

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANGÉLICA MARIANA SOUSA SANTOS
DÉBORA FLORENCIO DE SOUZA SAMPAIO

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO
PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE E.V.A. (ETHYLENE VINYL ACETATE) EM
SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL**

Aracruz

2017

ANGÉLICA MARIANA SOUSA SANTOS
DÉBORA FLORENCIO DE SOUZA SAMPAIO

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO
PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE E.V.A. (ETHYLENE VINYL ACETATE) EM
SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Julimara Zampa Bitti Blank

Aracruz
2017

**ANGÉLICA MARIANA SOUSA SANTOS
DÉBORA FLORENCIO DE SOUZA SAMPAIO**

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO
PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE E.V.A. (ETHYLENE VINYL ACETATE) EM
SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenadoria do Curso de Engenharia
Civil das Faculdades Integradas de Aracruz
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de dezembro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Julimara Zampa Bitti Blank
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. M.Sc. Felipe Coelho de Freitas
Faculdades Integradas de Aracruz
Membro interno

M.Sc. Harley Davidson Gomes
Membro externo

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Aracruz, 24 de Novembro de 2017.

Angélica Mariana Sousa Santos
Débora Florêncio de Souza Sampaio

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, tem ocorrido uma série de esforços internacionais para atender as necessidades das tecnologias de produção de forma sustentável. A construção civil é um importante segmento que tem passado por grandes mudanças nesse sentido, com intuito de atender as novas diretrizes do setor através da implementação de materiais alternativos. O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e vem sendo escopo de várias pesquisas nos últimos anos. A utilização de resíduos de outros setores em concretos e argamassas, tem se mostrado uma ótima alternativa para a economia de recursos naturais, além da consecução de características peculiares antes desconhecidas em misturas convencionais. Dentro deste contexto, este trabalho verifica as propriedades do concreto produzido com resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate), polímero largamente utilizado na indústria calçadista, em função da análise da resistência à compressão axial através de corpos de prova cilíndricos. Para analisar a influência desse agregado na produção do concreto, foi feito um estudo laboratorial com quatro tipos de misturas, substituindo o E.V.A. em parciais no lugar da areia (5% E.V.A. - 95% Areia, 15% E.V.A. - 85% Areia e 25% E.V.A. - 75% Areia). Nos resultados verificou-se que, a adição de E.V.A. no concreto reduz consideravelmente a massa específica e a resistência à compressão deste novo concreto, bem como a trabalhabilidade. Os resultados também apontam que o concreto com E.V.A. não tem finalidade estrutural.

Palavras-chave: Concreto. Resistência à compressão. E.V.A.

ABSTRACT

Over the last few decades, a series of international efforts have taken place to meet the needs of production technologies in a sustainable way. Civil construction is an important segment that has undergone major changes in this direction, in order to meet the new guidelines of the sector through the implementation of alternative materials. Concrete is one of the most used materials in construction and has been scoped from several surveys in recent years. The use of waste from other sectors in concretes and mortars has proved to be a great alternative for saving natural resources, as well as the achievement of peculiar characteristics previously unknown in conventional mixtures. Within this context, this work verifies the properties of the concrete produced with residues of E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate), a polymer widely used in the footwear industry, due to the analysis of the resistance to axial compression through cylindrical specimens. To analyze the influence of this aggregate on the concrete production, a laboratory study was done with four types of mixtures, replacing the E.V.A. (5% E.V.A. - 95% Sand, 15% E.V.A. - 85% Sand and 25% E.V.A. - 75% Sand). In the results it was found, that addition of E.V.A. in concrete considerably reduces the specific mass and compressive strength of this new concrete, as well as the workability. The results also indicate that concrete with E.V.A. has no structural purpose.

Keywords: Concrete. Compressive strength. E.V.A.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Classes de resistência dos concretos..... | 17 |
| Tabela 2 - Relação do consumo de materiais..... | 21 |
| Tabela 3 - Total de material utilizado na produção do concreto convencional..... | 28 |
| Tabela 4 - Total de material utilizado na produção dos concretos..... | 29 |
| Tabela 5 - Relação água/cimento dos concretos com E.V.A..... | 33 |
| Tabela 6 - Resultados da relação da correção do traço pelo abatimento..... | 34 |
| Tabela 7 - Resultados do ensaio de Massa Específica..... | 35 |
| Tabela 8 - Resultados do ensaio de Resistência à Compressão..... | 36 |
| Tabela 9 - Relação Massa Específica e Resistência à Compressão..... | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Classes de consistência dos concretos..... | 15 |
| Figura 2 - Resultados do ensaio de Resistência à Compressão..... | 21 |
| Figura 3 - Propriedades Físicas e Mecânicas do Cimento CP III..... | 22 |
| Figura 4 - Etapas de preparo do E.V.A..... | 23 |
| Figura 5 - Agitador mecânico utilizado no peneiramento..... | 24 |
| Figura 6 - Peneiras utilizadas..... | 24 |
| Figura 7 - Resultado do E.V.A. peneirado..... | 25 |
| Figura 8 - Tabela utilizada para definição do traço..... | 26 |
| Figura 9 - Abatimento do concreto convencional..... | 27 |
| Figura 10 - Abatimento do concreto convencional após correção do traço..... | 28 |
| Figura 11 - Moldagem dos Corpos de Prova..... | 30 |
| Figura 12 - Cura dos Corpos de Prova..... | 30 |
| Figura 13 - Prensa hidráulica utilizada no ensaio de Resistência à Compressão..... | 31 |

SÚMARIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 | PROBLEMA | 10 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 11 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 11 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 11 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | CONCRETO CONVENCIONAL | 14 |
| 2.1.1 | Consistência do concreto fresco | 15 |
| 2.1.2 | Peso específico do concreto endurecido | 15 |
| 2.1.3 | Resistência a Compressão | 16 |
| 2.2 | O E.V.A. E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS. | 17 |
| 2.3 | CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE E.V.A. | 20 |
| 3 | METODOLOGIA | 22 |
| 3.1 | SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS | 22 |
| 3.3 | DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS | 25 |
| 3.3.1 | Dosagem | 25 |
| 3.3.2 | Produção do Concreto Convencional | 27 |
| 3.3.3. | Produção do Concreto com E.V.A. | 28 |
| 3.4 | MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA | 29 |
| 3.5 | PROPRIEDADES DOS CONCRETOS AVALIADAS | 30 |
| 4 | RESULTADOS | 33 |
| 4.1 | CONCRETO NO ESTADO FRESCO..... | 33 |
| 4.2 | CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO..... | 35 |
| 4.2.1 | Massa Específica | 35 |
| 4.2.2 | Resistência á Compressão | 36 |
| 4.2.3 | Relação entre a Massa Específica e a Resistência à Compressão | 36 |
| 5 | CONCLUSÃO | 39 |

1 INTRODUÇÃO

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 associada ao mau gerenciamento dos mesmos (GARLET, 1998; ROCHA, 2008 e MARQUES et al., 2012).

