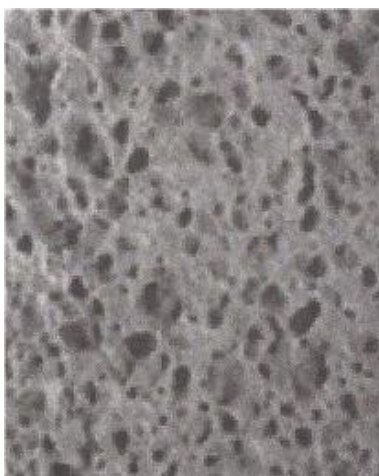
a substituição dos elementos da mistura original do concreto por insumos mais leves como a argila expandida, o EPS (Expanded Polistyrene) e o E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate).

Figura 1 – a) com agregado leve



ROSSIGNOLO, 2009.

Figura 2 – b) ar incorporado



ROSSIGNOLO, 2009.

O concreto leve não surgiu somente com a utilização do cimento Portland, as suas aplicações históricas mais conhecidas foi no Império Romano, onde se destacam até hoje o Coliseu em Roma (Figura 3) e o Panteão (Figura 4).

Figura 3 – Coliseu (Roma) – Fundações e diversas paredes

GLOBO, 2017.

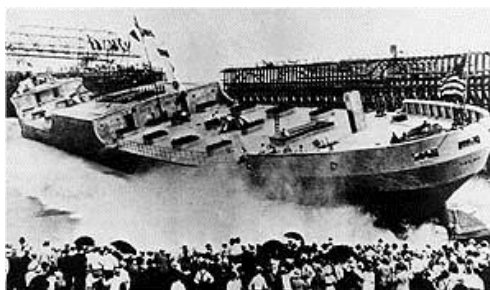
Figura 4 – Panteão (Roma) – Cobertura

BLOGRECICLOS, 2016.

A primeira notícia que se teve do concreto leve com o cimento Portland foi na Primeira Guerra Mundial, quando os Estados Unidos fabricaram navios (Figura 5 e Figura 6) utilizando 2.000m³ de argila expandida como agregado leve, enquanto o valor habitual de resistência à compressão dos concretos tradicionais na época era de 15 MPa, a American Emergency Fleet Building Corporation construiu embarcações com resistência à compressão de 35 MPa e massa específica em torno de 1700 kg/m.

Figura 5 – Navio Uss Selma

Disponível em <<https://meioseculodeaprendizagens.blogspot.com/2012/03/barcos-de-cimento.html>>
Acesso em: 28/05/2020

Figura 6 – Navio Uss Selma 2

ROSSIGNOLO, 2009.

O uso do concreto estrutural leve em edifícios múltiplos ocorreu em 1929, na cidade do Kansas nos Estados Unidos, o Edifício Southwestern Bell Telephone Company (Figura 7) foi inicialmente construído com 14 pavimentos com concreto estrutural convencional, porém projetado para receber mais 8 pavimentos, no entanto os projetistas verificaram que se fosse utilizado o concreto leve, seria possível executar mais 6 pavimentos adicionais, além dos 8 já previstos (Rossignolo, 2009).

Figura 7 – Edifício Southwestern Bell Telephone Company

ALAMY.

2.1.1 Componentes do Concreto Leve

2.1.1.1 Cimento Portland

Um dos materiais mais utilizados na construção civil, trata-se de um pó fino com propriedades ligantes que através da adição da água endurece e fica resistente, e mesmo quando é sujeito a nova adição de água não se decompõe.

“A palavra cimento é originada do latim CAEMENTU, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.” (Arnaldo Battagin, 2002)

A importante etapa do cimento foi em 1756 pelo inglês John Smeaton, que gerou um produto com grande resistência através de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat conseguiu resultados parecidos e foi considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o inglês Joseph Aspdin queimou simultaneamente pedras calcárias e argila, alterando-as num pó fino que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções e não se dissolvia em água, sendo patenteada pelo construtor no mesmo ano, onde foi dado o nome de cimento Portland, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez similares às rochas da ilha britânica de Portland.

“Com o pó de cimento, pouca coisa se faz. Mas, quando misturado com água e outros materiais de construção, como areia, pedra britada e cal, ele resulta em um concreto bastante resistente para ser utilizado na construção de casas, edifícios, pontes e barragens.” (Arnaldo Battagin, 2002)

O cimento portland é constituído por uma mistura de calcário e argila denominada de clínquer e de adições como escória de alto forno, materiais pozolânicos, gesso e materiais carbonáticos. Os gêneros mais empregados nas obras de construção civil são:

Tabela 2 – Tipos de cimentos e suas composições em massa.

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clíquer + Gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

2.1.1.2 Agregados

É a denominação genérica dada aos materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos, conforme definição proposta por Carmen Ribeiro (2002).

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil (DNPM, 2017).

Existem dois tipos de agregados para concreto: o miúdo (areia) e o graúdo (brita), cada qual com funções e propriedades específicas.

Também podem ser classificados como naturais ou artificiais. Os naturais são encontrados na natureza, como por exemplo, cascalho, areia ou pedregulho. Já os artificiais são aqueles gerados através de algum processo industrial como as argilas expandidas, entre outros.

Outro fator que define a classificação dos agregados é a massa específica aparente. Nesse quesito, podem ser divididos em leves, normais e pesados.

2.1.1.3 Agregados Leves

É definido pela sua massa unitária inferior a 1120kg/m^3 , possuindo propriedades que contribuem com a sustentabilidade, proporcionando economia de energia, de água e obtenção de créditos (LEED) na execução de uma obra.

De acordo com o ACI 213R (AMERICAN, 1999) podemos defini-los por três grupos:

- a) Agregados para concretos isolantes: sua utilização resulta em um concreto de massa específica em torno de 300 kg/m^3 e 800 kg/m^3 e a resistência é desprezível.
- b) Agregados para concretos com resistência moderada: os concretos com esses agregados possuem resistência à compressão entre 7 MPa e 17 MPa e, portanto, não tem função estrutural e as características de isolamento são intermediárias.
- c) Agregados para concretos estruturais: Resultam em concretos com maior resistência à compressão e são os únicos que podem ser empregados para fins estruturais.

Com a utilização do agregado leve, existe uma ampla relação entre o teor de cimento do concreto e a resistência à compressão, com isso o consumo do cimento é maior, tornando seu custo de 10 a 15% mais caro que o convencional. Porém, o custo mais elevado pode ser compensado pela redução das dimensões das peças estruturais, das armaduras, das fôrmas e cimbramentos, das fundações e entre outros.

2.1.1.4 Água

De certo modo, pode-se dizer que a água é tão ou mais importante que o próprio cimento, pois além de ser a responsável pelas funções de provocar a reação de hidratação dos compostos do cimento, aumentar a trabalhabilidade sendo capaz de preencher adequadamente as fôrmas, sem provocar vazios ou nichos, é ela quem define a dosagem dos aditivos químicos plastificantes a serem empregues no concreto.

Uma das expressões mais conhecidas é a relação água/cimento (a/c) que conduz para a resistência pretendida. Descoberta há quase um século por Duff A. Abrams, após imensuráveis ensaios em inúmeras composições de mistura, mostrando-se a relação água e cimento a medida mais importante. Sua ação foi presenciada na durabilidade, retração e na resistência do concreto. Mediante à transformação dos materiais em uma pasta, a água determina a estrutura interna.

Em princípio, os números vêm da seguinte Equação (2.1):

$$\text{Fator } A/C = \frac{\text{Água (em litros)}}{\text{Cimento (em quilos)}} \quad (2.1)$$

Quanto menor o valor da relação água e cimento, será maior a resistência, durabilidade e a qualidade do concreto, e menor sua permeabilidade.

É significativo ressaltar que a água para fazer concreto deve estar limpa, água de abastecimento público, por exemplo, atende aos parâmetros impostos na ABNT NBR 15900 – Água para amassamento do concreto. O vasilhame empregue no seu transporte e também quaisquer objetos que entrar em contato com a mistura deverá conter o armazenamento adequado a fim de conter a contaminação com sal, açúcar, óleos, entre outros elementos.

A cura do concreto é um procedimento imprescindível que deve ser estabelecido logo após a concretagem, através da hidratação do mesmo.

2.1.2 Propriedades do Concreto

2.1.2.1 Trabalhabilidade

Define a facilidade da manipulação do concreto fresco com perda mínima de homogeneidade. Diversos fatores podem acometer tal propriedade, como sua consistência do concreto, traço, uso de aditivos e maneiras de transporte.

Na prática, a trabalhabilidade é oferecida pela medida do concreto fresco que, para concretos convencionais, é comumente associada por um método prático chamado slump test, conhecido como abatimento de tronco de cone.

