

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALINE BACARINI

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS E EVA COMO
AGREGADOS EM CONCRETO LEVE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2019

ALINE BACARINI

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS E EVA COMO
AGREGADOS EM CONCRETO LEVE**

Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de "Bacharel em Engenharia Ambiental".

Orientador: Prof. Dr. Thiago Morais de Castro

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INTITULADO

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS E EVA COMO AGREGADOS EM
CONCRETO LEVE**

**DA DISCENTE
ALINE BACARINI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 20 de novembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. A discente foi arguida pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eudes José Arantes

Avaliador(a) 1

UTFPR

Tecg. Constr. Civ. Fábio Rodrigo Kruger

Avaliador 2

UTFPR

Profª. Drª. Paula Cristina de Souza

Co-Orientadora

UTFPR

Prof. Dr. Thiago Morais de Castro

Orientador

UTFPR

O termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por tudo!

Agradeço aos meus pais, Marlene e Antonio e ao meu irmão Renan, que sempre me incentivaram e apoiaram em toda minha vida e que nunca mediram esforços para me proporcionar o melhor.

Ao meu namorado João, que me inspirou, deu todo apoio, compreensão e me transmitiu tranquilidade durante a caminhada até aqui.

À minhas amigas pelas palavras de incentivo e companheirismo.

A todos os professores que contribuíram para meu crescimento, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Morais de Castro por todos os ensinamentos, contribuições, confiança e paciência. A minha co-orientadora Prof^a. Dr^a Paula Cristina de Souza e a banca avaliadora, Prof. Dr. Eudes José Arantes e Tecg. Constr. Civ. Fábio Rodrigo Kruger, por todas as sugestões, contribuições e ajuda em toda a realização do trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo auxílio concedido para a execução do trabalho por meio do Edital 1/2019 - PROREC/PROGRAD referente ao apoio à execução de trabalhos de conclusão de cursos.

E a todos que de alguma forma colaboraram para a realização desse trabalho.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS E EVA COMO AGREGADOS EM CONCRETO LEVE

RESUMO

A destinação final de resíduos sólidos é considerada um desafio mundial e os resíduos de Poliestireno Expandido (EPS) e Etileno Acetato de Vinila (EVA) demandam preocupação quanto ao seu gerenciamento. Eles possuem boas características para serem utilizados na construção civil, sabendo disso, o presente estudo avaliou o aproveitamento de resíduos de EPS e EVA como agregado na fabricação de concreto leve. Foram fabricados corpos de prova de concretos leves com adição de 60% e 70% de EPS e EVA em relação ao agregado graúdo e realizados ensaios de absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência a compressão. Os resultados dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica estão de acordo com o exigido nas normativas, estes apontaram que o concreto leve com adição de 60% e 70% de EPS e EVA podem ser utilizados para fabricação de blocos de concretos leves e serem utilizados para vedação e execução de paredes. Para o teste de resistência a compressão, os corpos de prova com adição de 60% de EPS foram os que obtiveram resultados mais satisfatórios, chegando a aproximadamente 5 MPa, os demais traços obtiveram resistência de em média 3,35 MPa. Com base em todos os resultados obtidos, os concretos leves com adição de 60% e 70% de EPS e EVA podem ser utilizados para fins não estruturais na construção civil, sendo para vedação, isolamento térmico e acústico, enchimento de lajes e contrapisos e em elementos pré-moldados não portadores de carga.

Palavras-chave: Economia Circular; Etileno Acetato de Vinila; Poliestireno Expandido.

HARNESSING EPS AND EVA WASTE AS AGGREGATED IN LIGHTWIEGHT CONCRETE

ABSTRACT

The final disposal of solid waste is considered a worldwide challenge and the Expanded Polystyrene (EPS) and Ethylene Vinyl Acetate (EVA) residues demand concern regarding their management. They have good characteristics to be used in construction, knowing this, the present study evaluated the use of EPS and EVA residues as an aggregate in the manufacture of lightweight concrete. Light concrete specimens with 60% and 70% EPS and EVA addition to coarse aggregate were fabricated and water absorption, voids index, specific mass and compressive strength tests were performed. The results of the water absorption, voids index and specific mass tests are in accordance with the requirements of the regulations, which showed that the lightweight concrete with the addition of 60% and 70% EPS and EVA can be used for the manufacture of blocks. lightweight concrete and be used for wall sealing and execution. For the compressive strength test, the specimens with the addition of 60% EPS were the ones that obtained the most satisfactory results, reaching approximately 5 MPa, the other traces obtained resistance of an average of 3,35 MPa. Based on all the results obtained, lightweight concretes with 60% and 70% addition of EPS and EVA can be used for non-structural purposes in civil construction, being for sealing, thermal and acoustic insulation, filling of slabs and subfloors and in non-load precast elements.

Keywords: Circular Economy; Ethylene Vinyl Acetate; Expanded Polystyrene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da metodologia da confecção e ensaios realizados nos corpos de prova de concreto convencional e leve.	19
Figura 2 – Preparo dos resíduos de EPS e EVA para o cálculo de suas massas específicas aparentes.	20
Figura 3 - Agitador de peneiras utilizadas para a realização do procedimento de determinação granulométrica.	21
Figura 4 – Imagem fotográfica demonstrativa do preparo do concreto sendo realizado na betoneira.	22
Figura 5 – a) Sete corpos de prova de concreto convencional e 14 corpos de prova de concreto leve com adição de EPS. b) 14 corpos de prova de concreto leve com adição de EVA.	24
Figura 6- Imagem fotográfica representativa do ensaio de consistência realizado nas argamassas de concreto convencional e com adição de porcentagens de 60% e 70% de EPS e EVA.	25
Figura 7 - Corpos de prova levados à estufa por 72h.	26
Figura 8 - Corpos de prova imersos em água por 72h.	27
Figura 9 - Corpos de prova sendo pesados imersos em água na balança hidrostática.	28
Figura 10 – Imagem fotográfica representativa da realização do teste de resistência a compressão.	29
Figura 11 - Resultado gráfico do teste de consistência dos concretos.	30
Figura 12 - Corpos de provas com agregado de EPS e EVA cortados verticalmente para análise de flutuação dos agregados.	31
Figura 13 - Porcentagem de absorção de água dos corpos de prova em 24h, 48h e 72h.	32
Figura 14 - Porcentagem de índice de vazios dos corpos de prova em 24h, 48h e 72h.	33
Figura 15 - Resultado gráfico do teste de resistência a compressão.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria dos agregados de EPS e EVA.....	21
Tabela 2 - Composição dos corpos de prova.....	22
Tabela 3 - Expressões matemáticas.	28
Tabela 4 - Massa específica seca dos corpos de prova.	34
Tabela 5 - Média e desvio padrão do teste de resistência a compressão.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.2 Justificativa	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Poliestireno Expandido (EPS)	14
2.2 Etileno Acetato de Vinila (EVA)	15
2.3 Economia Circular	16
2.4 Concreto Leve	17
2.5 Agregado Leve	17
3 METODOLOGIA	19
3.1 Caracterização dos Agregados	20
3.2 Mistura	22
3.3 Moldagem e Cura	23
3.4 Ensaios	24
3.4.1 Consistência	24
3.4.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica	25
3.4.3 Resistência a compressão	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Consistência	30
4.2 Absorção de Água, Índice de vazios e Massa específica	32
4.3 Resistência a Compressão	34
4.4 Edital 1/2019 - PROREC/PROGRAD Apoio à Execução de Trabalhos de Conclusão de Cursos – TCC	36
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A destinação final dos resíduos sólidos é considerada um desafio mundial, pois está diretamente relacionada ao crescimento populacional e ao comportamento referente ao consumo, assim, são necessárias a adoção e a busca constante de práticas sustentáveis (TESSARI, 2006).