Felizmente, com o passar dos anos ocorreu o surgimento de leis ambientais mais severas, obrigando o gerador de resíduos a descartá-los de forma correta, a fim de preservar meio ambiente. Porém, este fato tornou-se objeto de discussões em vários segmentos, visto que representou fonte de despesas para as grandes construtoras. O ramo da construção civil é um dos que mais consomem recursos naturais, sendo também responsável pelo grande descarte de resíduos sólidos. Dessa forma, suas tecnologias devem ser inovadas a cada dia, visando atender a demanda do mercado e da sociedade.

Em contrapartida, esse setor apresenta grande potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. A incorporação de resíduos, principalmente em argamassa e concreto, que possuem vasta aplicabilidade neste ramo, tem sido uma ótima alternativa para a economia de recursos naturais. 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.

O concreto é basicamente o resultado da mistura, em quantidades racionais, de água, cimento e agregados graúdos ou miúdos. É o material mais utilizado na construção civil, pois possui grande resistência suportando toda a estrutura das edificações. Possui ampla empregabilidade, devido a sua variedade, podendo ser encontrado em todas as obras residenciais de alvenaria, rodovias, pontes, edifícios, usinas hidrelétricas, obras de saneamento, entre outras.

Devido à amplitude de sua utilização neste setor, é um material que vem passando por muitos estudos, com a finalidade de propor melhoria nas questões ambientais e obter melhor viabilidade econômica sem alterar sua resistência. Dentre as pesquisas

feitas, destaca-se o desenvolvimento de concretos produzidos com resíduos de E.V.A. (Etileno Acetato de Vinyl), proveniente da indústria calçadista.

Segundo Polari Filho (2005), a indústria da construção é o setor da economia com maior potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. 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. (Etileno Acetato de Vinyl).

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).

Este trabalho objetiva avaliar a resistência do concreto produzido com resíduos de E.V.A. (Etileno Acetato de Vinyl) em substituição parcial ao agregado miúdo natural (areia), buscando reduzir o consumo de agregados naturais e dar uma destinação ambientalmente adequada aos resíduos de E.V.A.

1.1 PROBLEMA

Com o avanço das construções, é preciso constantemente apresentar soluções práticas para eventuais problemas que podem vir a ocorrer, não somente no setor construtivo, mas também nos demais setores industriais.

A crescente verticalização e as obras de grande porte aumentaram a demanda de concreto, sendo necessário melhorar os métodos construtivos, como por exemplo, reduzir o peso dos elementos construtivos, vencer grandes vãos, além de construir elementos de vedação ou de enchimento.

Tendo como objeto de estudo a utilização de E.V.A. como agregado para concretos, busca-se conhecer as vantagens, bem como a sua viabilidade técnica quando aplicado como material de construção.

Assim sendo, a formulação do problema baseia-se em verificar se os resíduos de E.V.A utilizados no preparo do concreto é satisfatório tecnicamente no que diz respeito a resistência à compressão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas do concreto convencional produzido com resíduos de E.V.A. como agregado miúdo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização do material EVA;
- Determinar através de ensaios a resistência à compressão do concreto convencional ao substituir parcialmente seu agregado miúdo natural por resíduos de E.V.A.;
- Identificar através de ensaios de massa específica se o concreto produzido com resíduos de E.V.A. se classifica como leve ou normal;
- Comparar as características do concreto produzido com resíduos de E.V.A. com o concreto convencional;
- Sugerir uma alternativa para o tratamento do material remanescente das fábricas produtoras de chinelos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que a indústria calçadista vem se fortalecendo cada vez mais no setor econômico. Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Calçados

(Abicalçados), mostram que em fevereiro de 2017 o setor de calçados exportou 9,16 milhões de pares, 5% a mais do que no mês de fevereiro de 2016. No seu relatório setorial de 2016, o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking dos principais países produtores de calçados, com um total de 999 milhões de pares produzidos só em 2014, além de gerar 283,1 mil empregos no ano de 2015. É notório que esse setor é uma verdadeira potência econômica, que produz em grande escala e que, conseqüentemente, gera grandes quantidades de resíduos.

Segundo França et al. (2007), na fabricação de calçados há uma preferência pelo material sintético do que pelo couro pelos fabricantes, devido ao elevado custo do couro e maior potencial de perda, pois o material adquirido já pode vir com falhas na superfície ou sofrer erros de corte. Em relação ao preço, o metro quadrado de couro pode chegar a cinquenta reais, enquanto o sintético varia entre vinte e trinta reais. Assim o mercado dos sintéticos vem crescendo exponencialmente e ganhando grandes vantagens sobre o couro, pois além da proximidade de qualidade entre essas duas matérias, o preço também é consideravelmente atrativo e o índice de perda bem abaixo do couro, pelo simples fato dos cortes serem bem definidos.

O E.V.A. (Etileno Acetato de Vinila), é uma das principais matérias primas utilizada pelo setor calçadista na confecção de chinélos. A quantidade de pessoas que tem aderido esse mercado como um tipo de renda extra ou até mesmo como opção de microempreendedor tem alavancado esse mercado nos últimos anos. O baixo custo do material e a facilidade de acesso, tem sido fator primordial na escolha deste tipo de mercado.

A problemática disso tudo está na forma de como essas pequenas empresas e profissionais autônomos irão descartar esses resíduos, pois dificilmente esses pequenos empreendedores irão investir em processos de gestão ambiental. Em cidades do interior esse problema se agrava ainda mais, pois geralmente a fiscalização é falha, levando esses fabricantes a descartar seus resíduos de forma inadequada, o que contribui para o grande acúmulo deste tipo de material em lugares inapropriados.

O uso de E.V.A. como agregado para concreto tem sido estudado por vários pesquisadores nos últimos anos com o intuito de se obter uma mistura mais leve,

possível somente substituindo o agregado graúdo natural. Porém, pouco tem se estudado sobre seu comportamento ao ser substituído pelo agregado miúdo.

Assim justifica-se o tema, que visa contribuir não só ambientalmente, fornecendo alternativas sustentáveis para as sobras dos cortes de chinelos descartadas pelas indústrias de calçados, como também tecnologicamente, fornecendo subsídios a literatura existente sobre sua utilização como agregado miúdo na produção de concreto, visto que a maioria dos trabalhos já realizados utiliza o E.V.A. apenas como agregado graúdo, conhecendo-se pouco sobre seu comportamento quando utilizado como agregado miúdo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO CONVENCIONAL

Concreto convencional é aquele sem qualquer característica ou aditivo especial e que é utilizado no dia a dia das construções. Sua obtenção é feita a partir do composto de água, agregados graúdos e miúdos e do aglomerante.