Ao se falar em trabalhabilidade é importante também falar de outros dois conceitos que estão unidos de maneira direta, segregação e exsudação. O primeiro diz respeito ao movimento de partículas grosseiras do concreto em sentido descendente (separação das frações grossa e fina) resultando na perda de homogeneidade. Já a exsudação é o fenômeno concomitante com a segregação, isto é, tendência de movimento ascendente de partículas finas com água de amassamento (pasta de cimento na superfície). Entre as causas temos o transporte do concreto não misturado adequadamente, presença excessiva de finos, vibração intensa, utilização de concreto muito fluido. A fim de evitar esses problemas, devem-se utilizar baixas relações água/cimento, evitar excesso de vibração, etc. (BALBO, 2009).

2.1.2.2 Resistência à Tração

Para a resistência do concreto mediante à tração, na falta de determinação experimental, com $f_{ck} < \text{ou} = 18 \text{ Mpa}$ poderá ser composto pela seguinte Equação (2.2):

$$Ftk = \frac{fck}{10} \quad (2.2)$$

E para $fck > 18$ Mpa poderá ser composto pela seguinte Equação (2.3)

$$Ftk = 0,06 fck + 0,07 \text{ Mpa} \quad (2.3)$$

2.1.2.3 Resistência à Compressão

Também conhecida como Fck, sigla que em inglês significa Feature Compression Know traduzida para o português significa resistência característica do concreto à compressão. Ela é medida em megapascal (MPa), e cada 1 mpa corresponde a uma resistência aproximada de 10 kgf/cm². O Fck indica, no entanto, o potencial de tensão no qual o concreto pode resistir, resultante da divisão entre a força e a área em que ela concretizara.

Para mensurar um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados de acordo com a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência é 28 dias. Possibilitando então, confirmar a tensão máxima a que ele resistirá antes de sofrer ruptura.

A resistência correspondente poderá ser obtida pela tabela abaixo:

Tabela 3 – Resistência à Compressão.

IDADE DO CONCRETO	3	7	28	90	360
Cimento Portland Comum	0,40	0,65	1,00	1,25	1,35
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Tabela CEB/72.

Na falta de ensaios, a resistência à compressão (resistência de projeto ou resistência última do concreto) em concreto com 28 dias ou mais, pode ser dada pela Equação (2.4).

$$Fcd = \frac{fck}{\gamma_c} \quad (2.4)$$

onde,

fck = resistência característica à compressão

γ_c = coeficiente de segurança do concreto (geralmente igual a 1,4).

A resistência à compressão (f_c), em MPa, conforme consta na norma pode ser calculada pela Equação (2.5).

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (2.5)$$

onde,

F = Força máxima alcançada (N)

D = Diâmetro do CP (mm).

2.1.2.4 Porosidade

Um concreto poroso apresentará maior facilidade de entrada de agentes agressivos e degradantes que alteram a capacidade de seu desempenho, podendo chegar até o aço com mais facilidade e em menor tempo, provocando diversas manifestações patológicas e redução considerável da vida útil.

Os fatores externos significativos são os aditivos, temperatura, e, em casos pertinentes, a pressão de bombeamento. A absorção de água dos agregados leves é proporcional à consistência do concreto, aumentando com o uso de superplastificantes ou agentes redutores (Rossignolo; Agnesini, 2005).

Apesar de aumentar a retração por secagem, aumento da massa específica e redução da resistência ao fogo devido à alta quantidade de água absorvida pelo agregado leve, também há os aspectos positivos, como a melhoria nas propriedades da zona de transição entre agregado e pasta de cimento e benefícios na “cura interna” do concreto (Holm; Bremner, 1994; Borja 2011; Hubertová et al., 2013).

A indicação de Rossignolo (2009) para agregados leves é gerar a pré-saturação para reduzir a absorção de água após a mistura, impedir prejuízo da trabalhabilidade do concreto e impedir a formação de bolhas ao redor do agregado.

2.1.2.5 Módulo de Elasticidade

Podemos definir o módulo de elasticidade como a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente.









Os agregados leves são altamente porosos e, dependendo de quão porosos eles são, seu módulo de elasticidade pode variar de 7 GPa a 28 GPa (Duplan et al., 2014). Com o propósito de comparar, os agregados utilizados em concretos normais como o granito, rochas vulcânicas e basaltos têm módulo de elasticidade em torno de 69 GPa a 138 GPa.

Para prever o módulo de elasticidade dos concretos, pesquisadores apontaram alguns

modelos matemáticos pela atribuição das propriedades elásticas de seus componentes, podendo-se dizer, em maior parte, o concreto como um material bifásico (argamassa e agregado graúdo).

A Figura x representa os modelos citados com as devidas formulações matemáticas com o intuito de obter o módulo de elasticidade do concreto por meio das propriedades elásticas do agregado. Entretanto, devido à reduzida dimensão dos agregados leves, é difícil determinar o seu módulo de elasticidade diretamente e esses modelos em geral não são aplicáveis (Arnould et al., 1986).

Figura 8 – Módulo de Elasticidade das duas fases do concreto

E = Módulo de Elasticidade g = Coef. de Poisson		 Fase 1: Argamassa
		 Fase 2: Agregados graúdos
	Modelo de Voigt	$E_c = E_1 g_1 + E_2 g_2$
	Modelo de Reuss	$\frac{1}{E_c} = \frac{g_1}{E_1} + \frac{g_2}{E_2}$
	Modelo de Hirsch-Dougill	$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_{c,voigt}} + \frac{1}{E_{c,Reuss}} \right)$
	Modelo de Popovics	$E_c = \frac{1}{2} (E_{c,voigt} + E_{c,Reuss})$
	Modelo de Counto	$\frac{1}{E_c} = \frac{1 - \sqrt{g_2}}{E_1} + \left(\frac{1 - \sqrt{g_2}}{\sqrt{g_2}} E_1 + E_2 \right)^{-1}$
	Modelo de Hashin	$E_c = \left[\frac{(E_1 + E_2) + (E_2 - E_1)g_2}{(E_1 + E_2) - (E_2 - E_1)g_2} \right] \cdot E_1$
Modelo de Bache e Nepper-Christensen		$E_c = E_1^{k_1} \cdot E_2^{k_2}$ <small>c= concreto</small>

Cui, 2007.

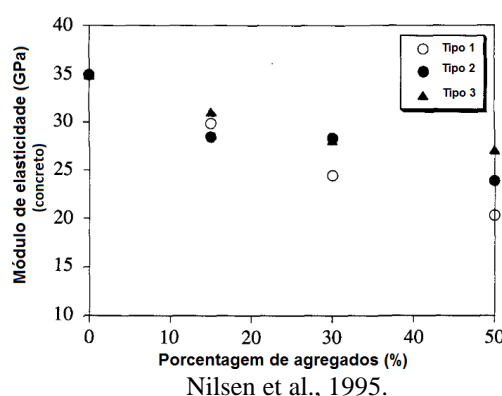
Segundo Duplan et al. (2014), as propriedades elásticas da argila expandida são difíceis de serem determinadas e podem apresentar divergências. Para agregados leves de mesma produção, Ke et al. (2010) encontraram valores para o módulo de elasticidade em torno de 8GPa, com Coeficiente de Poisson de 0,2. Em outro trabalho (Nilsen et al., 1995), os autores estimaram que os módulos de elasticidade para os mesmos agregados, dimensões e pesos variam de 15 a 20 GPa. Essas divergências de resultados reforçam a falta de confiabilidade na faixa de valores encontrados e apontam para a necessidade de uma melhor precisão na determinação dessa propriedade elástica em questão.

A partir do estudo de Nilsen et al. (1995) que utiliza 3 tipos diferentes de agregados, comparando os resultados de módulo de elasticidade do agregado encontrados com três métodos e modelos da literatura (Gommers, 1998; Kuster, 1974; Müller-Rochholz, 1979), no qual foi encontrado relações do módulo de elasticidade e porcentagens de agregados com os módulos de

elasticidade do concreto.

A Figura 9 demonstra os módulos de elasticidade do concreto relacionados com três tipos diferentes de agregados leves, em conformidade com a porcentagem de agregados presente no corpo de prova, demonstrando que o tipo e a porcentagem de agregados interferem no módulo de elasticidade do concreto leve. Por fim, a lista seguinte traz o resumo de alguns métodos utilizados na literatura para obtenção do módulo de elasticidade dos agregados leves:

Figura 9 – Módulo de elasticidade do concreto com três diferentes tipos e porcentagens de agregados



Existem diversos métodos utilizados na literatura para obtenção do módulo de elasticidade dos agregados leves como, por exemplo, Medidas por pulso de velocidade de ultrassom (de La Précontrainte, 1983); Métodos de indentação instrumentada (Stone et al., 1988); Modelos matemáticos micromecânicos baseados em Mori-Tanaka (Gommers, 1998); Formulações pelo método do agregado central (Chen, 2003) e Método de homogeneização iterativo (Ke et al., 2010).