A produção mundial de Poliestireno Expandido - EPS (isopor®) chega a aproximadamente 2 milhões de toneladas/ano, sua maior aplicação está no ramo de embalagens (50%), seguido da construção civil (30%) e utilidades domésticas (15%) (GROTE; SILVEIRA, 2001). Este material causa problemas em relação a armazenamento e descarte, parte desses resíduos é disposta em aterros sanitários, método de disposição final adequado, porém sua compactação é dificultada devido ao seu formato, volume e baixa densidade, além de demorar aproximadamente 50 anos para se decompor naturalmente (TESSARI, 2006; AMBROSI, 2009).

Quando mal gerenciados, estes materiais podem ser dispostos irregularmente em lixões, que como declarado por Santos e Rigotto (2009), representa a maneira mais primitiva de destinação de resíduos sólidos, sem contar outras maneiras irregulares de descarte como terrenos baldios, fundos de vale, etc., e estas práticas irregulares causam poluição do ar, do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido a degradação da matéria orgânica e a liberação de chorume, causam também poluição visual e apresentam vetores de doenças transmitidos a população por animais, insetos, bactérias, fungos, etc.

Outro resíduo que demanda preocupação em relação ao gerenciamento, especialmente a destinação final, é o copolímero de etileno acetato de vinila, conhecido pela sigla EVA. Estes materiais são geralmente usados em embalagens, vestuário, construção civil, e em grande quantidade pelas indústrias de calçados, onde são reaproveitados apenas 20% no próprio processo de produção devido às limitações de suas características físicas, pois por serem termofixos, não podem ser reintroduzidos no processo de produção, pois eles se decompõem a certas temperaturas o que os impossibilitam de serem remoldados (GARLET, 1998; GUIMARÃES, 2017).

Visando dar novo ciclo de uso para os resíduos, a economia circular vem sendo realizada para reduzir, reutilizar, recuperar e reciclar materiais e energia, buscando assim o desenvolvimento de produtos inovadores, viáveis e

ecologicamente eficientes (AZEVEDO, 2015; MONTEIRO, 2017). Um dos princípios da economia circular é regido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que dispõe sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, além da destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Diante deste cenário, conforme destacado por Tessari (2006), profissionais de diversas áreas possuem o desafio de projetar e executar edificações com condições habitáveis melhores, assim como desenvolver tecnologias ambientalmente eficientes e seguras para a reciclagem de resíduos, com qualidade técnica e economicamente viável, além disso, a fiscalização de órgãos de controle ambiental, regidos pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), se torna cada vez mais frequentes, dessa forma, empresas buscam por alternativas ecotécnicas para resolverem os problemas de impactos ambientais (SOARES, 2007 apud GUIMARÃES; ANDRADE, 2017).

Em materiais utilizados na construção civil é possível reaproveitar diversos tipos de resíduos, por exemplo, o EPS, onde suas características isolantes, leveza, resistência e facilidade de manuseio são particularidades aproveitáveis para a construção civil atualmente (TESSARI, 2006), e também o EVA que é um material com boas perspectivas de incorporação em produtos à base de compósitos cimenteiros utilizáveis na construção civil (MELO; LIMA FILHO, 2009).

Diante do contexto destacado e visando valorizar resíduos sólidos de EPS e EVA, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o aproveitamento dos mesmos como agregado na fabricação de concreto leve.

1.1 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o aproveitamento de resíduos de Poliestireno Expandido (EPS) e Etileno Acetato de Vinila (EVA) como agregados na produção de concreto leve.

Para cumprir com o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- I. Coletar e preparar os resíduos de EPS e EVA;
- II. Produzir corpos de prova de concreto leve incorporando resíduos de EPS como agregado;

- III. Produzir corpos de prova de concreto leve incorporando resíduos de EVA como agregado;
- IV. Realizar os seguintes ensaios nos corpos de prova produzidos:
 - Consistência;
 - Absorção de água;
 - Índice de vazios;
 - Massa específica;
 - Resistência à compressão;

1.2 Justificativa

O consumo de poliestireno expandido (EPS) e etileno acetato de vinila (EVA) vem crescendo nos últimos anos, chegando a aproximadamente 2 milhões de ton.ano⁻¹ para o EPS e 45.780 ton.ano⁻¹ para o EVA (GROTE; SILVEIRA, 2001; ZATTERA et al., 2005). Quando estes resíduos são descartados em aterros sanitários, mesmo sendo uma obra segura tecnicamente, causam grandes problemas ao meio ambiente, pois, além de ocuparem grande volume, necessitando assim de grande espaço físico para ser dispostos, o EPS, por exemplo, é de difícil compactação e interfere até mesmo na decomposição de outros materiais, assim como o EVA que pode causar combustão quando descartado a céu aberto (GARLET, 1998; TESSARI, 2006; AMBROSI, 2009).

Existem poucas empresas no Brasil que realizam algum tipo de reciclagem ou reutilização de EPS e EVA, são aproximadamente seis para cada material (MICHELS, 2019). Portanto, o estudo busca apresentar uma alternativa para a problemática exposta, trazendo um método de reutilização satisfatório tanto para o problema ambiental, gerando a economia circular, quanto para atender a necessidade da construção civil, que busca cada vez mais por tecnologias ambientalmente eficientes e seguras, além do mais, os resíduos de EPS e EVA possuem características físicas como baixa massa específica e isolantes que são favoráveis para serem utilizados na construção civil, principalmente como agregado leve (MELO; LIMA FILHO, 2009; RODRIGUES, 2012).

Outro ponto importante de ser mencionado é que as empresas pagam para estes materiais serem retirados de suas estruturas, isto porque a coleta, transporte e destinação desses resíduos devem ser realizada por empresas licenciadas, isto está

disposto na Resolução CONAMA nº 237 (BRASIL, 1997) e tais empresas devem seguir normas para que este processo seja realizado de forma segura, dessa maneira a possibilidade de reutilizar os resíduos de EPS e EVA em seus próprios processos construtivos acarretaria na diminuição de suas despesas em modo geral.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Poliestireno Expandido (EPS)

Poliestireno Expandido tem como sigla internacional EPS e é popularmente conhecido como Isopor[®], nome registrado da marca Knauf Isopor Ltda, é composto por 98% de ar, e tem como base o petróleo, que corresponde a 2% do produto final (ISOPOR[®], 2016). Segundo Tessari (2006), para se obter o poliestireno expandido se adiciona na fase de polimerização um elemento expansivo, geralmente o pentano, são adicionados também outros aditivos que melhoram as propriedades do poliestireno, como sua resistência ao fogo, resultando então em um material sob forma granulada.

Desde aproximadamente 50 anos atrás, o EPS vem sendo aplicado de várias maneiras, desde a agricultura até a construção civil, passando pela indústria de embalagens e de eletrônicos, alimentos e bebidas, fármacos, utilitários e decorativos (CHAGAS; BERRETTA-HURTADO; GOUVÊA, 2011; RODRIGUES, 2012). Para Grote e Silveira (2001), no Brasil o segmento de maior consumo de EPS é o de embalagens (50%), seguido da construção civil (30%) e utilidades domésticas (15%).

O EPS é um dos materiais mais problemáticos para armazenamento e/ou descarte, isso porque é o que mais ocupa volume, e quando descartados em locais inadequados, demoram muitos anos para se degradar (≈ 50 anos), sendo considerado então, um material não biodegradável. A maior parte desses resíduos é disposta em aterros sanitários, o que dificulta sua compactação devido ao seu volume, afetando também a decomposição dos materiais degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que prejudicam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica (TESSARI, 2006; AMBROSI, 2009).