O aglomerante é o cimento em presença de água. Já o agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição. De acordo com a NBR 7211:2009, se as partículas de agregado são maiores do que 4,75mm, o agregado é dito graúdo, se forem menores o agregado é o miúdo.

Quando recém-misturados em proporções adequadas, resulta em um material plástico, uma vez que o cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta que se adere aos fragmentos dos agregados onde as moléculas se contraem, preenchendo todos os espaços ficando com a distribuição granulométrica homogênea. Este material plástico permite operações de manuseio essenciais ao seu lançamento, e com o tempo, adquire coesão e resistência.

O concreto convencional é usado em obras onde não existe a necessidade da utilização de equipamentos para o bombeamento do concreto. Devido à baixa trabalhabilidade desse concreto, torna-se necessário o uso de equipamentos de vibração para um bom adensamento. Esse bom adensamento é essencial para que se evitem nichos de concretagens, os quais tem interferência direta da durabilidade da estrutura. Esse concreto demanda uma quantidade grande de mão de obra devido a sua aplicação manual (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Devido à grande variedade dos tipos de concretos, cada um atende a um tipo de exigência, regido pelas normas, dentro das construções. O concreto convencional possui características físicas, que se determinam em seu estado fresco e endurecido, e também são delimitadas por normas cujas as principais características são expressas a seguir.

2.1.1 Consistência do concreto fresco

A consistência do concreto fresco está relacionada com a fluidez da mistura, ela é importante por fornecer a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto será lançado em determinadas formas.

A consistência do concreto é geralmente medida pelo ensaio de abatimento (Slump Test), onde o concreto é compactado dentro de uma forma cilíndrica cônica, com altura de 30 centímetros. Retirando-se a forma, por cima do concreto, este sofre um abatimento medido em centímetros ou milímetros, que é usado como comparativo da consistência.

A Figura 1, extraída da NBR 7212:2014, apresenta a classificação do concreto segundo o valor em milímetros do abatimento do Slump Test.

Figura 1 – Classes de consistência dos concretos

| Classe | Abatimento (A) mm |
|---------------|---|
| S10 | $10 \leq A < 50$ |
| S50 | $50 \leq A < 100$ |
| S100 | $100 \leq A < 160$ |
| S160 | $160 \leq A < 220$ |
| S220 | $A \geq 220$ |

Fonte: NBR 7212 (2014).

A norma salienta que em casos especiais, em comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes diferentes de consistência.

2.1.2 Peso específico do concreto endurecido

O peso ou massa específica do concreto tem relação com fatores diversos, como por exemplo, a natureza dos agregados, sua granulometria e quantidade de agregado graúdo. Esse valor cresce, cada vez que o valor do peso específico dos agregados e suas quantidades aumentam.

O valor da massa específica do concreto também está diretamente ligado ao peso próprio das estruturas. De acordo com a NBR 15823-1:2010, aplicam-se os seguintes termos e definições:

- Concreto Leve (CL): massa específica seca inferior a 2000 kg/m³;
- Concreto Normal (C): massa específica seca entre 2000 e 2800 kg/m³;
- Concreto Pesado ou Denso (CD): massa específica seca superior a 2800 kg/m³.

Observa-se que a massa específica do concreto convencional respaldada pela NBR 6118:2014 compreende os valores entre 2000 e 2800 kg/m³.

2.1.3 Resistência a Compressão

A resistência à compressão simples é a característica mecânica mais importante do concreto. Ela está ligada ao tempo de cura do concreto, onde a cura é a última etapa da produção do concreto, e deve ser bem executada para garantir um melhor desempenho mecânico do mesmo. O valor da resistência é um dado importante, uma vez que seu valor é utilizado no cálculo estrutural das edificações.

Mehta e Monteiro (1994, p.44) definem resistência como:

A resistência de um material é definida como, a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura. A ruptura é algumas vezes identificada com o aparecimento de fissuras. De qualquer modo, deve ser lembrado que, ao contrário da maioria dos materiais estruturais, o concreto contém microfissuras antes mesmo de ser submetido a tensões externas. No concreto, portanto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar a fratura e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada alcança seu valor máximo. No ensaio de tração, a fratura do corpo de prova normalmente significa ruptura; na compressão, o corpo de prova é considerado rompido mesmo quando não há sinal de fratura externa visível, porém a fissuração interna é muito avançada, tal que o corpo de prova é incapaz de suportar uma carga maior sem fraturar-se.

Comparada com as demais propriedades, é relativamente fácil de ser ensaiada. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos

ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo 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 para o ensaio é 28 dias.

Dessa forma, os concretos convencionais para fins estruturais, são classificados pela NBR 8953:1992, nos grupos I e II conforme a resistência característica à compressão. A Tabela 1 a seguir apresenta os valores da classificação das classes de resistências dos concretos.

Tabela 1 – Classes de resistência dos concretos

| Classe de Resistência do Grupo I | Resistência Característica à Compressão MPa | Classe de Resistência do Grupo II | Resistência Característica à Compressão MPa |
|---|--|--|--|
| C20 | 20 | C55 | 55 |
| C25 | 25 | C60 | 60 |
| C30 | 30 | C70 | 70 |
| C35 | 35 | C80 | 80 |
| C40 | 40 | C90 | 90 |
| C45 | 45 | | |
| C50 | 50 | C100 | 100 |

Fonte: Adaptado da NBR 8953 (1992).

2.2 O E.V.A. E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

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 auxiliadores de processo e outros polímeros. Possui resistência contra impactos, fadiga, tenacidade, excelente flexibilidade e processabilidade, além de manter sua estabilidade térmica (ILDEFONSO, 2007).

Dentro das classificações dos polímeros, o E.V.A. é caracterizado como um polímero termoplástico e também, denominado como resina termoplástica, pelo fato de não sofrer alterações na sua estrutura química durante o processo de aquecimento,

podendo ser fundido depois de resfriado permitindo assim grande flexibilidade nos processos de moldagem e reciclagem.

Resinas como o E.V.A. tem grande influência econômica no mercado mundial e nacional dos plásticos, com um volume de negócios em torno de 85% do total. Em âmbito nacional, no ano de 2000 o Brasil teve uma demanda de 51 mil toneladas de E.V.A. contra 52 mil toneladas em 2006. No cenário mundial a demanda foi de 1,397 mil toneladas no ano de 2000 contra 1,641 mil toneladas em 2006 (ABDI, 2008). Dados do SINDIPLAST (2011), revelou que o consumo de plástico no Brasil gira em torno de 6,2 milhões de toneladas e seu crescimento é de 5% ao ano. Desse total 2% são utilizados na indústria de calçados.