Quando não encontrar dados mais precisos sobre o concreto e não forem feitos ensaios, com a idade de referência de 28 dias, utilizamos a expressão a seguir estimando o valor do módulo de elasticidade inicial:

$$E_{ci} = 5600 \times f_{ck}^{1/2} \quad (2.6)$$

E_{ci} e f_{ck} são dados em MPa.

O Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs}), a ser utilizado nas análises elásticas de projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, pode ser calculado pela equação:

$$E_{cs} = 0,85 \times E_{ci} \quad (2.7)$$

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou de uma seção transversal, pode ser adotado um módulo de elasticidade único, à tração e à compressão, igual ao módulo de elasticidade secante (Ecs) (Pinheiro et al., 2010).

2.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (E.P.S.)

Mais conhecido como “Isopor®” no Brasil, marca registrada da Knauf, o E.P.S. é a sigla internacional Poliestireno Expandido (Figura 8) de acordo com a definição da norma DIN ISO1043/78. Foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha.

A NBR 11752:2007 (ABNT, 2007) define o poliestireno expandido (E.P.S.) como um material plástico celular rígido, originalmente de cor branca, produzido pela expansão de pérolas pré-expandidas de poliestireno, podendo ser fabricado nas condições de não retardante à chama (classe P) e de retardante à chama (classe F).

O produto final são pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam à expansão, apresentando em seu volume até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Segundo ABRAPEX (2000), os produtos finais de E.P.S. são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima.

Sua espuma rígida de poliestireno é comprovadamente um material isolante da melhor qualidade nas temperaturas de -70° a 80° Celsius.

Figura 10 – Poliestireno Expandido (E.P.S.)



EPSBRASIL, 2020

A técnica convencional de preparo do concreto leve com E.P.S., além de considerar a finalidade e o objetivo de utilização, sugere que ao misturar os materiais seja associado à água de amassamento um material adesivo (tipo cola branca) com a finalidade de agregar o cimento ao E.P.S. (ABRAPEX, 2006). A utilização de um látex polimérico (cola) melhora a ligação do EPS com a pasta de cimento. Essa melhoria também pode ser percebida com a adição de nanossílica (CHEN; LIU, 2007).

2.3 ARGILA EXPANDIDA

Apresenta forma de bolinhas de cerâmica, com estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos e uma casca rígida resistente. Possui granulometria de 15 mm a 22 mm, o equivalente à brita 1; Densidade aparente: 500 kg/m³ (variação de cerca de 10%); Resistência mecânica: 150 kg/cm²; Isolamento acústico: pode chegar a uma redução média de 44 dB.

A expansão das matérias-primas naturais pode ser obtida, basicamente, através de dois processos industriais: sinterização ou forno rotativo. A sinterização consiste num processo onde a matéria-prima é misturada com uma quantidade adequada de combustível, que pode ser coque ou carvão moído, e sofre expansão com o aumento da temperatura devido à formação de gases, porém esse método cria poros abertos, o que faz com que o produto resultante absorva mais água. (ROSSIGNOLO, 2009)

A única forma de fabricação da argila expandida no Brasil é com forno rotativo, sendo assim a mais utilizada no país.

Há duas classificações da argila expandida que podemos empregar como agregado graúdo no concreto leve: a argila expandida 2215, com granulometria de 15 a 22mm, equivalente a Brita 1, densidade aparente de 500 kg/m³ (variação de +/- 10%); e a argila expandida 1506, com granulometria de 6 a 15mm, equivalente a Brita 0, densidade aparente de 600 kg/m³ (variação de +/- 10%). Além destas duas variações de agregado graúdo, existe a argila expandida 0500, classificada como agregado miúdo, que pode ser substituída pela areia grossa, e a argila expandida 3222, com grãos superiores a 22mm, conforme a figura 9.

Figura 11 – Tipos de Argila Expandida



ACAREIA, 2020.

3122 – Enchimento leve solto, enchimento leve rígido, geotecnia, galerias pluviais, área de escape, paisagismo, telhado verde e hidroponia.

2215 – Enchimento leve solto, enchimento leve rígido, geotecnia, concreto leve, artefatos pré-moldados, galerias pluviais, área de escape, paisagismo, telhado verde e hidroponia.

1506 – Concreto leve, artefatos pré-moldados, paisagismo, telhado verde e hidroponia.

0500 – Concreto leve, artefatos pré-moldados.

2.4 ETHYLENE VINYL ACETATE (E.V.A.)

Caracterizada por ser uma espuma vinílica acetinada, sua sigla E.V.A. significa acetato-vinilo de etileno que deriva do inglês “Ethylene Vinyl Acetate”. Para sua obtenção como agregado, os retalhos são triturados em um moinho de facas rotativas.

Figura 12 – E.V.A. triturado



DOCASON, 2020.

O E.V.A. é considerado um copolímero formado por resina de poli - (etileno - co -vinil acetato), agentes de expansão e reticulantes, cargas ativadoras e auxiliares de processo e outros polímeros. Possui resistência contra impactos, fadiga, tenacidade, excelente flexibilidade e processabilidade, além de manter sua estabilidade térmica (ILDEFONSO, 2007).

As principais características do agregado assim obtido, são a sua baixa massa unitária (+/- 110 kg/m³), a elevada absorção de água e a elasticidade das partículas. Comparado a outros agregados leves, o E.V.A., apresenta propriedades semelhantes a perlita (40 - 200 kg/m³) e Vermiculita (60 - 200 kg/m³), além do Poliestireno expandido cuja massa unitária mínima gira em torno de 12 kg/m³, enquadrando-se assim, na faixa dos agregados mais leves conhecidos atualmente (Cook, 1983).

A resina de E.V.A. contém acetato de Vinila, cuja quantidade define as propriedades do composto de E.V.A.. À proporção que o teor de acetato de Vinila aumenta, suas propriedades se tornam mais parecidas à borracha ou PVC plastificado; e a medida que o teor é baixo, o E.V.A. demonstra propriedades similares ao polietileno de baixa densidade.

Os copolímeros E.V.A., tanto podem ser sintetizados contendo somente uma pequena porcentagem do acetato de Vinila, como também podem conter 50% ou mais. De acordo com

esta característica, existem os seguintes tipos de E.V.A.: o de baixa concentração com até 20% de acetato de Vinila e o de alta concentração com 20% até 50% acetato de Vinila.

O E.V.A. é um material viável para ser utilizados em concretos leves. Para isso passa por processo de trituração para formar retalhos e peneiramento para obter a granulometria adequada (KUNZLER et al., 2017).

A maior preocupação é o fato de que o E.V.A. não é biodegradável, gerando acúmulo em aterros. Desta forma, com a necessidade de sustentabilidade buscou-se caracterizar resíduos de E.V.A. visando à reciclagem mecânica desse material para a utilização como agregado no concreto leve e contribuindo com a redução de resíduos enviados aos aterros.

2.5 DESEMPENHO

Podemos caracterizar a importância do concreto leve utilizando os agregados E.P.S., argila expandida e E.V.A. nos seguintes níveis:

2.5.1 Regional

A nossa região pode chegar a temperaturas negativas em épocas frias e um intenso calor no verão, sendo assim necessitando que a construção se adapte a estas variações. Assim, questões climáticas como insolação, temperatura e umidade, influenciam de maneira direta no conforto do ocupante.

O concreto utilizando os demais agregados leves como o E.P.S., argila expandida e o E.V.A. proporcionam maior resistência à umidade, isolamento térmica e acústica, além de também não propagar chamas e aderir à sustentabilidade.

2.5.2 Nacional

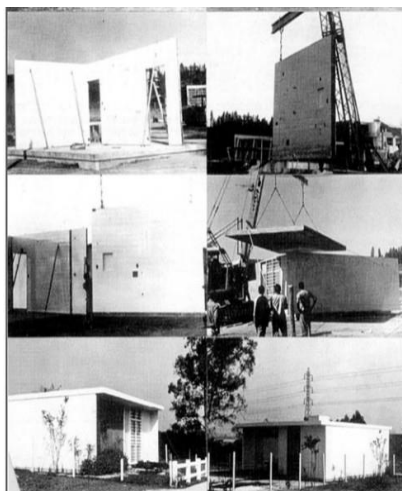
No Brasil existem relatos de empresas iniciarem com o concreto leve para produzir elementos pré-fabricados para construção de habitações, onde antes eram feitos de concreto comum, porém alteradas para concreto leve pelas diversas vantagens como fácil manuseio, transporte e a montagem das peças.