A reciclagem do EPS pode se dar de diversas maneiras, como: os rejeitos podem ser processados para serem moldados novamente em forma de blocos e/ou peças para embalagens; ser reutilizados na construção civil; podem até gerar energia elétrica ou calorífica por combustão direta; dentre outros (GROTE; SILVEIRA, 2001; CHAGAS; BERRETTA-HURTADO; GOUVÊA, 2011). Entretanto, é na construção civil que o EPS vem se destacando, isso pela adaptação de suas propriedades às necessidades das obras, por suas características de isolante

térmico, ou por seu baixo peso específico aliado a alta resistência, por exemplo (RODRIGUES, 2012).

2.2 Etileno Acetato de Vinila (EVA)

O EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) é um copolímero formado pelo encadeamento de sequências aleatórias de unidades repetitivas da polimerização, via radicais livres, do etileno e acetato de vinila em reatores de alta pressão, é sua alta homogeneidade na concentração de acetato de vinila que assegura estabilidade no processamento, o que garante qualidade ao produto final (GARLET, 1998; DE OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Ainda de acordo com Garlet (1998), as principais características do EVA são: flexibilidade e tenacidade; elasticidade similar à da borracha; grande resistência às quebras sob tensões; atóxico; ótima transparência; facilmente moldável; baixo preço; material termofixo. Suas aplicações mais comuns são em embalagens (alimentos líquidos e congelados, tubos compressíveis); vestuário (aventais, revestimento de fraldas); calçados (solados, entressolas e palmilhas); medicina (luvas cirúrgicas, dosadores); comunicação e eletricidade (fios flexíveis, revestimentos de cabos); construção civil (painéis para forro de teto e pisos industriais); entre outros.

Estudos realizados pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico mostra o crescente consumo do EVA, que em 1985 era de 8.142 ton.ano⁻¹, passando para 39.103 ton.ano⁻¹ em 1999 e 45.780 ton.ano⁻¹ em 2003 (ZATTERA *et al.*, 2005). Na indústria dos calçados, o destino dos resíduos tem sido alimentar os fornos de indústrias de cimento, apesar de o material ter potencial para ser reciclado como agregado leve para a produção de compósitos aproveitáveis na construção civil (MELO; LIMA FILHO, 2009). No Brasil, a região sul é a que tem maior produção de calçados, e conseqüentemente, a que mais gera resíduos deste material (200 toneladas por mês em 2001), dessa forma, a reciclagem do resíduo de EVA se torna uma alternativa extremamente necessária (ZATTERA *et al.*, 2005; MELO; LIMA FILHO, 2009).

Os resíduos de EVA não são biodegradáveis, causando acúmulo em aterros, e por ser um polímero termofixo e termorrígido não podem ser reprocessados, pois, se decompõem pelo reaquecimento, seu armazenamento ou deposição a céu aberto provoca problemas que vão desde a poluição visual até a possibilidade de

propagação de insetos e também de combustão deste material (GARLET, 1998; ANDRADE *et al.*, 2012).

2.3 Economia Circular

A economia circular possibilita o desenvolvimento de novos produtos de ciclos múltiplos de uso, ela abrange a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia, ultrapassando ações de gestão de resíduos e de reciclagem, gerando novos fluxos de bens, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais e minimizando a produção de resíduos, desenvolvendo produtos inovadores e serviços economicamente viáveis e ecologicamente eficientes (AZEVEDO, 2015; LEITÃO, 2015; MONTEIRO, 2017).

Para Azevedo (2015), a economia circular é dividida em quatro princípios: criação de modelos de negócios que agreguem valor ao produto manufaturado; criação de produtos de múltiplas utilidades; desenvolvimento de uma logística reversa que mantenha a qualidade e o custo de forma equilibrada; e coordenação dos atores dentro e entre as cadeias de suprimento para criar escala e identificar usos de maior valor.

O desenvolvimento da logística reversa da economia circular é estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que dispõe sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, sendo de responsabilidade dos fabricantes, distribuidores, comerciantes e consumidores o manejo e a restituição dos resíduos sólidos em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Em contato com o responsável pela área de sustentabilidade da empresa Termotécnica (MICHELS, 2019), que realiza a reciclagem no EPS em várias vertentes: agronegócio, frios, construção civil, logística, embalagens e componentes, foi afirmado que existem apenas seis recicladoras que fazem o processo de reciclagem do EPS em todo o território nacional, e empresas que realizam o aproveitamento em seu processo de produção existe um grande número, estas normalmente possuem apenas um moinho triturador onde internamente reaproveitam um percentual de embalagens pós consumo de EPS, porém este tipo de reaproveitamento é eventual, depende da demanda.

Em levantamento realizado na internet, foram encontradas seis empresas que realizam algum tipo de reciclagem ou reuso de EVA. De acordo com estudo realizado por Prestes (2013), poucas indústrias realizam o reaproveitamento do EVA, e quando o faz é em um volume bem menor do que o resíduo gerado (no máximo 40%).

2.4 Concreto Leve

A NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a, p.3 e p.4) - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, define o concreto leve como “concreto com massa específica seca, determinada de acordo com a ABNT NBR 9778, inferior a 2000 kg/m³” e agregado leve como “agregado de baixa massa específica (≤ 2000 kg/m³), como, por exemplo, os agregados expandidos de argila, escória siderúrgica, vermiculita, ardósia, resíduos de esgoto sinterizado e outros”.

Os concretos leves são distinguidos dos convencionais em virtude da redução significativa da massa específica (abaixo de 2000 kg/m³), no entanto, existem outras alterações relevantes nas propriedades do concreto leve, como a utilização de agregados leves, que alteram sua trabalhabilidade, resistência mecânica e módulo de deformação (elasticidade), assim como a redução da condutividade térmica e da espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento (ANGELIN, 2014). Para Tessari (2006), o concreto leve com resíduos de EPS consiste na substituição total ou parcial dos agregados tradicionais (brita nº 0) por grânulos de EPS, isto vale também para o EVA.

2.5 Agregado Leve

Como já mencionado, os resíduos de EPS e EVA possuem características favoráveis para serem utilizados na construção civil, principalmente como agregado leve, pois possuem massa específica inferiores a 2000 kg/m³. E como citado por Garlet (1998), o EPS é o agregado leve que possui propriedades físicas e mecânicas que mais se aproximam às do agregado de EVA, embora a massa unitária do EPS seja inferior à do EVA (12 a 25 kg/m³ e 100 a 107 kg/m³,

respectivamente), fatores como a elasticidade e resiliência do grão destes agregados são o que os diferenciam dos demais agregados leves.

Outros compostos podem realizar essa função de agregado leve, substituindo os agregados miúdos e graúdos (areia e brita) do concreto convencional, como por exemplo, a vermiculita e a argila expandida.

A vermiculita é um grupo de minerais micáceos constituído por, em média, dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, com ferro e outros elementos. Na construção civil ela é utilizada na forma expandida, onde o mineral é aquecido em elevadas temperaturas, transformando as partículas de água presentes que estão intercaladas entre as camadas de alumínio e silício em correntes de ar quente, aumentando assim o volume do mineral (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

O uso da vermiculita depende de sua granulometria e pureza, na construção civil, por exemplo, são utilizadas as de granulometria mais fina, substituindo então o agregado miúdo. Por possuir características como baixa condutividade térmica, pequena propagação sonora e alta resistência ao fogo, quando utilizada como agregado leve em argamassa para revestimento, blocos de vedação e painéis de concreto, torna o ambiente interno mais confortável termicamente (XAVIER, 2018).

De acordo com Moravia et al. (2006), a argila expandida é obtida pelo aquecimento de variedades de argilas na temperatura em torno de 1200 °C, onde uma parte dos elementos presentes no material se funde gerando uma massa viscosa, ao mesmo tempo em que outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados pela massa sinterizada, o que faz com que ela se expanda até sete vezes mais do que seu volume inicial, a estrutura porosa que se forma se mantém após o resfriamento, assim a massa unitária resultante se torna menor do que antes do aquecimento.