Segundo Zattera, *et al.* (2005), o E.V.A. utilizado na indústria calçadista para confecção de palmilhas, entressolas e solados, possui teores de acetato de vinila entre 18 a 28% e sua utilização vai muito além da indústria de calçados, sendo também bastante difundido na produção de artesanatos, brinquedos educativos e artigos esportivos, que obtém o E.V.A. já pronto em forma de placas a fim de moldá-las de acordo com suas necessidades. Daí uma das causas da grande geração de resíduos, pois a maioria das produções com este material são feitas utilizando moldes, que inevitavelmente gera retalhos que então não tem mais utilidade, levando assim ao descarte, que na maioria das vezes é feito de maneira inadequada.

Contudo, os resíduos gerados não são provenientes somente dos cortes das placas, mas também do processo de fabricação das próprias placas. Na fabricação das mesmas, depois de passar pelos processos de pesagem, mistura, cilindro, calandra e prensagem, é feito o acabamento das placas podendo ser por lixamento ou corte, produzindo assim um pó e bordas como resíduos, além de eventuais perdas de placas que não atingem os padrões exigidos (REIS, 2016). O pó gerado não é tão difícil de ser processado, diferentemente das sobras que tem um percentual de reaproveitamento de apenas 40% (ROCHA, 2008).

De acordo com Lopes *et al.* (2014), na região sul do Brasil a reciclagem dos resíduos de E.V.A. por fabricantes de calçados não é viável, pois necessita de separação dos componentes, o que acaba levando-os a optarem por pagar taxas para que estes resíduos sejam armazenados em aterros industriais. Já para Santos

(2013), os resíduos de E.V.A. podem ser parcialmente reciclados ao ser depositados em aterros sanitários controlados ou então destruídos, não sendo recomendável que o material seja queimado, devido a liberação de gases tóxicos na atmosfera. Portanto, seu uso na construção civil não deve ser ignorado pois além de contribuir com o meio ambiente minimizando impactos ambientais, pode ser uma alternativa economicamente viável para diversas técnicas construtivas, tornando-se assim uma solução ecologicamente correta tanto para a indústria de calçados, que terá uma solução alternativa para tratar seus resíduos, quanto para a construção civil, que passará a explorar menos recursos naturais do planeta.

Um estudo realizado por França et al. (2007), com 66 empresas do setor calçadista identificou que são gerados 3.634 kg de aparas e retalhos sintético por mês na região de Campina Grande, na Paraíba, o equivalente a 43,6 toneladas por ano, sendo que o desperdício da matéria-prima gira em torno de 8% a 10%. Salienta ainda o autor que, os resíduos provenientes do material sintético, supera qualquer outro tipo de material utilizado na confecção de calçados, porém o sintético é o que mais tem potencial reciclável.

Em um levantamento realizado por Garlet (1998), estimou-se que no Brasil são descartadas 550 toneladas por mês de resíduos de E.V.A. Uma quantidade consideravelmente grande visto que o material possui baixa densidade e grande volume. Quanto ao licenciamento ambiental, estudos de França et al. (2007), com 66 empresas de calçados da região de Campina Grande – PB, revelou que 86,4% das fábricas não possuem licenciamento ambiental e o montante total de resíduos sintéticos gerados por essas empresas chega a 43,6 toneladas por ano.

Contribuições de Rocha (2008), revelam que a maior parte da indústria calçadista utiliza o método de cortes múltiplos por moldes em mantas de E.V.A., e que esse método gera um percentual de perda de 30% da peça. Segundo o mesmo autor, alguns fabricantes que utilizam o E.V.A. como matéria prima, tem vendido seus resíduos para as indústrias de cimentos que aproveitam o potencial combustível do E.V.A. nos seus fornos de fabricação. Porém, esse processo pode acarretar em contaminação do cimento durante sua fabricação devido ao sulfato extra que vem incorporado no E.V.A. Com esse sulfato a mais contido no cimento, há uma grande chance de ocorrer deterioração do concreto ao longo do tempo.

2.3 CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE E.V.A.

Estudos direcionados a utilização de E.V.A. na construção civil tem atingido grande êxito na obtenção de um novo tipo de concreto, porém grande parte destes estudos visa obter um concreto leve utilizando o E.V.A. como agregado graúdo. Pouco se sabe sobre seu comportamento quando preparado com E.V.A. como agregado miúdo.

Estudos experimentais de Garlet (1998), analisou o comportamento do concreto produzido com resíduos de E.V.A em substituição ao agregado graúdo. O autor utilizou o E.V.A. com três diâmetros diferentes, 12 mm, 9,5 mm e 6,3 mm, sendo que para cada diâmetro foi incorporado 60, 70 e 80% de E.V.A. como agregado graúdo. Vale salientar que o agregado com diâmetro de 9,5 mm tinha inicialmente dimensões de 12 mm e foi sujeito a tratamento térmico por trinta minutos em água a 100°C. Reitera o autor que a resistência à compressão é função direta da densidade do concreto e depende do volume de agregado leve presente na mistura. Assim, nesse estudo, o maior valor de resistência à compressão encontrado aos 28 dias foi de 2,40 MPa para o traço com agregados de 9,5 mm e 60% de E.V.A. e o menor valor 1,12 MPa, para o traço com agregados com dimensões de 12 mm com 80% de substituição. Em relação a massa unitária, houve uma variação de 900 kg/m³ a 1320 kg/m³ sendo assim definido como um concreto leve de baixa massa unitária e moderada resistência. Assim, o autor concluiu que o E.V.A. com granulometria menor tem melhor desempenho e que o tratamento térmico não leva a resultados com grandes diferenças significativas, visto que deixa o processo oneroso, revelando que o E.V.A. com dimensões próximas a 6,3 mm tem melhores vantagens técnica e econômica. Porém o autor deixa claro que a resistência à compressão obtida nos diferentes traços não permite que este concreto seja utilizado estruturalmente.