Pode se afirmar que no Brasil a utilização dos concretos com agregados leves ainda é modesta, frente ao seu potencial de utilização. Desde o início da produção de argila expandida no

Brasil, em 1968, a maioria das aplicações dos concretos leves estruturais no setor da construção civil nacional ocorre em elementos estruturais pré-fabricados e na estrutura de edificação de múltiplos pavimentos moldados in loco, em especial nas lajes. (ROSSIGNOLO,

2009.)

Figura 13 – Habitação Cinasa com concreto leve



ROSSIGNOLO, 2009.

No Brasil também existem diversas outras construções onde foram utilizados concretos leves como por exemplos, a Fábrica da Rhodia em Santo André – SP, Fábrica da Mangels em São Bernardo – SP, Escola na Vila Sônia, em São Paulo – SP, Ginásio do Clube Atlético Santista e o tabuleiro do Elevado Paulo de Frontin no Rio de Janeiro, além de obras na construção da cidade de Brasília, entre outras.

2.5.3 Tecnológico

A busca por materiais alternativos, de baixa massa específica, que possua redução na transferência de propagação de calor, associado à facilidade de manuseio e aplicação em concretos estruturais e estruturas de vedação, representa grande desafio na formulação e conhecimento do desempenho dos concretos leves. O concreto leve possui tecnologia pouco difundida em nível nacional e surge no cenário atual como um material inovador e alternativo ao concreto convencional.

Porém nos últimos anos a tecnologia do concreto passou por grandes desenvolvimentos que, segundo diversos pesquisadores, como Rossignolo, 2009, Díaz *et al.* (2010), Bektas *et al.*

(2012) e Ibrahim *et al.* (2013), ocorreram devido à evolução de algumas técnicas e utilização de novos equipamentos para estudo dos concretos, assim como o uso de materiais novos e alternativos aos convencionais. Dentre os novos materiais, destacam-se os aditivos redutores de água e as adições minerais, como a sílica ativa, que propiciaram melhorias relevantes nas propriedades relacionadas à durabilidade dos concretos (Neville *et al.*, 2013).

Segundo Rossignolo *et al.* (2003), os concretos com agregados convencionais, como a

brita basáltica, possuem módulo de deformação do agregado maior que o da argamassa, sendo assim, sua ruptura se inicia na zona de transição, o que resulta em uma linha de fratura ao redor do agregado (fase mais resistente), sendo o limitante do valor de resistência à compressão a argamassa e a zona de transição pasta-agregado. Quanto aos concretos com agregados leves, a resistência mecânica é mais eficiente na argamassa devido à similaridade entre os valores do módulo de deformação do agregado e da argamassa e da melhor qualidade da zona de transição pasta-agregado. A ruptura no concreto leve não ocorre devido à diferença entre as deformações dos agregados e da pasta de cimento, mas devido ao colapso da argamassa, e a linha fratura atravessa os agregados, como ocorre no concreto de alta resistência.

2.5.4 Econômico

Ao longo dos anos, pesquisas e testes aplicados a esse ramo permitiram a descoberta de novas técnicas e novos materiais que se aplicados corretamente podem trazer uma série de benefícios em uma obra.

Entre as principais vantagens em se utilizar sistemas de isolamento térmico estão, a economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior, redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura, diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes e diminuição dos riscos de condensações (FREITAS, 2002).

O concreto leve estrutural apresenta sua viabilidade técnica e econômica maior em estruturas envolvendo peso próprio, como em pontes e edificações de múltiplos pavimentos, transportes de componentes, sistemas construtivos pré-fabricados, estruturas flutuantes e tanques (Rossignolo, 2009).

Um aspecto importante a se considerar refere-se ao fato de os concretos leves apresentarem um aumento do consumo de energia para sua produção em relação aos concretos convencionais, para a mesma tensão de trabalho, em função da produção dos agregados leves em fornos rotativos. Deve-se ressaltar, porém, que a energia adicional utilizada na produção dos agregados pode ser facilmente compensada pela redução da massa específica do concreto, que, em casos particulares, favorece a redução da armadura, do volume total de concreto e da energia utilizada no transporte e no processo construtivo.

Alguns exemplos práticos ao longo dos anos no quesito econômico:

“Durante a Primeira Guerra Mundial, foram construídas 14 embarcações com estrutura em concreto leve. Já durante a Segunda Guerra Mundial, o uso desse material em embarcações foi mais intenso: foram construídos 488 navios com concreto leve, o

que permitiu grande economia de chapas de aço. Em meados da década de 1930, o concreto com agregados leves foi utilizado para a construção da pista superior da ponte na baía de San Francisco-Oakland (EUA), o que, segundo Mehta e Monteiro (2008), proporcionou uma economia em torno de três milhões de dólares em aço. Na Noruega, observa-se a execução de pontes flutuantes, como a Nordhorland, com o tabuleiro apoiado em “caixões” flutuantes, ambos executados em concreto leve. Nesse tipo de construção, a solicitação estrutural promovida pela ação das ondas é proporcional à profundidade submersa do elemento. Nesse caso, o concreto leve aumenta a flutuabilidade da estrutura, quando comparado ao concreto convencional, reduzindo a porção submersa e, com isso, diminuindo o consumo total de concreto e armadura. Especificamente no caso da ponte Nordhorland, a redução das dimensões dos “caixões” com a utilização do concreto leve proporcionou uma economia da ordem de 12% do custo total da estrutura da ponte Pakobsen.” (Rossignolo, 2009)

2.5.5 Ambiental

“Em termos de sustentabilidade, o concreto armado consome muito menos energia do que o alumínio, o aço, o vidro, e também emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes”, ressalta Arnaldo Forti Battagin, chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Citando os agregados, uma das melhores formas reciclagem do E.P.S. e E.V.A. é a utilização do mesmo na construção civil, além de não agredir o meio ambiente e ser economicamente viável o concreto formado pode ser utilizado na própria obra que descartou o produto anteriormente, desde muros à elementos decorativos.

Existem alguns processos para a reciclagem dos materiais à base de E.P.S., estes são aplicados conforme a utilização final do produto. Os rejeitos podem ser processados para serem novamente moldados em forma de blocos, injetados para formar peças para embalagens, entre outros; podem ser reutilizados na construção civil; ou até gerar energia elétrica ou calorífica por combustão direta e também podem ser aplicados como complemento em moldes de peças injetadas ou fundição no ramo industrial. (GROTE e SILVEIRA s.d. p. 13).

Entre as indústrias passíveis de ter seus resíduos consumidos pela construção civil, apresenta-se a indústria calçadista que se preocupa com a questão ambiental, impulsionada pela necessidade do mercado. Este tipo de indústria viu, nos últimos anos, sua produção aumentar e, conseqüentemente, a ocorrência de sobras não reutilizáveis tornarem-se ainda maiores, em especial os resíduos de E.V.A.

A utilização de resíduos de E.V.A. (Etileno Acetato de Vinyl), resultado da produção de sandálias, na construção civil tem sido objetivo de pesquisas nos últimos anos. Sabe-se que tais resíduos têm grande potencial para serem empregados como agregados leves, em substituição aos agregados naturais, na elaboração de compósitos cimentícios alternativos (MELO; LIMA FILHO, 2009).

3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 CONCRETO LEVE COM E.P.S.

Desenvolvimento experimental conforme estudo do autor CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.

3.1.1 Materiais

- Aglomerante: Cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI).
- Agregado Graúdo: Pedra britada de rocha basalto, zona granulométrica 4,75/12,5mm, massa específica 2,88 g/cm³.
- Agregado Miúdo: Areia lavada média, módulo de finura 2,42 e massa específica 2,66 g/cm³.
- E.P.S.: Tanto as pérolas quanto as partículas de EPS reciclado possuem diâmetro variando de 1,2 a 4,8 mm. Os dois tipos de EPS possuem massas específicas ligeiramente diferentes, o EPS em pérolas possui massa específica de 15,5 kg/m³ e o reciclado 12,3 kg/m³.
- Aditivo Hiperplastificante MasterGlenium 3400 da BASF.
- Água proveniente da rede de abastecimento público. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

3.1.2 Produção

Tabela 4 – Consumo dos materiais para 1m³ dos diferentes concretos estudados

Materiais concretos	Cimento CP V (kg)	Areia média (kg)	Brita (kg)	EPS (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
CR	500	1050	1210	0	200	5
CAP	500	1050	0	6,5	200	5
CAR	500	1050	0	5,2	200	5
CBP	500	864	0	7,7	200	5
CBR	500	864	0	6,0	200	5

CARVALHO C. H. R. ; MOTTA L. A. C., 2019.