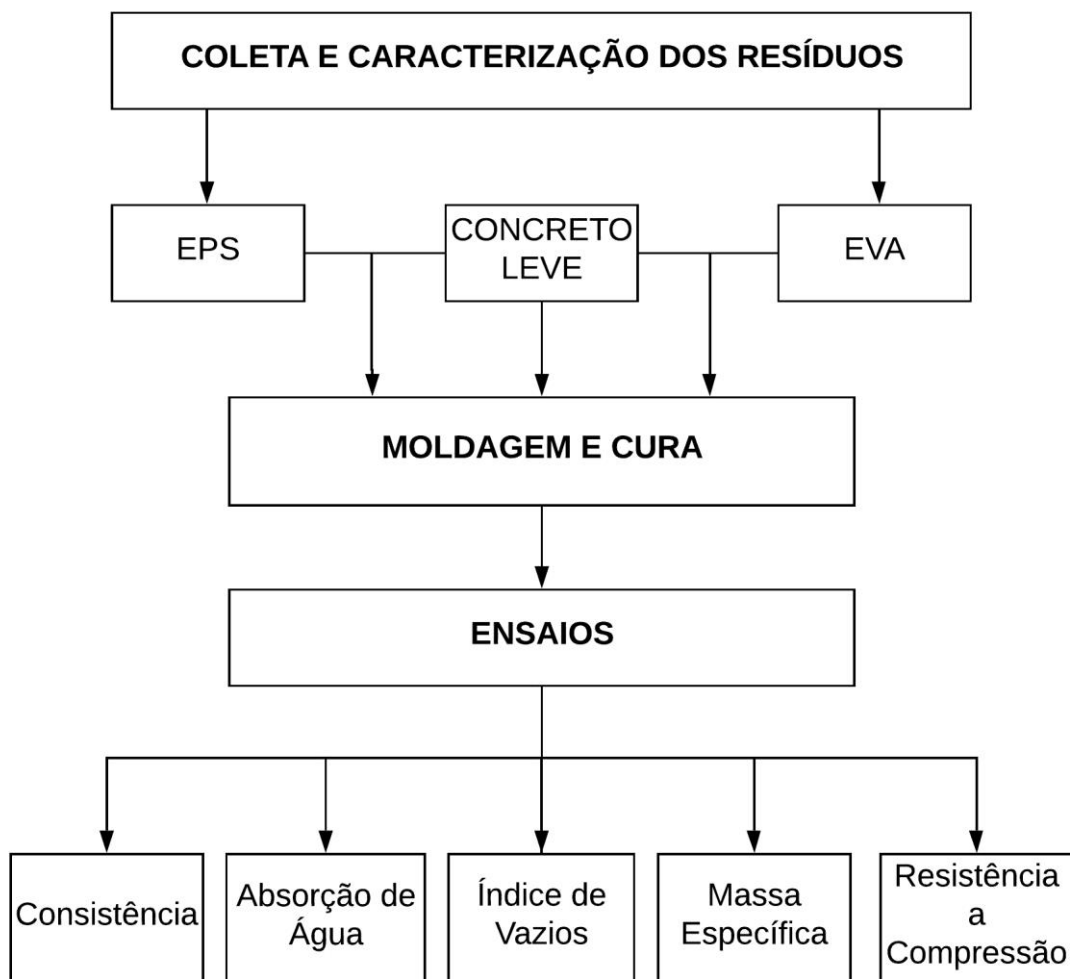
Com base em suas características, a argila expandida é utilizada na substituição do agregado graúdo do concreto, sendo economicamente viável devido à redução da massa específica que estes agregados proporcionam, além disso, a utilização de agregados porosos em concretos leve são os únicos que atingem resistência suficiente para serem utilizados para fins estruturais (SCOBAR, 2016).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para confecção do concreto leve com resíduos de EPS e EVA seguiu as seguintes normativas: ABNT NBR NM 248:2003 – Determinação da composição granulométrica dos agregados, ABNT NBR 5738:2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, ABNT NBR 9778:2005 – Argamassa e concreto endurecidos, determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica e ABNT NBR 5739:2018 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O passo a passo da metodologia adotada está demonstrado no fluxograma constante na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia da confecção e ensaios realizados nos corpos de prova de concreto convencional e leve.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.1 Caracterização dos Agregados

Os resíduos de EPS foram disponibilizados já triturados pela empresa Pronenge – Construtora e Imobiliária, já os resíduos de EVA foram aqueles procedentes de sobras de tapete de tatame, estes foram cortados com auxílio de tesoura e facão. Foram utilizados também areia, cimento CII-F-32 e brita nº 0.

Primeiramente, foi realizado o cálculo da massa específica aparente dos agregados leves, para isso, eles foram despejados em bandejas e pesados (Figura 2).

Figura 2 – Preparo dos resíduos de EPS e EVA para o cálculo de suas massas específicas aparentes.



Fonte: Autoria própria (2019).

A massa específica aparente calculada foi de $6,7 \text{ kg/m}^3$ para o EPS e $42,27 \text{ kg/m}^3$ para o EVA. Para a realização da composição granulométrica dos agregados de EPS e EVA foram utilizadas peneiras (Figura 3) conforme procedimento exigido pela NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Figura 3 - Agitador de peneiras utilizadas para a realização do procedimento de determinação granulométrica.



Fonte: Autoria própria (2019).

Com o peneiramento em malhas de 9,5 mm, 5,6 mm e 4,75 mm, percebe-se que o EPS e o EVA permaneceram em maior concentração na faixa de 5,6 mm (Tabela 1) o que os caracteriza, portanto, como agregados graúdos.

Tabela 1 - Granulometria dos agregados de EPS e EVA.

EPS	
Peneira (mm)	%
9,5	5
5,6	37
4,75	26
fundo	33,66
EVA	
Peneira (mm)	%
9,5	0,4
5,6	87,53
4,75	11,13
fundo	1,53

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 Mistura

Foram confeccionados corpos de provas de concreto leve com as porcentagens de trabalhabilidade com base nos resultados mais satisfatórios de Ferraz (2014) e Garlet (1998), de EPS e EVA respectivamente. As porcentagens adotadas de EPS também foram adotadas para o EVA, e vice-versa, portanto, foram adicionados nos compostos 60% e 70% dos resíduos citados em relação a porcentagem dos agregados graúdos, além do concreto convencional (Tabela 2). As misturas de todos os traços foram realizadas na betoneira (Figura 4).

Tabela 2 - Composição dos corpos de prova.

Concreto	Traço volumétrico
Convencional	1:2:3 (cimento, areia, brita nº 0)
60% EPS	1:2:1,2:1,8 (cimento, areia, brita nº 0, EPS)
70% EPS	1:2:0,9:2,1 (cimento, areia, brita nº 0, EPS)
60% EVA	1:2:1,2:1,8 (cimento, areia, brita nº 0, EVA)
70% EVA	1:2:0,9:2,1 (cimento, areia, brita nº 0, EVA)

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 4 – Imagem fotográfica demonstrativa do preparo do concreto sendo realizado na betoneira.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.3 Moldagem e Cura

Os corpos de prova foram feitos em moldes cilíndricos com dimensão de 100 mm x 200 mm, preenchidos primeiramente com uma camada de composto cimenteiro, atingindo a metade do corpo de prova, e realizando o adensamento manual de 12 golpes, em seguida foi preenchido mais uma camada até completar o volume total do corpo de prova, realizando novamente o adensamento manual de mais 12 golpes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b). Foi estabelecido tempo de cura de 28 dias para os corpos de prova.

Foram confeccionados sete corpos de prova com concreto convencional, sete de concreto leve com adição de 60% de EPS, sete com adição de 70% de EPS, sete com adição de 60% de EVA e sete com adição de 70% de EVA, para atender o mínimo exigido para os ensaios de resistência a compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica (Figura 5).