Em outro estudo realizado por Filho et al. (2006), foi analisado o desempenho mecânico de blocos produzidos com E.V.A. em substituição ao agregado natural (areia). Neste estudo foram produzidos traços de 1:3 (cimento:agregados) e 1:5 (cimento;agregados), sendo que para o primeiro traço utilizou-se 60, 70 e 80% de agregado artificial leve no lugar do agregado natural e para o segundo traço utilizou-se 60% de agregado artificial no lugar da areia. O maior valor de resistência a

compressão encontrado na idade de 28 dias foi de 3,28 MPa para o traço 1:3 com incorporação de 60% de E.V.A. sendo este o único bloco que alcançou e ultrapassou a resistência mínima de 2,5 MPa exigidos pela norma de blocos de concreto simples. Logo, constatou-se que a resistência a compressão foi inversamente proporcional ao teor de incorporação de E.V.A. e que os blocos produzidos com E.V.A. são muito dúcteis se comparados aos de concreto convencional. Os valores de resistência a compressão de todos os blocos estão representados na Figura 2.

Figura 2 - Resultados do ensaio de Resistência à Compressão

| Tipo de bloco | Compósito | Traço (em volume) | Teor de EVA nas mistura | Eficiência | Resistência à compressão aos 28 dias | |
|------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | Bloco MPa | Painel MPa |
| EVA1 9cm x 19cm x 39cm | C ₁ | 1:3 | 60 | 0,52 | 3,28 | 1,70 |
| | C ₂ | | 70 | 0,64 | 2,18 | 1,39 |
| | C ₃ | | 80 | 0,79 | 1,29 | 1,03 |
| | C ₄ | 1:5 | 60 | - | 1,30 | - |

Fonte: Filho et al. (2006)

De acordo com pesquisas realizadas a respeito deste tema, uma das grandes vantagens da utilização do E.V.A. como agregado é a diminuição da carga total sobre uma estrutura, ou seja, para uma mesma espessura de concreto é possível melhorar a relação resistência/peso da estrutura. O resultado dessa diminuição de peso se deve ao uso desse tipo de agregado leve no concreto.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada constituiu-se em realizar pesquisa bibliográfica exploratória descritiva dos conteúdos relacionados e fabricar os dois tipos de concreto, o convencional e o com adição de E.V.A. como agregado miúdo, e fazer as devidas análises com a finalidade de comparar ambos. Os parâmetros de pesquisa comparativa restringiram-se na correlação do abatimento (Slump Test), massa específica e resistência à compressão. Para tal, foram utilizados os materiais básicos necessários para a produção de concreto, os quais estão descritos posteriormente.

3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O cimento utilizado para a pesquisa foi o CP III – Cimento Portland de Alto Forno, adquirido e devidamente estocado conforme as orientações normativas. A caracterização do cimento está representada na Figura 3.

Figura 3 - Propriedades Físicas e Mecânicas do Cimento CP III

| Características e propriedades | | Unidade | Limites | | |
|----------------------------------|---------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| | | | CP III-25 | CP III-32 | CP III-40 |
| Finura (Resíduo na peneira 75µm) | | % | - 8,0 | - 8,0 | - 8,0 |
| Tempo de início de pega | | h | ~ 1 | ~ 1 | ~ 1 |
| Expansibilidade a quente | | mm | - 5 | - 5 | - 5 |
| Resistência à compressão | 3 dias de idade | MPa | ~ 8,0 | ~ 10,0 | ~ 12,0 |
| | 7 dias de idade | MPa | ~ 15,0 | ~ 20,0 | ~ 23,0 |
| | 28 dias de idade ^(A) | MPa | ~ 25,0 | ~ 32,0 | ~ 40,0 |

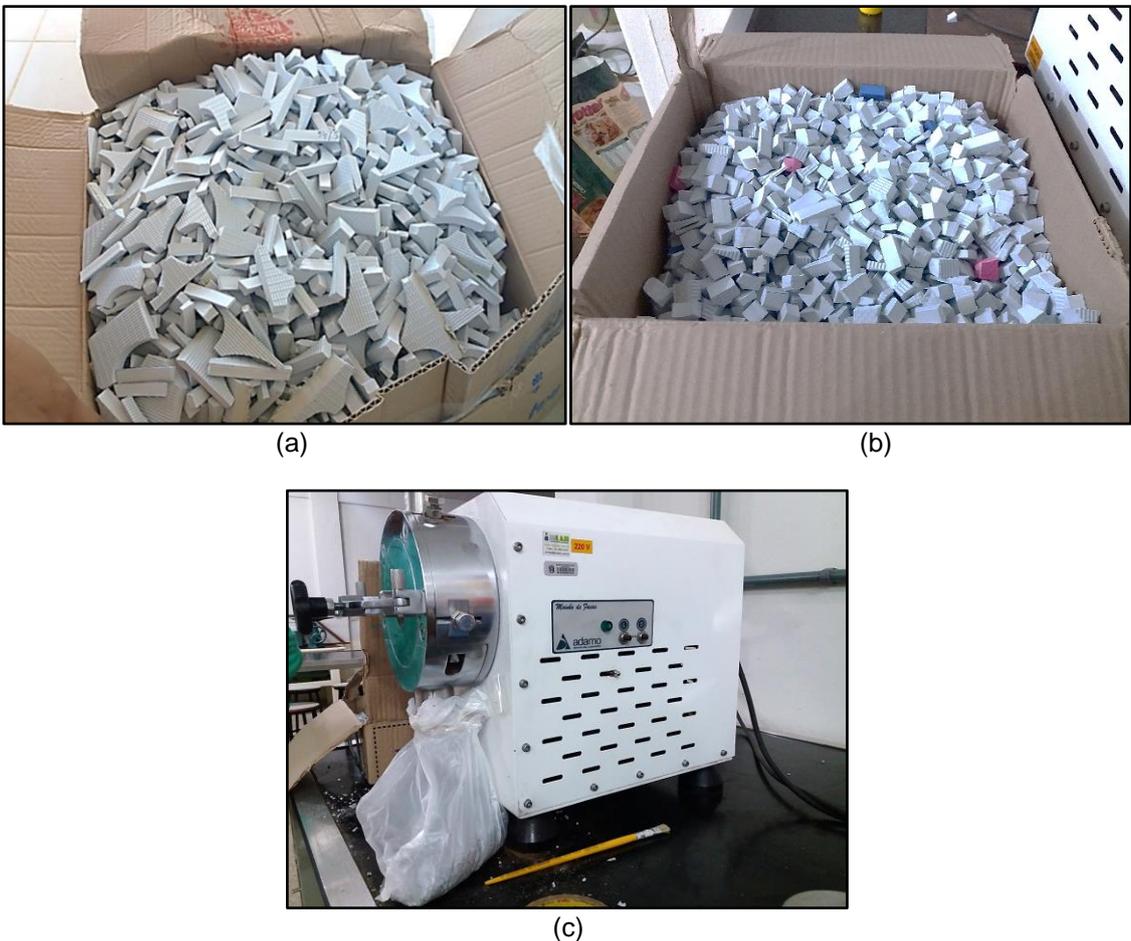
Fonte: NBR 5735 (1991).