- CR: Concreto de Referência;
- CAP: Concreto tipo A, com adição de pérolas de EPS, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CAR: Concreto tipo A, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CBP: Concreto tipo B, com incremento de pérolas de EPS, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita) e ao volume de 70 litros, que representa 17,7% do volume original de agregado miúdo (areia);
- CBR: Concreto tipo B, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita) e ao volume de 70 litros, que representa 17,7% do volume original de agregado miúdo (areia). (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

3.1.3 Ensaios

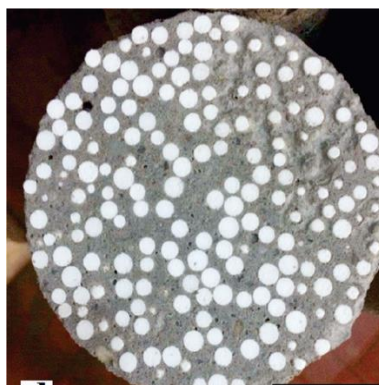
Os concretos no estado fresco após a mistura inicial foram executados os ensaios de consistência pelo abatimento do troco de cone, onde foram feitas avaliações da consistência e o ensaio para a determinação da massa específica no estado fresco, de acordo com as normas ABNT NBR NM 67:1998 e ABNT NBR 9833:2008. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

No entanto, com o concreto no estado endurecido os ensaios foram realizados aos 28 dias com corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada tipo de concreto, curados imersos em água saturada com cal até o dia dos ensaios. Ambos foram ensaiados para determinação da resistência à compressão, e massa específica, segundo as normas ABNT NBR 5739:2007, ABNT NBR 9778:2005 e ABNT NBR 9779:2012. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

Figura 14 – Concreto com E.P.S. reciclado



ANGELIN, A. F., 2014.

Figura 15 – Concreto com pérolas de E.P.S.

ANGELIN, A. F., 2014.

3.1.4 Resultados

Resultados do concreto no estado fresco foi possível contemplar homogeneidade da mistura; ausência de segregação ou de flutuação do E.P.S.; ausência de exsudação na superfície e nas bordas da porção espalhada. Após ser feito o ensaio de abatimento, também foi realizado a avaliação da massa específica, os resultados podem ser observados na Tabela 5. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

Ao adicionar poliestireno expandido no concreto, tanto por meio de pérolas ou reciclado, o abatimento aumenta, o que pode ser explicado devido ao E.P.S. não ser um material higroscópico, ou seja, não absorve água, no qual sobrou mais água livre no sistema aumentando o abatimento. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

Em relação às massas específicas os concretos com E.P.S se mostraram mais leves que o concreto de referência, porém os concretos com E.P.S. em pérolas apresentaram massa específica parcialmente superior às proporções de concreto com E.P.S. reciclado, tal fato pode ser explicado, pois conforme a massa específica do EPS em pérolas é maior que a do E.P.S. reciclado. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

Tabela 5 – Resultados de abatimento e massa específica no estado fresco.

Propriedades do Concreto	Abatimento (mm)	Massa Específica (g/cm ³)
CR	170	2,32
CAP	215	1,74
CAR	220	1,70
CBP	225	1,65
CBR	230	1,59

CARVALHO C. H. R. ; MOTTA L. A. C., 2019.

Com o concreto no estado endurecido, foi executado ensaio de resistência à compressão em que tais resultados das resistências avaliadas encontram-se na Tabela 6. Nota-se que o acréscimo do E.P.S. decresceu a resistência à compressão do concreto, os concretos com E.P.S. reciclado apresentaram uma resistência relativamente menor aos concretos com E.P.S. de pérolas, isso provavelmente deve-se ao fato das pérolas possuir uma estrutura mais rígida que o reciclado, comprovada pela sua maior massa específica. (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

“Os concretos do tipo A (CAP e CAR), apresentaram maior resistência em relação aos concretos do tipo B (CBP e CBR), o que era de se esperar, haja vista os concretos do tipo B apresentam um volume maior de EPS em relação ao tipo A. Os concretos com EPS não atingiram a resistência de 20 MPa, mínima estabelecida pela ABNT NBR 6118:2014 para fins estruturais. No entanto, sabe-se que a solitação máxima à compressão no concreto das residências unifamiliares construídas em paredes de concreto é inferior a 1 MPa. Além disso, deve ser possível dosar um concreto com E.P.S. com resistência de 20 MPa, reduzindo-se o teor de EPS, ou ainda diminuindo a razão de água usada nos traços desenvolvidos já que a inserção de EPS melhorou a fluidez dos concretos no estado fresco.” (CARVALHO C. H. R.; MOTTA L. A. C., 2019.)

Tabela 6 – Valores médios e desvio padrão da resistência à compressão dos concretos estudados.

Propriedade concretos	Resistência à compressão (MPa)
CR	23,16 (0,56)
CAP	15,07 (0,52)
CAR	14,04 (0,46)
CBP	12,88 (0,49)
CBR	11,38 (0,54)

CARVALHO C. H. R. ; MOTTA L. A. C., 2019.

3.2 CONCRETO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA

Desenvolvimento experimental conforme estudo do autor ANGELIN, A. F., 2014.

3.2.1 Materiais

- Aglomerante: Cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI).

- Agregado Graúdo: Pedra britada de rocha basalto. Apresentou massa específica (ABNT NBR 53:2009) de 2,90 kg/dm³ e massa unitária compacta (ABNT NBR 45:2006) de 1,51 kg/dm³. A composição granulométrica desse material foi realizada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 248:2003.
- Agregado Miúdo: A areia utilizada apresentou massa específica (ABNT NBR 52:2009) igual a 2,65 kg/dm³ (Figura 5.10) e massa unitária no estado solto e seco (ABNT NBR 45:2006) igual a 1,52 kg/dm³.
- Argila Expandida: Utilizou-se a argila expandida nacional, fabricada pela empresa CINEXPAN S.A., em duas graduações: CINEXPAN 0500 (D_{máx} = 4,8 mm e Resistência à compressão para esmagamento: 8 a 15 MPa) e CINEXPAN 1506 (D_{máx} = 9,5 mm e Resistência à compressão para esmagamento: < 2 MPa).
- Sílica Ativa: Fornecida pela empresa SILICON Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda., com massa específica (ABNT NBR 23:2001) igual a 2,20 kg/dm³.
- Aditivo Superplastificante do tipo acelerador com elevado efeito redutor de água, classificado como SPA segundo a ABNT NBR 11768:2011, fabricado pela empresa BASF S.A.
- Água proveniente da rede de abastecimento público. (ANGELIN, A. F., 2014.)

3.2.2 Produção

Borja (2001), Bogas *et al.* (2012) e Hubertová *et al.*, 2013, indicam o emprego de sílica ativa (no máximo 10%) em relação a quantidade de cimento introduzido na mistura do concreto, auxiliando a incorporação de pequenas porcentagens de aditivos superplastificantes quem aplicam manutenção da consistência, reduzindo da relação água/cimento. (ANGELIN, A. F., 2014.)

A relação água/cimento foi de 0,4 e teor de argamassa de 65%. Situarão, também, as porcentagens de areia natural e CINEXPAN 0500, com propósito de comparar os traços desenvolvidos. (ANGELIN, A. F., 2014.)

A Tabela 7 apresenta os traços dos concretos obtidos.

Tabela 7 – Dosagem dos Concretos

Traço	Proporcionamento (em massa) <i>C:SA:AG:A:C0500:C1506:SPA</i> ¹	Consumo de cimento (kg/m ³)
T1	<i>1 : 0,1 : 1,6 : 1,28 : 0,23 : 0 : 0,037</i>	520
T2	<i>1 : 0,1 : 1,19 : 1,28 : 0,23 : 0,18 : 0,037</i>	550
T3	<i>1 : 0,1 : 0,8 : 1,28 : 0,23 : 0,37 : 0,019</i>	565
T4	<i>1 : 0,1 : 0,4 : 1,28 : 0,23 : 0,55 : 0,019</i>	575
T5	<i>1 : 0,1 : 0 : 1,28 : 0,23 : 0,74 : 0,019</i>	580

ANGELIN, A. F., 2014.

O processo de mistura do concreto referência foi em betoneira de eixo inclinado primeiramente umedecida, em seguida introduziu-se o agregado graúdo convencional, logo após a água proveniente da rede pública, posteriormente o cimento Portland de alta resistência, seguido da areia e da argila expandida nacional CINEXPAN 0500 e, por último, a sílica ativa. Prontamente houve a mistura dos materiais na betoneira por aproximadamente 5 minutos. Logo após introduziu-se o aditivo superplastificante, ocorrendo uma nova mistura por 3 minutos. (ANGELIN, A. F., 2014.)

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado segundo as prescrições da ABNT NBR 67:1998, por meio do qual pode-se verificar a consistência e plasticidade do concreto fabricado, obtendo uma trabalhabilidade adequada prevista (200^{+/-} 10 mm), e, assim, efetuar a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, além das placas de concreto com 300,5 mm x 300,5 mm de largura e 45 mm de altura. (ANGELIN, A. F., 2014.)