Figura 5 – a) Sete corpos de prova de concreto convencional e 14 corpos de prova de concreto leve com adição de EPS. b) 14 corpos de prova de concreto leve com adição de EVA.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.4 Ensaio

3.4.1 Consistência

A determinação da consistência foi realizada pelo abatimento do tronco cone de acordo com a NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Com molde de forma de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas: diâmetro da base inferior: $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$; diâmetro da base superior: $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$; altura: $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ (Figura 6).

Figura 6- Imagem fotográfica representativa do ensaio de consistência realizado nas argamassas de concreto convencional e com adição de porcentagens de 60% e 70% de EPS e EVA.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.4.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica foram realizados de acordo com a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que define absorção de água por imersão como o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar poros permeáveis de um corpo sólido poroso, e o índice de vazios como a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

Primeiramente os corpos de prova foram levados para a estufa a 100 °C, por 72h, sendo pesados a cada 24h (Figura 7).

Figura 7 - Corpos de prova levados à estufa por 72h.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após as pesagens, eles foram imersos em água por também 72h, sendo realizado o mesmo procedimento de pesagens anterior (Figura 8).

Figura 8 - Corpos de prova imersos em água por 72h.



Fonte: Autoria própria (2019).

E por fim, os mesmos corpos de prova foram pesados imersos em água com auxílio da balança hidrostática (Figura 9).

Figura 9 - Corpos de prova sendo pesados imersos em água na balança hidrostática.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para o cálculo da absorção (A) foi utilizada a Equação 1, para calcular o índice de vazios foi utilizada a Equação 2 e para calcular a massa específica foram utilizadas as fórmulas matemáticas 3, 4 e 5 (Tabela 3).

Tabela 3 - Expressões matemáticas.

Equação	Fórmula	Descrição
1: absorção de água.	$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$	m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão;
2: cálculo do índice de vazios, em porcentagem.	$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100$	m_s é a massa da amostra seca em estufa. m_i é a massa da amostra saturada imersa em água.
3: massa específica seca (ρ_s).	$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$	
4: massa específica saturada (ρ_{sat}).	$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$	
5: massa específica real (ρ_r).	$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$	

Fonte: Adaptado de NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

3.4.3 Resistência a compressão

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados conforme a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018) (Figura 10) e os resultados foram obtidos por meio da Eq. 6.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (Mpa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Figura 10 – Imagem fotográfica representativa da realização do teste de resistência a compressão.



Fonte: Autoria própria (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

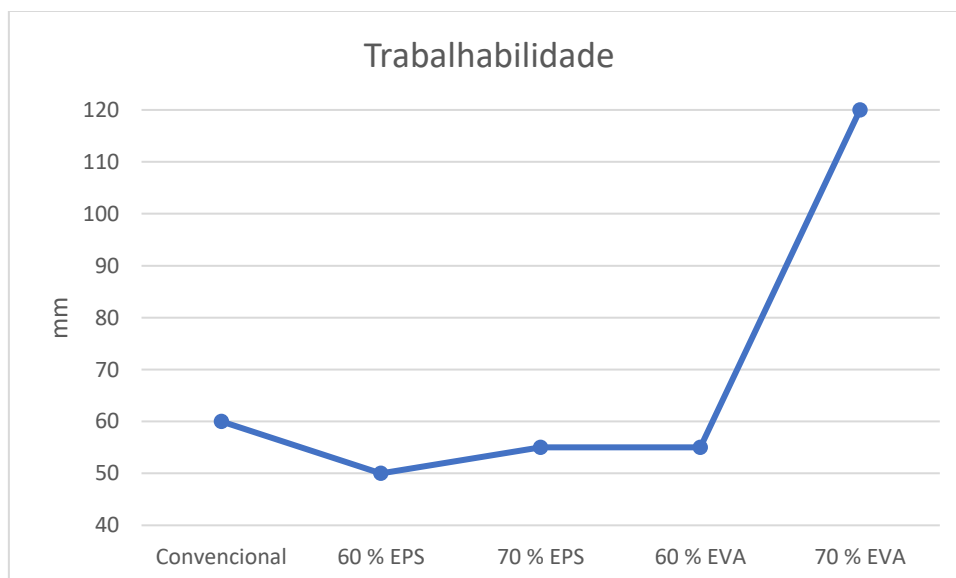
4.1 Consistência

O teste de consistência (trabalhabilidade) foi realizado logo após a produção da argamassa do concreto convencional e dos concretos leves com 60% e 70% de EPS e EVA.

Como citado por Xavier (2018), a consistência da argamassa indica sua facilidade de deformação a partir da ação de carga, porém, quando se trata de concreto leve é necessário aumentar a quantidade de água pois os agregados leves são capazes de reter muita água, por esta razão a relação escolhida de água/cimento (A/C) foi de 0,6. No entanto, de acordo com o trabalho de Medeiros-Júnior et al. (2014), a resistência à compressão do concreto diminui com o aumento da relação de água/cimento, ou seja, quando mais água, menor a resistência do concreto.

Os resultados de trabalhabilidade obtidos para cada traço estão apresentados a seguir (Figura 11).

Figura 11 - Resultado gráfico do teste de consistência dos concretos.



Fonte: Autoria própria (2019).

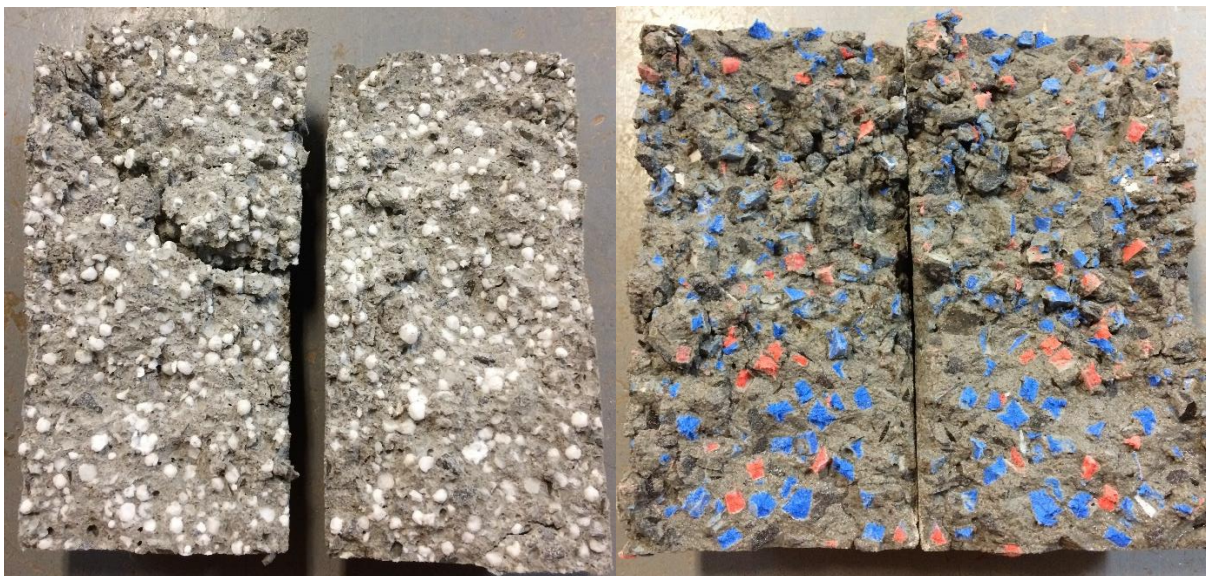
Nota-se que a trabalhabilidade do concreto convencional foi um pouco maior (10 mm e 5 mm) quando comparado com o concreto leve com adição de 60% e 70% de EPS e 60% de EVA, isto é explicado por Rossignolo (2009, p. 52), que afirma que

“os concretos leves apresentam valores de abatimento menores que os obtidos para os concretos convencionais, devido essencialmente à menor deformação do concreto leve pela ação da gravidade.”, porém, esta afirmação diverge do resultado obtido pelo abatimento do concreto leve com adição de 70% de EVA, que teve o dobro do valor de abatimento do concreto convencional, contudo este resultado condiz com o resultado obtido no trabalho de Paula (2011), que incorporou 25%, 50% e 75% de EVA substituindo a brita, e o abatimento com a incorporação de 75% de EVA foi o único que resultou em valor maior do que o abatimento do concreto convencional, sendo de 10 mm.