Na pesquisa foi utilizada uma areia média como agregado miúdo natural e brita de origem granítica número um (25 mm) como agregado graúdo, ambos de fornecimento das Faculdades Integradas de Aracruz. A estocagem era feita em caixas de madeira com tampa, para evitar contaminação com outros materiais.

O E.V.A. utilizado neste estudo como agregado miúdo reciclado, (Figura 4-a) foi fornecido por uma microempresa de produção de chinelos localizada na cidade de Colatina, Espírito Santo. Segundo a empresa, o volume de E.V.A. descartado semanalmente gira em torno de 5 a 8 sacos de lixo de 100 litros, sendo que cada saco cheio pesa em média 6 kg.

De posse do material, os autores optaram por cortar manualmente o E.V.A. (Figura 4-b) a fim de facilitar a trituração no moinho de facas (figura 4-c).

Figura 4 – Etapas de preparação do EVA: (a) E.V.A. fornecido pela microempresa; (b) E.V.A. cortado manualmente; (c) Moinho de facas.



Fonte: Autores (2017).

Para que o E.V.A. tivesse dimensões parecidas com a do agregado natural (areia média), foi necessário tritura-lo em três malhas de tamanhos diferentes no moinho de facas. Posteriormente, o E.V.A. foi peneirado por oito minutos no agitador

mecânico (Figura 5) com peneiras com aberturas de malha de 1,18 mm e 0,300 mm (Figura 6).

Figura 5 – Agitador mecânico utilizado no peneiramento



Fonte: Autores (2017).

Figura 6 – Peneiras utilizadas



Fonte: Autores (2017).

O E.V.A que ficava retido na peneira de 1,18 mm era separado para ser triturado novamente e o E.V.A. retido na peneira de 0,300 mm já tinha dimensões

aproximadas ao do agregado natural areia, sendo este o utilizado na confecção dos corpos de prova. Observou-se significativa perda com este método de trituração visto que, o material passante na peneira de 0,300 mm e retido no fundo era de quantidade significativa e de granulometria muito fina, portanto inutilizável neste trabalho (Figura 7).

Figura 7 – Resultado do EVA peneirado



Fonte: Autores (2017).

3.3 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

3.3.1 Dosagem

Os concretos foram dosados de acordo com o método empírico, o qual é bastante empregado em pequenas obras e utiliza tabelas com traços já definidos. A tabela escolhida para definir o traço foi fornecida pelo laboratório de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz e encontra-se representada na Figura 8.

O traço foi escolhido baseado na resistência à compressão desejada aos 28 dias, no caso 1 : 2,17 : 2,44 em massa, com previsão de resistência à compressão de 29,8 MPa. Após observações empíricas, considerando a consistência do concreto, a relação água/cimento para o traço mencionado foi de 0,47. A trabalhabilidade

atingida foi de 10 ± 2 cm, medida conforme descrito na norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 8 – Tabela utilizada para definição do traço

| TABELA CONSUMO DE MATERIAIS POR M ³ DE CONCRETO | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------|-------|-------------|-----------|-----------|--------------------|------------------------|---|--------|---------|--------------------------|
| TRAÇO EM VOLUME | CONSUMO POR M ³ DE CONCRETO | | | | | | | | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (provável) - MPa | | | TRAÇO EM MASSA C : A : B |
| | CIMENTO | | | AREIA | | BRITA | | ÁGUA | 3 dias | 7 dias | 28 dias | |
| C : A : B | kg | Saca 50kg | Litro | Seca (L) | Úmida (L) | Nº. 1 (L) | Nº. 2 (L) | Litros para areia seca | | | | |
| 01:01:02 | 514 | 10,3 | 363 | 363 | 465 | 363 | 363 | 226 | 22,8 | 30 | 40 | 1 : 1,08 : 1,96 |
| 01:1.5:03 | 387 | 7,7 | 273 | 409 | 524 | 409 | 409 | 189 | 18,8 | 25,4 | 35 | 1 : 1,63 : 2,94 |
| 01:02:2.5 | 374 | 7,5 | 264 | 528 | 676 | 330 | 330 | 206 | 14,8 | 20,8 | 29,8 | 1 : 2,17 : 2,44 |
| 01:02:03 | 344 | 6,9 | 243 | 486 | 622 | 364 | 364 | 210 | 11,7 | 17,2 | 25,4 | 1 : 2,17 : 2,94 |
| 01:2.5:03 | 319 | 6,4 | 225 | 562 | 719 | 337 | 337 | 207 | 10 | 15 | 22,8 | 1 : 2,71 : 2,94 |
| 01:02:04 | 297 | 5,94 | 210 | 420 | 538 | 420 | 420 | 202 | 9 | 13,7 | 21 | 1 : 2,17 : 3,92 |
| 1 : 2.5 : 3.5 | 293 | 5,86 | 207 | 517 | 662 | 362 | 362 | 208 | 8 | 12,3 | 19,5 | 1 : 2,71 : 3,42 |
| | 276 | 5,5 | 195 | 487 | 623 | 390 | 390 | 201 | 7,4 | 11,4 | 18,5 | 1 : 2,71 : 3,92 |
| 01:2.5:05 | 246 | 4,9 | 174 | 435 | 557 | 435 | 435 | 195 | 5,8 | 9,4 | 15,7 | 1 : 2,71 : 4,89 |
| 01:03:05 | 229 | 4,6 | 162 | 486 | 622 | 405 | 405 | 202 | 4 | 7 | 12,4 | 1 : 3,25 : 4,89 |
| | 208 | 4,2 | 147 | 441 | 564 | 441 | 441 | 198 | 3 | 5,4 | 10 | 1 : 3,25 : 5,87 |
| 01:04:08 | 161 | 3,2 | 114 | 456 | 584 | 456 | 456 | 194 | Não | Não | Não | 1 : 4,34 : 7,83 |
| DADOS GERAIS | | | AREIA | BRITA 1 e 2 | | CIMENTO | SACA DE CIMENTO | | FATOR DE CONVERSÃO | | | |
| MASSA ESPECÍFICA REAL | | | 2,62 | 2,56 | | 3,05 | 50kg = 35,3 litros | | 1MPa = 10kgf/cm ² | | | |
| MASSA ESPECÍFICA APARENTE | | | 1,54 | 1,39 | | 1,42 | | | | | | |

Fonte: Fornecida pelo laboratório das Faculdades Integradas de Aracruz (2017).