A mistura dos materiais na fabricação dos concretos leves, ocorreu de forma análoga ao utilizado para a confecção do concreto de referência, sendo, a argila expandida CINEXPAN 1506, introduzida após o agregado graúdo e antes da água. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Após a realização do ensaio de consistência (ABNT NBR 67:1998), foi aplicado vibração por imersão (Figura 14), para os corpos-de-prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, com o intuito de evitar a formação de vazios. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Figura 16 – Adensamento mecânico dos corpos-de-prova cilíndricos

ANGELIN, A. F., 2014.

Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24h, submetidos ao procedimento de cura úmida com temperatura de 23°C (+/- 2°C) e umidade relativa do ar acima de 95%. Os corpos-de-prova permaneceram em cura até a realização dos ensaios com 7 ou 28 dias após a moldagem, de acordo com as prescrições da ABNT NBR 5738:2008. (ANGELIN, A. F., 2014.)

3.2.3 Ensaios

Os valores de massa específica no estado endurecido, foram definidos seguindo as prescrições da ABNT NBR 9778:2009, para concretos leves com idade de 28 dias, utilizando-se corpos-de-prova com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura e para cada traço de concreto desenvolvido foram moldados os corpos-de-prova. (ANGELIN, A. F., 2014.)

O ensaio de resistência à compressão dos concretos foi determinado segundo as prescrições da ABNT NBR 5739:2007, utilizando-se corpos-de-prova cilíndricos, com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, nas idades de 7 e 28 dias e foram moldados corpos-de-prova para cada dosagem e idade. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Os valores de resistência à tração por compressão diametral foram determinados segundo as prescrições da ABNT NBR 7222:2011, nas idades de 7 e 28 dias, utilizando-se 3 corpos-de-prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para cada dosagem e idade. (ANGELIN, A. F., 2014.)

3.2.4 Resultados

As análises físicas e mecânicas, foram realizadas no Laboratório de Materiais da Construção Civil da Faculdade de Tecnologia – FT da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

Os laboratórios da possuem equipamentos calibrados anualmente, sendo os mesmos de referência e bem conceituados. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Os valores de massa específica e teor de ar incorporado dos concretos foram determinados segundo as prescrições da ABNT NBR 9833:2009 e são apresentados na Tabela 8. Em comparação ao concreto com agregado convencional, os valores da massa específica no estado fresco houve uma redução de 22% da massa específica nos concretos leves. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Tabela 8 – Propriedades dos concretos leves no estado fresco.

Traço	CINEXPAN 1506 (%)	Índice de consistência (mm)	Consumo de cimento (kg/m³)	Massa específica (kg/m³) ABNT NBR 9833:2009	Teor de ar (%) ABNT NBR 9833:2009
T1	0	190	520	2303	3,00
T2	25	200	550	2289	3,34
T3	50	200	565	2250	3,43
T4	75	210	575	2012	3,44
T5	100	210	580	1788	3,54

ANGELIN, A. F., 2014.

Os valores obtidos de resistência à compressão e massa específica seca dos concretos leves são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência à compressão e massa específica dos concretos leves.

Traço	CINEXPAN 1506 (%)	Resistência à compressão (MPa)		Massa específica (kg/m ³)
		7 dias	28 dias	
T1	0	53	63	2400
T2	25	40	42	2205
T3	50	35	40	2033
T4	75	29	37	1902
T5	100	26	32	1687

ANGELIN, A. F., 2014.

Nos resultados apresentados na Tabela 9, observa-se similaridade entre os valores da resistência à compressão dos concretos leves com idades de 7 e 28 dias, estabelecendo, dessa forma, estabilização dos valores dessa propriedade aos 7 dias. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Também consideramos que a conservação desta do mesmo acontece devido ao uso de adições minerais, como a sílica ativa, utilizada na fabricação das peças de concreto desta pesquisa. Segundo Duan *et al.* (2013), este fato, torna a mistura do concreto mais estável, aumentando, assim, a sua resistência mecânica, conseqüentemente a sua durabilidade. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Os valores de resistência à tração por compressão diametral são apresentados na Tabela 10, no qual apresenta para todos os traços, os valores acima de 2 MPa, valor mínimo exigido pela ABNT NBR 7222:2011. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Tabela 10 – Valores da resistência à tração.

Traço	CINEXPAN 1506 (%)	Resistência à tração (MPa)	
		7 dias	28 dias
T1	0	4	6
T2	25	2,5	4,1
T3	50	2,4	3,8

T4	75	2,3	3,2
T5	100	2,1	3,15

ANGELIN, A. F., 2014.

Determina-se então, um decréscimo de aproximadamente 37%, aos 7 dias, e 32% aos 28 dias, nos valores de resistência à tração por compressão diametral do concreto convencional para os concretos com agregados leves. (ANGELIN, A. F., 2014.)

Figura 17 – Corpos-de-prova após a ruptura por tração diametral.



ANGELIN, A. F., 2014.

3.3 CONCRETO LEVE COM E.V.A.

Desenvolvimento experimental conforme estudo do autor KURTZ, G. C., 2019.

3.3.1 Materiais

- Aglomerante: Cimento Portland CP V-ARI, com especificações da norma brasileira NBR 5733(ABNT,1991).
- Agregado Graúdo: Será utilizado brita basáltica de jazida da região de Alegrete/RS, com diâmetro máximo de 19 mm e módulo de finura de 7,35.
- Agregado Miúdo: A areia utilizada neste estudo é de origem natural. O agregado ensaiado apresentou um módulo de finura de 1,89, caracterizando-se como areia fina.
- E.V.A.: O etileno acetato de vinila (EVA) que será utilizado nessa pesquisa é proveniente da empresa Mundo da Borracha, da cidade de Novo Hamburgo, RS e será utilizado em substituição parcial (nos teores de 60%, 70% e 80%) ao agregado graúdo natural.
- Água proveniente da rede pública de distribuição de água potável do município. (KURTZ, G. C., 2019.)

3.3.2 Produção

O traço em massa foi fixado em 1:7 (cimento: agregados), com a relação água/cimento de 0,69 e consumo de cimento de 274,86 kg/m³. De acordo com a escolha do traço, sabemos que o concreto que será produzido não exercerá função estrutural, somente para enchimento, não sendo necessário um alto consumo de cimento para este fim. Os teores de substituição do EVA por agregado graúdo foram definidos em 60%, 70% e 80%. (KURTZ, G. C., 2019.)

Tabela 11 – Traços utilizados para produção dos concretos

Traço em massa		1	3,08	3,92	0,69
Traços	Cimento (kg)	Areia (kg)	EVA (l)	Brita (kg)	a/c
REF	10	31,44	0	40	0,69
60EVA	10	31,44	17,14	15,39	0,69
70EVA	10	31,44	20,51	12	0,69
80EVA	10	31,44	23,44	8	0,69

KURTZ, G. C., 2019.

- **REF** - concreto de referência (sem EVA);
- **60EVA** - concreto com substituição em volume de 60% do agregado graúdo por EVA;
- **70EVA** - concreto com substituição em volume de 70% do agregado graúdo por EVA;
- **80EVA** - concreto com substituição em volume de 80% do agregado graúdo por EVA.

O preparo dos concretos foi executado em betoneira de eixo inclinado, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015). O cimento, o agregado graúdo, o agregado miúdo natural e a água foram estipulados em massa, enquanto que o agregado graúdo de EVA em volume, utilizando dispositivo dosador. O EVA foi saturado antes da produção dos concretos. Os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova seguiram as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015). (KURTZ, G. C., 2019.)

Através do ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test) foi estabelecido a trabalhabilidade do concreto fresco, conforme as recomendações da NM 67 (ABNT, 1998).

3.3.3 Ensaios

A massa específica foi determinada dividindo-se o valor das massas das amostras por seus respectivos volumes. O ensaio seguiu as prescrições da NBR 9833 (ABNT 1987). As

determinações das massas específicas dos concretos no estado fresco foram obtidas de duas amostras distintas. (KURTZ, G. C., 2019.)

O ensaio para a determinação da resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos seguiu as prescrições da NBR 5739 (ABNT 2007). Nas idades especificadas (7 e 28 dias) os concretos foram retirados da cura, tiveram suas bases retificadas, conforme NBR 5738 (ABNT 2015) e posteriormente foram ensaiados. (KURTZ, G. C., 2019.)

O ensaio para da resistência à tração por compressão diametral em corpos cilíndricos seguiu as prescrições da NBR 7222 (ABNT 1994). Os corpos de prova foram retirados da cura e ensaiados nas idades de 7 e 28 dias. (KURTZ, G. C., 2019.)