Conforme citado por De Oliveira (2013), alguns cuidados quanto a trabalhabilidade deve ser tomados, como por exemplo evitar a segregação dos materiais, ou seja, evitar o fenômeno chamado de flutuação do agregado graúdo, que nada mais é quando a argamassa, por possuir maior massa específica, se concentra na parte inferior da estrutura, prejudicando assim o acabamento e a resistência do concreto.

Para a verificação se houve ou não a flutuação dos agregados de EPS e EVA os corpos de prova foram cortados verticalmente (Figura 12).

Figura 12 - Corpos de provas com agregado de EPS e EVA cortados verticalmente para análise de flutuação dos agregados.



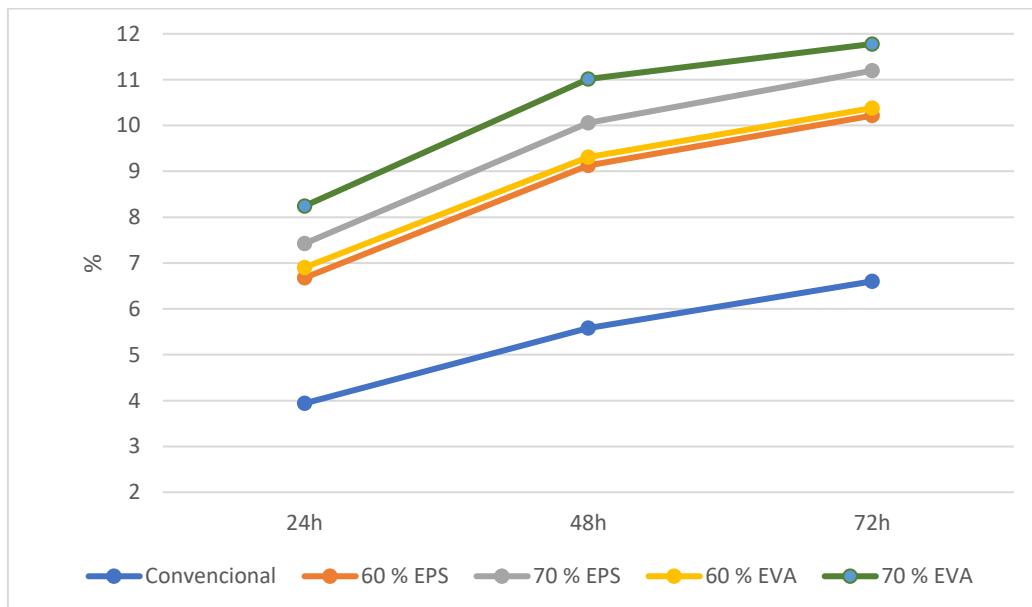
Fonte: Autoria própria (2019).

Como pode ser observado não houve flutuação dos agregados de EPS e EVA, a mistura dos dois compostos foram homogêneas e desta forma, a resistência dos concretos leves não são afetadas pela flutuação dos agregados utilizados.

4.2 Absorção de Água, Índice de vazios e Massa específica

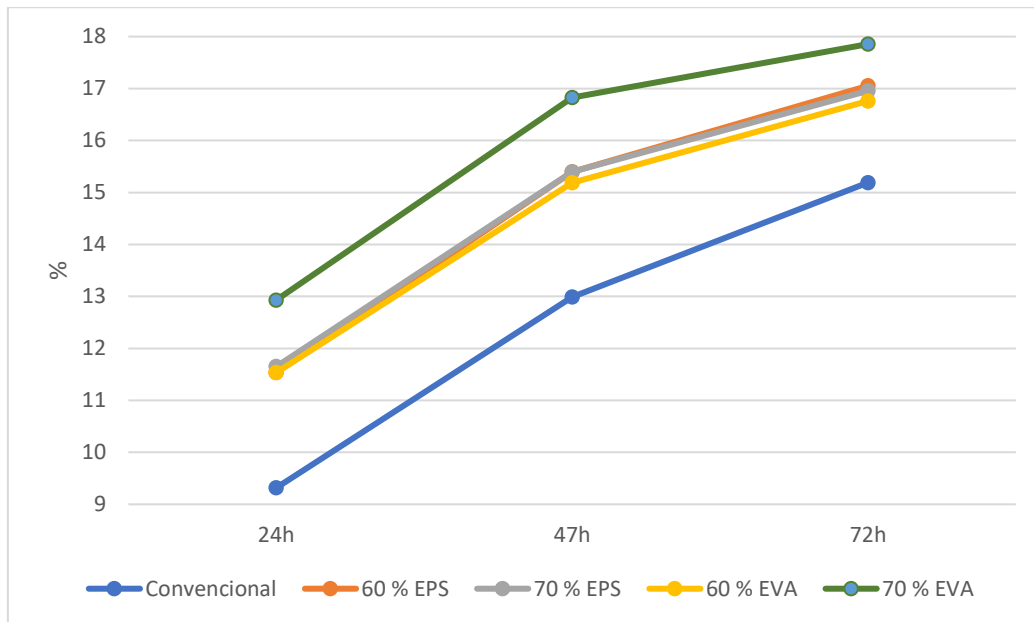
Após as pesagens dos corpos de prova em 24h, 48h e 72h, foi determinada a absorção de água (Figura 13) e o índice de vazios (Figura 14).

Figura 13 - Porcentagem de absorção de água dos corpos de prova em 24h, 48h e 72h



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 14 - Porcentagem de índice de vazios dos corpos de prova em 24h, 48h e 72h.



Fonte: Autoria própria (2019).

É possível observar que os concretos leves são mais suscetíveis a absorver água e possuir maiores porcentagens de índices de vazios quando comparados ao concreto convencional e de acordo com Sant'Helena (2009) e Scobar (2016), isto pode ser explicado devido a porosidade dos agregados leves.

Contudo, a absorção de água resultante do trabalho de Garlet (1998), com 60% e 70% de EVA em diferentes traços obtiveram o mínimo de 15% chegando até 25% com adição de 60% de EVA e a quase 35% com a adição de 70% do agregado. Isto mostra que o traço utilizado, ou seja, a quantidade de areia, cimento, agregado e brita são determinantes para o resultado de absorção de água dos concretos leves, isto também se aplica para os resultados de índice de vazios, onde a medida em que o teor de EPS e EVA aumentam, os vazios entre os grãos dos agregados não são totalmente preenchidos pela pasta de cimento, assim as propriedades físicas aumentam e a massa unitária diminui.

Para a utilização de concreto leve como blocos de concreto a NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) define que a absorção de água deve estar em média em $abs \leq 13$, portanto, os concretos leves com adição de EPS e EVA estão dentro dos padrões estabelecidos pela normativa.

A massa específica seca está apresentada a seguir (Tabela 4).

Tabela 4 - Massa específica seca dos corpos de prova.