Para uma melhor comparação dos dados de correção no traço dos concretos produzidos com EVA, foi utilizado o mesmo traço na produção de todos os concretos. A relação de consumo dos materiais utilizados em cada traço, estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação do consumo de materiais

| Mistura | Traço Unitário | Relação a/c | Cimento | Areia | Brita | E.V.A. |
|--------------|--------------------------|-------------|---------|-------|-------|--------|
| Convencional | 1 : 2,17 : 2,44 | 0,47 | 1 | 2,17 | 2,44 | - |
| Concreto 1 | 1 : 2,06 : 0,1085 : 2,44 | 0,47 | 1 | 2,06 | 2,44 | 0,1085 |
| Concreto 2 | 1 : 1,84 : 0,3255 : 2,44 | 0,47 | 1 | 1,84 | 2,44 | 0,3255 |
| Concreto 3 | 1 : 1,63 : 0,5425 : 2,44 | 0,47 | 1 | 1,63 | 2,44 | 0,5425 |

Fonte: Autores (2017).

3.3.2 Produção do Concreto Convencional

O concreto convencional foi preparado e moldado de acordo com o prescrito na NBR 12655/2015 e NBR 5738/2015. Para a composição do traço utilizou-se cimento CP III 40 RS (Cimento Portland Alto-Forno) e agregados, gráudo brita nº 1 e miúdo areia média de rio. O traço escolhido foi 1 : 2,17 : 2,44 em massa com previsão de resistência a compressão de 29,8 MPa em 28 dias.

Utilizou-se uma betoneira para a mistura dos materiais, por este motivo foi necessário adicionar uma quantidade maior de material do que seria realmente utilizado para a produção dos corpos de prova. Iniciou-se a preparação colocando primeiro a brita e metade da água. Deixou-os misturando por alguns instantes seguindo adicionando o cimento, a areia e o restante da água, deixando a mistura rodar na betoneira por aproximadamente 3 minutos.

Após a mistura realizou-se o teste de abatimento do concreto (Figura 8) seguindo os procedimentos descrito na NBR NM 67/1998. O resultado foi um abatimento de 14 cm, sendo então necessário melhorar a trabalhabilidade deste concreto corrigindo o traço para alcançar um abatimento entre 6 e 8 cm.

Figura 9 – Abatimento do concreto convencional



Fonte: Autores (2017).

Com a correção do traço foi possível obter o abatimento desejado. Adicionou-se mais 1 kg de areia, 1,5 kg de brita e 0,5 kg de cimento. O resultado do abatimento foi de 8,0 cm (Figura 9). As quantidades totais de materiais utilizados na confecção deste concreto estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Total de material utilizado na produção do concreto convencional

| Cimento (kg) | Areia (kg) | Brita (kg) | Água (litros) | Abatimento (cm) |
|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| 8,5 | 18,360 | 21,020 | 4 | 8,0 |

Fonte: Autores (2017).

Figura 10 - Abatimento do concreto convencional após correção do traço



Fonte: Autores (2017).

3.3.3 Produção do Concreto com E.V.A.

O concreto produzido com resíduos de E.V.A. seguiu as mesmas diretrizes apresentadas no item anterior para a confecção do concreto convencional, porém substituindo o E.V.A. pela areia em percentuais diferentes.

Foram produzidos três traços com 5%, 15% e 25% de E.V.A., denominados Concreto 1, Concreto 2 e Concreto 3, respectivamente. Todos os traços foram confeccionados a partir do traço original (1 : 2,17 : 2,44), e corrigidos empiricamente a partir do teste de abatimento. A quantidade total de material utilizado nos três traços e o resultado do teste de abatimentos estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Total de material utilizado na produção dos concretos

| Concreto (nº) | Cimento (kg) | Areia (kg) | Brita (kg) | Água (litros) | E.V.A. (kg) | E.V.A. (%) | Abatimento (cm) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1 | 11 | 16,492 | 19,520 | 5,5 | 0,868 | 5 | 6 |
| 2 | 12 | 14,756 | 19,520 | 6 | 2,604 | 15 | 8 |
| 3 | 16 | 13,020 | 19,520 | 12 | 4,340 | 25 | 6 |

Fonte: Autores (2017).

3.4 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Tanto o concreto convencional quanto o concreto com E.V.A. foram moldados e curados de acordo com a NBR 5738/2015. Foram utilizados moldes cilíndricos de aço medindo 10 cm de diâmetro e 35 cm de comprimento. Os moldes foram lubrificados com vaselina antes de serem preenchidos com concreto.

O adensamento foi feito manualmente utilizando uma haste de aço. Foram introduzidas duas camadas de concreto nos moldes aplicando posteriormente doze golpes, repetindo o procedimento posteriormente mais uma vez até cobrir os moldes. Para que não formasse vazios no concreto, foram aplicados alguns golpes do lado externo dos moldes para então finalizar a moldagem realizando o rasamento da superfície com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Após os procedimentos citados a cima, identificou-se os moldes e deixou-os em superfície plana por 24 horas (Figura 10). Passado o tempo de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e levado para cura em água limpa e natural onde permaneceu submerso em caixa fechada até as datas de rompimento (Figura 11).

Figura 11 – Moldagem dos Corpos de Prova



Fonte: Autores (2017).

Figura 12 – Cura dos Corpos de Prova



Fonte: Autores (2017).

3.5 PROPRIEDADES DOS CONCRETOS AVALIADAS

A resistência à compressão dos concretos foi determinada segundo as recomendações da NBR 5739 (ABNT,2007). O ensaio foi realizado aos 7, 14, 21 e

28 dias em uma prensa hidráulica (Figura 12). Para cada dosagem foram ensaiados 8 corpos de prova, sendo 2 corpos de prova para cada de idade de cura.

A resistência à compressão dos corpos de prova é dada pela relação:

$$F_c = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \times \frac{9810}{10^6}$$

Onde:

F_c = Resistência à compressão em megapascais;

Q = Carga máxima alcançada em tonelada força;

D = Diâmetro do Corpo de Prova em metros.

Figura 13 – Prensa hidráulica utilizada no ensaio de Resistência à Compressão



Fonte: Autores (2017).

A massa específica dos concretos no estado endurecido foi determinada de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987) – “Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

Para medir esta propriedade, os corpos de prova foram inseridos em estufa, após o tempo de 28 dias de cura, por um período de 72 horas a 100 °C e assim

determinada a sua massa seca (M_s). Completada a secagem em estufa, procedeu-se a imersão em água á temperatura de 23 °C durante 72 horas para a determinação da massa do corpo de prova saturado (M_{sat}). Por fim após o processo de saturação, foi feita a pesagem em balança hidrostática para obtenção da massa do corpo de prova saturado, imerso em água (M_i).

Para a obtenção do resultado da massa específica dos concretos utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{M_s}{M_{sat} - M_i}$$

Onde:

M_s = Massa seca;

M_{sat} = Massa saturada;

M_i = Massa ao ser imerso em água.