3.3.4 Resultados

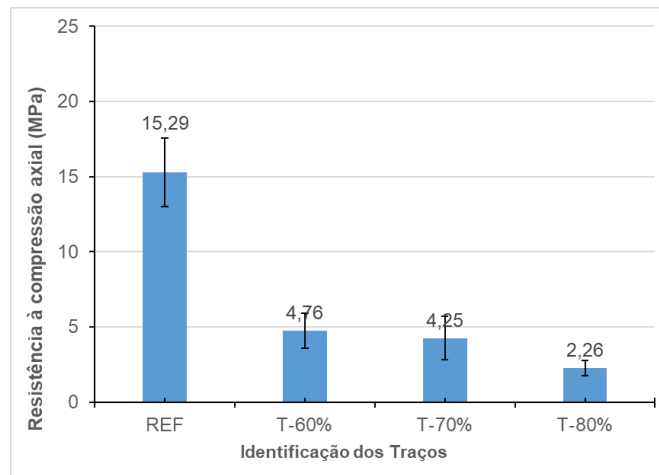
“A massa específica dos concretos no estado fresco (Tabela 12) foi obtida a partir da média de dois corpos-de-prova por tipo de traço, mostrando um decréscimo nos valores de massa específica dos concretos à medida em que o teor de EVA foi aumentado nas misturas. Os resultados se justificam pelo fato de que a adição de EVA no concreto diminuiu sua massa específica, por tratar-se de um agregado leve. Os traços T-60 e T-70 apresentaram uma redução de massa específica de aproximadamente 21% em relação à mistura de referência. Para o traço T-80, essa redução foi de 26%.” (KURTZ, G. C., 2019.)

Tabela 12 – Massa específica dos concretos no estado fresco

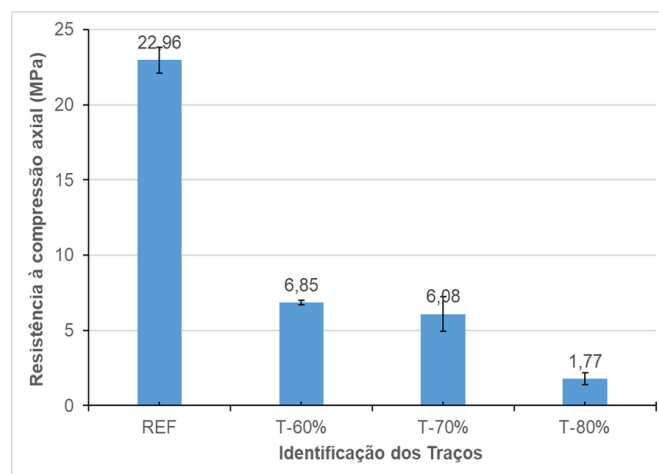
Traço	Massa específica (Kg/m³)
Ref	2388.54
T-60%	1885.35
T-70%	1878.98
T-80%	1773.89

KURTZ, G. C., 2019.

Os resultados de resistência à compressão axial dos concretos investigados para as idades de controle de 7 e 28 dias são apresentados nas Figuras 16 e 17.

Figura 18 – Resistência à compressão axial dos concretos aos 7 dias

KURTZ, G. C., 2019.

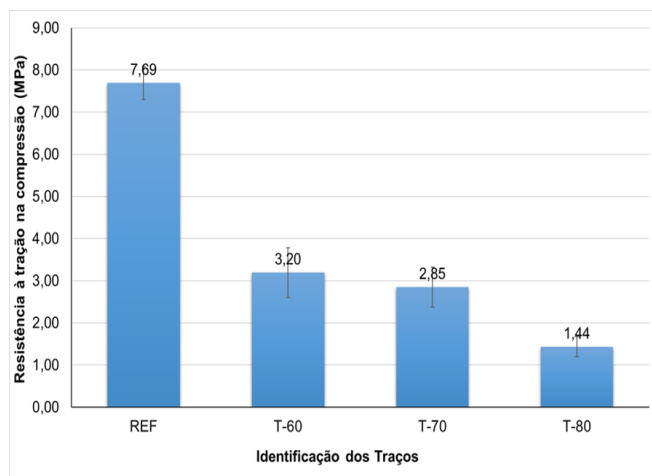
Figura 19 – Resistência à compressão axial dos concretos aos 28 dias

KURTZ, G. C., 2019.

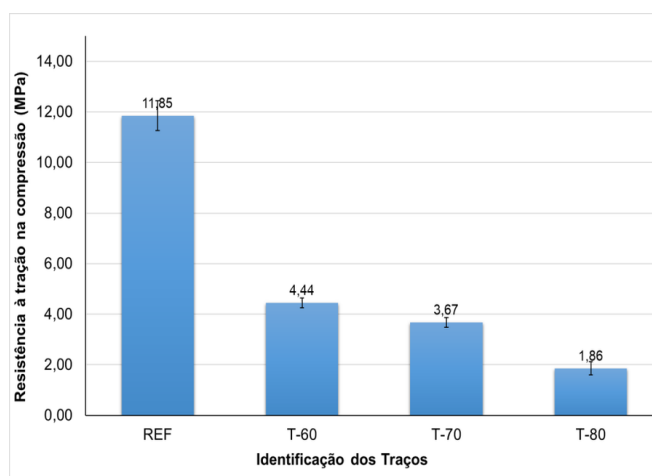
0

“O aumento do teor de E.V.A. nos traços teve como consequência uma redução da resistência à compressão axial dos concretos, tanto aos 7, quanto aos 28 dias (Figuras 8 e 9). Tomando como base o traço de referência, observa-se que a redução da resistência dos concretos com E.V.A., aos 28 dias, foi de 70%, 73% e 90%, respectivamente para os traços T-60, T-70 e T-80. As Figuras 8 e 9 também mostram que não houve um ganho expressivo de resistência dos concretos com EVA dos 7 para os 28 dias. O aumento de resistência para os traços T-60 e T-70 foi de aproximadamente 30%. Para o traço T-80 o crescimento da resistência girou em torno de 24%. Entre os traços com adição de EVA, o traço com teor de substituição igual a 60% foi o que apresentou melhor desempenho mecânico.” (KURTZ, G. C., 2019.)

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral dos concretos nas idades de controle de 7 e 28 dias, são apresentados nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 7 dias

KURTZ, G. C., 2019.

Figura 21 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias.

KURTZ, G. C., 2019.

Congênere aos resultados da resistência à compressão axial, traços promoveu um decréscimo na resistência à tração por compressão diametral dos concretos devido ao aumento do teor de E.V.A. tanto aos 7 quanto aos 28 dias, não adquirindo um ganho expressivo de resistência com E.V.A. dos 7 para os 28 dias, no qual para os traços T-60 e T-70 foi de aproximadamente

39%. Para o traço T-80 o crescimento da resistência ficou em torno de 28%. (KURTZ, G. C., 2019.)

3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O concreto leve obteve uma queda formidável nos testes de resistência à compressão e

tração quando foram submetidos à substituição do agregado graúdo basáltico por E.P.S. reciclado ou em pérolas e também pelo E.V.A., deste modo então, não atingiram a resistência mínima estabelecida pela ABNT NBR 6118:2014 de 20 MPa para fins estruturais. Sugere-se o uso de concretos produzidos com adição de E.P.S. e E.V.A. como concretos de preenchimento para fins não estruturais.

Logo, o concreto com adição de argila expandida obteve um excelente desempenho nas propriedades mecânicas, mantendo sua resistência mínima exigida pela norma. Dessa forma, recomenda-se sua aplicação em elementos de vedação ou em elementos estruturais, como lajes alveolares e painéis de concreto, proporcionando fabricação de peças mais leves sem comprometer a função estrutural.

4 CONCLUSÃO

Os concretos leves são caracterizados pelo seu peso específico reduzido e eminente capacidade de isolamento térmico e acústico. Como já mencionado, os concretos normais têm sua densidade que pode variar entre 2300 e 2500 kg/m³, enquanto os leves ficam próximas a 500 kg/m³, afetando diretamente a sua resistência. Já os concretos leves estruturais aplicando argila expandida como agregado graúdo obtém densidade em média de 1.600 a 1800 kg/m³, e têm como principal finalidade a redução do peso da estrutura mantendo as características de resistência à compressão.

Podemos afirmar que ao diminuir a carga estrutural de uma obra fazendo o uso do concreto leve, conseguimos também reduzir os custos com a fundação. Além disso, é realizável obras com maior extensão como pontes, lajes, coberturas e elementos flutuantes, pela facilidade de vencer grandes vãos. Outra vantagem é que tais agregados no concreto promovem desempenho térmico maior que o do concreto comum, dado que suas misturas têm baixa condutividade de calor. Condição excelente para edificações na nossa região e em locais que sofrem com variações de temperatura, como as regiões ao sul ou ao norte do Brasil, preservando a temperatura em dias frios ou quentes. Além do mais, possui um grande desempenho com isolamento acústico do ambiente.