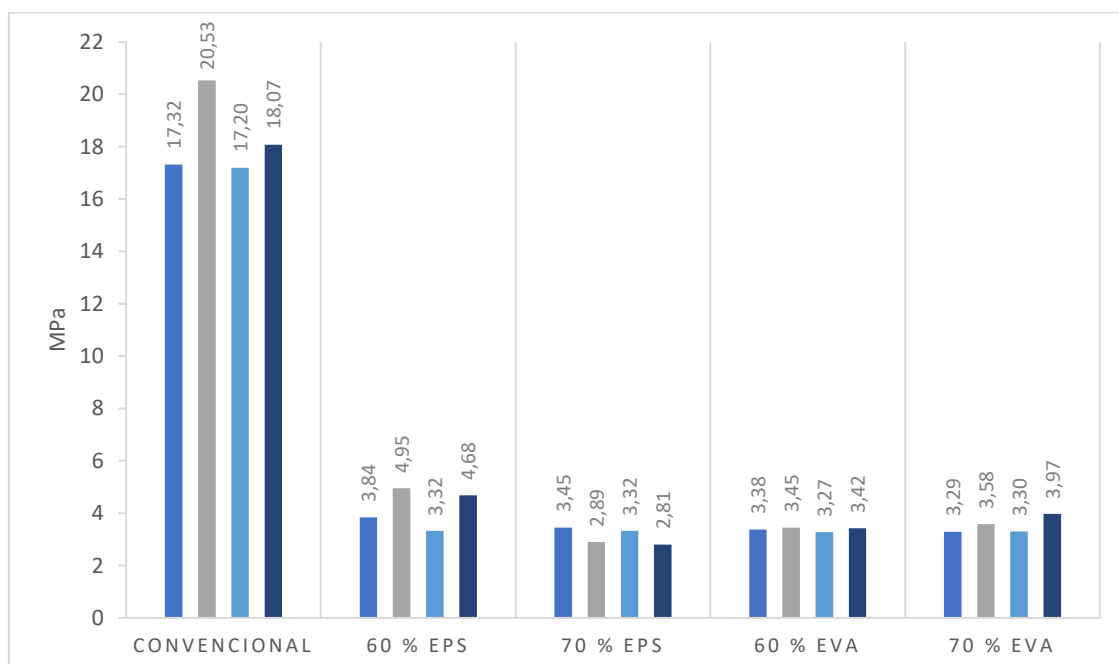
Corpo de prova	Massa Específica Seca (g/cm ³)		
	24h	48h	72h
Convencional	2,47	2,36	2,30
60 % EPS	1,87	1,72	1,67
70 % EPS	1,72	1,57	1,51
60 % EVA	1,82	1,67	1,61
70 % EVA	1,73	1,57	1,52

Fonte: Autoria própria (2019).

Nota-se que a medida em que ocorre o aumento da substituição do agregado graúdo pelo EPS e EVA, ocorre a diminuição da massa específica seca dos concretos leves, de acordo com Paula (2011) isto pode ser explicado devido a densidade, alta porosidade, textura esponjosa e a forma angular dos agregados utilizados. Como definido pela NBR 12665 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a) concreto leve possui massa específica seca inferior a 2000 kg/m³, ou seja, inferior a 2 g/cm³, portanto, o resultado atende a normativa.

4.3 Resistência a Compressão

Os resultados de resistência de cada corpo de prova estão apresentados a seguir (Figura 15).

Figura 15 - Resultado gráfico do teste de resistência a compressão.

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 5 - Média e desvio padrão do teste de resistência a compressão.

Traço	Média	Desvio padrão
Convencional	18,28	1,34
60 % EPS	4,20	0,65
70 % EPS	3,12	0,27
60 % EVA	3,38	0,07
70 % EVA	3,53	0,28

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se na Figura 15 que a resistência dos corpos de prova de concreto com adição de 60% e 70% de EPS e EVA não obtiveram grandes diferenças quando comparados entre si. Isto pode ser explicado devido à proximidade de suas massas específicas. No entanto, apenas o concreto leve com adição de 60% de EPS chegou à resistência de quase 5 MPa, os demais traços permaneceram na média de 3,35 MPa (Tabela 5).

Segundo Newman e Choo (2003), os concretos leves são classificados de acordo com suas propriedades, podendo ser estrutural (com resistência à compressão maior que 15 MPa), estrutural/isolamento (com resistência à compressão maior que 3,5 MPa) e isolamento (com resistência à compressão maior que 0,5 MPa).

Conforme esta classificação, apenas o concreto com adição de 60% de EPS pode ser utilizado para fins estrutural/isolamento, os demais concretos com agregados de EPS e EVA só podem ser utilizados para fins de isolamento, diferente dos concretos convencionais que obtiveram resistência de até 20,53 MPa, tendo portanto, fins estruturais. Este resultado coincide com os resultados dos trabalhos de Garlet (1998), Sant'Helena (2009) e Paula (2011), onde apontam que os concretos leves com adição de EPS e EVA podem ser utilizados para fins de isolamento.

A quantidade de água, qualidade de cimento e tempo de cura são fatores que podem ter influenciado os resultados de resistência a compressão dos corpos de prova de concreto leve, isto porque, conforme resultados do trabalho de Medeiros-Júnior et al. (2014) que realizou testes comparativos com tipos de cimento CP IV 32, CP III 40 RS, CP II-F 32 e CP V ARI, relação água cimento de 0,6, 0,5 e 0,4 e tempo de cura de 28 e 91 dias, resultou que para relação a/c de 0,4 e idade de ensaio de 91 dias, o cimento CP II-F 32 apresentou maior resistência e foi observado também que a resistência aumentou no decorrer do tempo e com a redução da relação a/c para todos os tipos de cimentos analisados.

Outro ponto importante que pode ser considerado é que com a adição dos agregados de EPS e EVA há um aumento de vazios, alterando assim a porosidade da matriz, além de que os agregados são mais deformáveis que a pasta de cimento em sua volta, proporcionando baixa resistência ao concreto (SANT'HELENA, 2009).

No entanto, os concretos com adição de EPS e EVA se tornam menos pesados que o concreto convencional, esta é a grande vantagem de sua utilização, pois assim ocorre a diminuição da carga total sobre uma estrutura, melhorando a relação resistência/peso da estrutura, além de que com a redução do peso se reduz também a armadura e custos das fundações de construções (DE OLIVEIRA, 2013).

Os concretos leves com adição de EPS e EVA podem ser utilizados na fabricação de blocos de concretos destinados às funções de vedação e execução de paredes, isto porque conforme a NBR 6136 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) os blocos de concreto destinados a função estrutural Classe B devem possuir resistência a compressão $4 \leq f_c < 8$ MPa e os blocos com ou sem função estrutural Classe C devem possuir resistência $f_c \geq 3$, portanto os resultados obtidos se enquadram no mínimo exigido pela normativa, sendo o concreto leve com adição de 60% de EPS correspondendo a função estrutural Classe B e aos demais traços correspondendo a com ou sem função estrutural Classe C.

Segundo o trabalho de Ferraz (2014), outra função para os concretos leves com adição de EPS é como contrapiso e levando em consideração que os resultados dos testes dos concretos com resíduos de EPS foram próximos dos blocos com resíduos de EVA, estes também poderão ser utilizados para tal função.

4.4 Edital 1/2019 - PROREC/PROGRAD Apoio à Execução de Trabalhos de Conclusão de Cursos – TCC

Como visto anteriormente, os resultados de absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência a compressão estão de acordo com o exigido pelas normativas que definem parâmetros de concreto leve e de parâmetros para utilização destes concretos leves em forma de blocos para alvenaria.

Todos os resultados de resistência a compressão apontam que os concretos leves com adição de 60% e 70% de resíduos de EPS e EVA em relação ao

agregado graúdo (brita nº 0) podem ser utilizados para fins não estruturais na construção de edificações.

Dessa forma, os resultados obtidos apontam a relevância do estudo para a indústria da construção civil. Para a empresa Pronenge, que apoiou o trabalho com a doação de resíduos de EPS já triturados, o estudo mostra as vantagens da reutilização de EPS e EVA em seu próprio processo construtivo. Estas vantagens abrangem tanto a questão financeira, com a redução de custos na produção, quanto ao uso racional dos recursos naturais e a reinserção de resíduos em novas cadeias produtivas.