Por outro lado, o concreto leve apresenta alguns pontos negativos além da menor resistência à compressão, como o alto custo diante sua oferta ainda ser baixa ao comparado com concreto convencional e pelo processo de fabricação, que costuma ser muito trabalhoso e lento. Também contém como desvantagem a dificuldade de bombear para grandes alturas, gerando restrições no quesito; e contém menor proteção à armadura de aço.

Como vimos anteriormente, alguns tipos de concreto leve não são indicados para a construção de estruturas grandes. Isso porque os agregados adicionados a algumas dessas massas tornam o concreto menos resistente e não são capazes de oferecer a proteção necessária para as armaduras de aço.

Perante os resultados obtidos nos testes realizados, pode-se comprovar que o concreto leve apresenta uma resistência à compressão menor do que o concreto convencional, podendo melhorar essa característica com algumas sugestões como redução do fator água/cimento, redução do agregado graúdo, ou utilização de aditivos com essa finalidade.

Espera-se também que este trabalho tenha contribuído para a procura de construções sustentáveis, viabilizando a utilização dos resíduos de E.P.S. e E.V.A. em concretos e encontrando uma alternativa para minimizar o impacto ambiental causado pelos mesmos.

5 BIBLIOGRAFIAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **O EPS na Construção Civil: Características do poliestireno expandido para utilização em edificações**. São Paulo, set. 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Agregados para a Construção Civil**. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais/view>>. Acesso em: 01 out. 2019.

ALBRECHT, H. **Concretos leves**. Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1968. 11p;

ALBUQUERQUE, A. S. “Agregados”. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for structural lightweight aggregate concrete**. ACI 213R-03. USA, 1999.

ANGELIN, Andressa F. **Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2014.

ANTAC. **Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil**. Anais do workshop. USP, São Paulo, 1996;

ARMELIN, H.S.; Lima, M.G.; Selmo, S.M.S. **Alta resistência com argila expandida**. Revista Ibracon, n09, p.42-47, 1994.

ARNOULD, Marcel; VIRLOGEUX, M. A. M. ., et al.. **Granulats et bétons légers**, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10342: **Concreto — Perda de abatimento — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12821: **Preparação de concreto em laboratório - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho**

térmico de edificações – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 23: **Agregados - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 35: **Agregados leves para concreto estrutural**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45: **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 52: **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 65: **Cimento Portland - Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 67: **Concreto – Ensaio de abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 68: **Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Concreto – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Concreto – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 7215: **Concreto – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12655 - **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5739 – **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5735 – **Cimento Portland de Alto Forno**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8953 – **Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 1992. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9778 – **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7212 – **Execução de concreto dosado em central** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12094 – Determinação da condutividade térmica** – Método de ensaio. 1991.

BREMNER, T.W. **Concreto de agregado leve**. Revista Técnica, n37, p.45-47, 1998.

CARVALHO, C. H. R. MOTTA, L.A.C. **Estudo de Concreto com Poliestireno Expandido Reciclado**. Dissertação - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

CHEN, H.-J.. **Evaluating elastic modulus of lightweight aggregate**, 2003.
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 307 – Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. 2002.

CINEXPAN. **Concreto leve estrutural**. Disponível em: <<https://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>>. Acesso em: 28 out. 2019.

CUI, H. Z.. **Mechanical properties of lightweight aggregate concrete—effect of lightweight aggregate on the concrete**. Ph.D. thesis, City University of Hong Kong, 2007.

DE LA PRÉCONTRAÎNTE, F. I. **FIP Manual of lightweight aggregate concrete**. Surrey University Press, 1983.

DUAN, P.; Shui, Z.; Chen, W.; Shen, C. **Efficiency of mineral admixtures in concrete: Microstructure, compressive strength and stability of hydrate phases**. Applied Clay Science, p.115-121, 2013.

DUPLAN, F ; ABOU-CHAKRA, A. . T. A. . E. G. ., et al. **Prediction of modulus of elasticity based on micromechanics theory and application to low-strength mortars**. Construction and Building Materials, 2014.

EVANGELISTA, A.C.J.; SHEHATA, L.C.D.; ALMEIDA, I.R. **Características mecânicas de concretos leves de alta resistência com argila expandida, produzidos no Brasil**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES. Florianópolis, p. 170-189, 1996.

FILHO, Rômulo S. Polari; MELO, Aluísio B. de; FEITOZA, Maíra M.; FILHO, Marçal

Rosas F. L. **Avaliação de desempenho mecânico de blocos de E.V.A. – Uma alternativa às alvenarias das construções**. XI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; A construção do futuro. Florianópolis, agosto de 2006.

FROTA, A.B.; Schiffer, S.R. **Manual do conforto térmico**. 8ª Edição, Editora Studio Nobel, 2009.

GARLET, Givanildo. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Curso de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre, 1998. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/118243/000226272.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 abril 2020.

GOMMERS, Bart ; VERPOEST, I . V. H. P.. **The mori–tanaka method applied to textile composite materials**. Acta Materialia, 1998.

HELENA, Maiko S. **Estudo para aplicação de poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil)–Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

HOLM, T. A.; Bremner, T. W. **High performance concrete: properties and applications**. Inglaterra, McGraw-Hill, 1994.

ILDEFONSO, Jesner Sereni. **Análise da viabilidade técnica da utilização do copolímero etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (processo seco)**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

KE, Y ; ORTOLA, S. . B. A. . D. H., et al.. **Identification of microstructural characteristics in lightweight aggregate concretes by micromechanical modelling including the interfacial transition zone (itz)**. Cement and Concrete Research, 2010.

KURTZ, Gabriella C. **Estudo de Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concretos com EVA**. Dissertação - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2019.

LIMA, Caio I. V. et al. **Concreto e suas Inovações**. Ciências Exatas e Tecnológicas. Maceió, 2014.

MARQUES, M. A. et al. **Análise através de de imagens de raio-x da incorporação de resíduos de EVA em Cimento Portland**. In: 56 ° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CERÂMICA e IX BRASILIAN

SYMPOSIUM ON GLASS AND RELATED MATERIALS, 2012, Curitiba. Anais. Curitiba: Associação Brasileira de Cerâmica, 2012. p. 2227 – 2238.

MELO, Aluísio Braz; LIMA FILHO, Marçal Rosas Florentino. **Avaliação de desempenho estrutural de protótipos com paredes construídas com blocos EVA**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p.141-155, out. 2009. Trimestral.

MONTENEGRO, Ricardo S. P.; SERFATY, Moysés E. **Aspectos gerais do poliestireno**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n. 16. p. 123-136, set. 2002. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1606.pdf>. Acesso em: 04 abril 2020.

NILSEN, A. U., Monteiro, P. J., Gjorv, O. E.. **Estimation of the elastic moduli of lightweight aggregate**. Cement and Concrete Research 25 (2), 276–280, 1995.

OLIVEIRA, Livia Souza de. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, Minas Gerais, 2013.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO Cassiane D.; SANTOS Sandro P.; CATOIA Thiago; CAOIA Bruna. **Estruturas de Concreto – Capítulo 2**, 2010.

REVISTA PAPO BACANA. **Isopor na construção: uma opção super econômica para sua construção**. Disponível em: <<http://www.revistapapobacana.com.br/t/construcao/isopor-na-construcao-uma-opcao-super-economica-para-sua-construcao>>. Acesso em: 04 abril 2020.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. -Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo, PINI, 2009.

ROSSIGNOLO, J.A. **Módulo de deformação do concreto leve estrutural de alto desempenho**. Revista Minerva, v.2, p.99-106, 2005.

ROSSIGNOLO, J. A.; FERRARI, C. **Desenvolvimento de concreto leve para execução de habitações de interesse social: sistema construtivo de painéis monolíticos moldados in loco**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO - QIC2006. Anais. . . Lisboa, v.2. p.827-37, 2006.

SACHT, H. M.; Rossignolo, J. A.; Santos, W. N. **A influência do teor de argila expandida na condutividade térmica do concreto leve**. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto,

Bento Gonçalves, v.1, p.1-10, 2007.

SANTIAGO, E.Q.R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para a obtenção de concretos leves**. Dissertação - Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Estadual de Feira de Santana - Departamento de Tecnologia. Bahia, 2008.

STONE, D ; LAFONTAINE, W. . A. P. ., et al.. **An investigation of hardness and adhesion of sputter-deposited aluminum on silicon by utilizing a continuous indentation test**. Journal of Materials Research, 1988.

ZATTERA, Ademir J.; BIANCHI, Otávio; ZENI, Mara; FERREIRA, Carlos A. **Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila – EVA**. Artigo técnico científico; Polímeros vol.15 no.1; Scielo. São Carlos 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282005000100016>. Acesso em: 07 abril 2020.