Os resultados obtidos apontam que a reutilização de resíduos, que são muitas vezes descartados nos próprios canteiros de obra ou dispostos em aterros, gera a economia circular dentro da empresa, que nada mais é do que a geração de um novo ciclo de vida para os resíduos que seriam descartados e teriam seu ciclo de vida encerrado. Assim, a empresa estará contribuindo sustentavelmente com o meio ambiente e terá redução no seu custo de obra final, uma vez que não terá mais despesas com a realização da retirada desses resíduos de seus canteiros, além do que com a diminuição da utilização de agregados pesados se reduz os custos das fundações da construção.

Portanto, os resultados apontaram viabilidade técnica de se utilizar tais resíduos como agregados em concreto leve. Todos os traços volumétricos analisados podem ser utilizados em funções não estruturais na construção de edificações, tanto função de vedação, isolamento térmico e acústico, enchimento de lajes e contrapisos e elementos pré-moldados não portadores de carga. Os resultados apontam também a possibilidade de se ter no mercado novas tecnologias de construção, como a fabricação de blocos de concretos leves destinados às funções de vedação e execução de paredes, além da sua utilização para fabricação de contrapiso e enchimento de lajes.

Dessa forma, o estudo abre uma visão de novas tecnologias que podem ser inseridas no mercado da construção civil.

5 CONCLUSÃO

A grande problemática levantada em questão foi de se obter uma maneira de realizar a destinação final adequada para os resíduos de EPS e EVA e o presente estudo pôde demonstrar que é possível dar destinação sustentável para tais resíduos. Assim como pode ser observado que a prática de se reutilizar resíduos vem crescendo na construção civil, pois este é um ponto importante para questões ambientais e devem ser cada vez mais avaliados e implementados conforme a possibilidade e atendimento as exigências técnicas.

Todos os resultados obtidos trouxeram a possibilidade de se utilizar resíduos de EPS e EVA (60% e 70%) como agregados em concreto leve em funções não estruturais na construção de edificações, tendo portanto, a função de vedação, isolamento térmico e acústico, enchimento de lajes e contrapisos e em elementos pré-moldados não portadores de carga.

Pode-se concluir que a utilização de resíduos de Poliestireno Expandido (EPS) e Etileno Acetato de Vinila (EVA) como agregados em concreto leve possui potencial de viabilidade técnica.

Os resultados de resistência a compressão de todos os traços foram satisfatórios, contudo, o concreto leve com adição de 60% de EPS chegou a maior resistência, aproximadamente 5 MPa, portanto, sugere-se que sejam realizados outros trabalhos com o propósito de melhorar o traço volumétrico deste composto, partindo do princípio de que diferentes traços e tempos de cura estabelecem resultados de resistência diferentes.

Outro ponto importante de ser levantado é da necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias voltadas à construção civil, uma sugestão é a fabricação de blocos de concretos leves utilizando porcentagens de resíduos de EPS e EVA em sua composição. Estes poderão ser utilizados para construções de alvenarias de vedação e, quem sabe, alvenarias estruturais. Isto trará grandes benefícios ambientais, como para a economia circular, além de gerar uma economia no custo final da obra.

Outra sugestão é a realização do estudo de viabilidade econômica a fim de dimensionar a economia que o empreendedor terá adotando a metodologia de reutilização de resíduos como agregado leve.

REFERÊNCIAS

- AMBROSI, Tuilara Vanzo. **Logística reversa de embalagens de isopor**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- ANDRADE, Lucimara Aparecida Schambeck et al. Reaproveitamento de rejeitos de EVA para a produção de placas utilizáveis na construção civil. **Revista Científica Linkania Master**, v. 3, n. 3, 2012.
- ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto leve estrutural: desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 98 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 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**: Determinação da composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos, determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AZEVEDO, Juliana Laboissière. **A Economia Circular Aplicada no Brasil**: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: **Anais [...] Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentadas pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CHAGAS, Fábio Henrique de Carvalho.; BERRETTA-HURTADO, Ana. Lucia; GOUVÊA, Carlos Alberto Klimeck. **Logística reversa: destinação dos resíduos de poliestireno expandido (isopor®) pós-consumo de uma indústria catarinense**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2011.

DE OLIVEIRA, Marília Pereira; BARBOSA, Normando Perazzo; TORRES, Sandro Marden; LEAL, Antonio Farias; SILVA, Cibelle Guimarães. Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita Gypsum-based composites with EVA waste and vermiculite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 6, p. 684-689, 2012.

DE OLIVEIRA, Livia Souza. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. São João Del-Rei: Universidade Federal de São João Del-Rei, 2013.

FERRAZ, Gabriela de Andrade. **Reutilização do poliestireno expandido como agregado no composto de concreto leve para contrapiso**. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

GARLET, Givanildo. **Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. 162 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GROTE, Zilmara Cristie Volpe; SILVEIRA, José. Luz Análise energética e energética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor). **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, 2001.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro; ANDRADE, Érica Souza. Propriedades de argamassas com EVA (Ethylene Vinyl Acetate) em substituição parcial ao agregado. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017.

ISOPOR®. Isopor®, o EPS que tem nome. Disponível em: <<https://www.isopor.com.br/#home>> Acesso em: 20 de fev. de 2019.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, 2015.

MEDEIROS-JUNIOR, Ronaldo Alves; DE LIMA, Maryangela Geimba.; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; REAL, L. V. Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. **Revista Alconpat**, v. 4, n. 2, p. 116-132, 2014.

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

MICHELS, Paulo. Informações sobre EPS. Destinatário: Aline Bacarini. [S. l.], 29 mar. 2019. 1 mensagem eletrônica.

MONTEIRO, Mónica. **ECONOMIA CIRCULAR**. Lisboa, v. 20, mar. 2017. Disponível em: <<https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2019.

MORAVIA, Weber Guadagnin; OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza; GUMIERI, Adriana Guerra; VASCONCELOS, Wander Luiz. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica**, v. 52, n. 322, São Paulo, 2006.

NEWMAN, John; CHOO, Ban Seng. **Advanced Concrete Technology: Processes**. Elsevier. 2003.

PAULA, Leonardo Souza. **Utilização de resíduos de EVA como agregado graúdo em concretos**. Monografia. 51 f. Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, 2011.

PRESTES, Sabrina Moretto Darbello. **Reaproveitamento de resíduos de eva reticulado através de reciclagem química**. 159 f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, 2013.

RODRIGUES, Sayonara Montenegro. **Estudo de um compósito de matriz cerâmica com carga de recicláveis para o uso na construção civil**. 70 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo: Pini, 2009.

SANT'HELENA, Maiko. **Estudo para aplicação de poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas**. 87 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina, 2009.

SANTOS, Gemelle Oliveira; RIGOTTO, Raquel Maria. Possíveis impactos sobre o ambiente e a saúde humana decorrentes dos lixões inativos de Fortaleza (CE). **Revista Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 55-62, 2009.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado**

graúdo convencional por argila expandida. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

TESSARI, Janaina. **Utilização de Poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil.** 102 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

UGARTE, José Fernandes de Oliveira; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. Vermiculita. **CETEM/MCTI**, 2008.

XAVIER, Moizes de Souza. **Estudo das propriedades de argamassas com uso de vermiculita expandida como substituto parcial da areia natural.** 94 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Departamento de Engenharias curso de Engenharia Civil, Angicos, Rio Grande do Norte, 2018.

ZATTERA, Ademir José et al. Caracterização de resíduos de Copolímeros de Etileno-acetato de vinila-EVA. *Polímeros (São Carlos): ciência e tecnologia*. Vol. 15, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 73-78, 2005.