4 RESULTADOS

4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

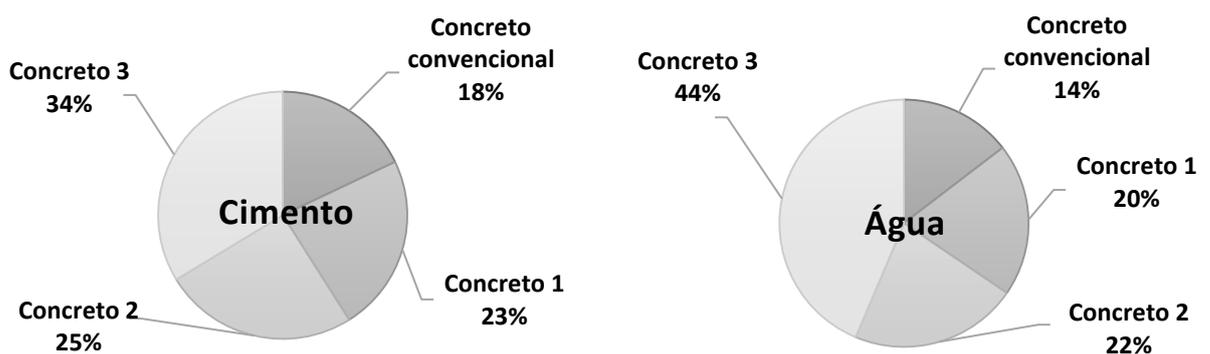
Devido ao aumento de E.V.A. nas misturas, houve necessidade de corrigir todos os traços, aumentando a quantidade de cimento e de água na mistura, e consequentemente alterando a relação água/cimento (Tabela 5). A variabilidade de cada material encontra-se exemplificado no Gráfico 1.

Tabela 5 – Relação água/cimento dos concretos com E.V.A.

| Concreto (nº) | Cimento (kg) | Água (litros) | Relação A/C |
|---------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 | 11 | 5,5 | 0,5 |
| 2 | 12 | 6 | 0,5 |
| 3 | 16 | 12 | 0,75 |

Fonte: Autores (2017).

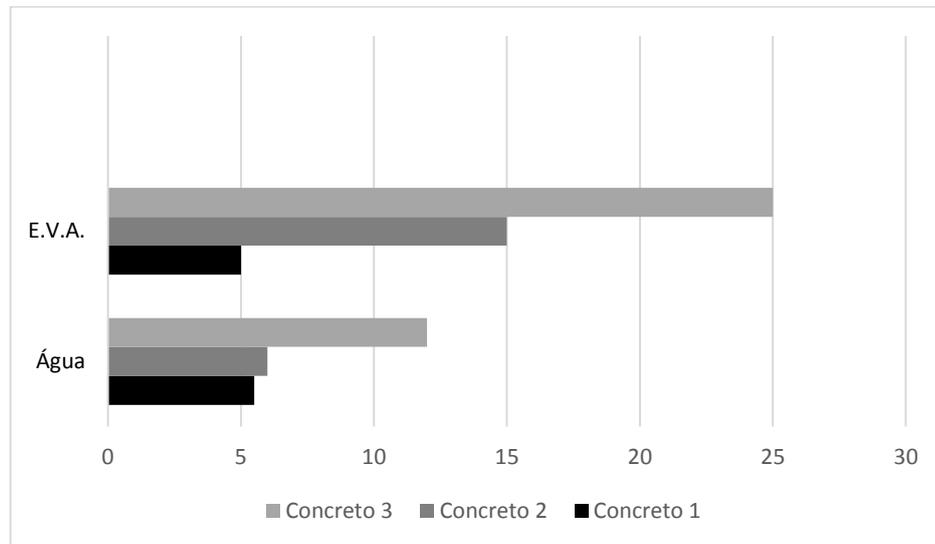
Gráfico 1 – Variação da quantidade de cimento e água em cada mistura



Fonte: Autores (2017).

A relação do aumento de água em função do aumento de E.V.A. encontra-se exposto no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Aumento de água em função do E.V.A.



Fonte: Autores (2017).

Os valores de abatimento do tronco de cone encontram-se apresentados na Tabela 6 para cada concreto produzido. Os resultados mostram uma variabilidade no ensaio de determinação do índice de consistência dos concretos.

Tabela 6 - Resultados da relação da correção do traço pelo abatimento

| Mistura | Correção do Traço (%) | Abatimento (cm) |
|--------------|-----------------------|-----------------|
| Convencional | - | 8,0 |
| Concreto 1 | 30 | 6,0 |
| Concreto 2 | 41 | 8,0 |
| Concreto 3 | 88 | 6,0 |

Fonte: Autores (2017).

O índice de consistência inicialmente estipulado foi de 10 ± 2 cm. Para que esse índice fosse atendido, foram realizadas correções no traço, onde era possível, de forma gradual, até que o abatimento desejado fosse encontrado. Para os concretos de referência e o concreto 2 (com 15% de E.V.A. e 85% de areia), os limites impostos foram obedecidos, ressaltando a correção em 41% do traço no concreto 2.

Pode-se notar, pelos resultados obtidos na Tabela 5, que nos concretos compostos por 5% e 25% de E.V.A. os valores não obedeceram a faixa de trabalhabilidade prevista.

4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Massa Específica

Os valores de massa específica apresentados na Tabela 7 foram determinados de acordo com as especificações da NBR 9778 (ABNT, 1987).

Nota-se que existe uma tendência à redução do valor da massa específica à medida que ocorre substituição do agregado natural por agregado de E.V.A. A alta porosidade, a textura esponjosa e o aumento da quantidade de agregado de E.V.A. contribuem para a diminuição da massa específica do concreto.

Percebe-se uma redução de 42% do valor da massa específica do concreto produzido com 5% de E.V.A. Para o caso do concreto com 25% de E.V.A., a diminuição chega a ser de 60%. Os valores menores de massa específica para os concretos compostos por agregado de E.V.A. são justificados pela densidade do E.V.A., que quando comparada a massa específica do agregado natural apresenta valores menores.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de Massa Específica

| Mistura | Massa Específica (kg/m³) |
|----------------|--|
| Convencional | 2300 |
| Concreto 1 | 1333 |
| Concreto 2 | 1307 |
| Concreto 3 | 910 |

Fonte: Autores (2017).

4.2.2 Resistência à Compressão

Os resultados da resistência à compressão servem de parâmetro para análise de diversas outras propriedades do concreto. Através da resistência à compressão, os calculistas dimensionam estruturas e também é possível classificar os concretos em estruturais, de isolamento ou leves.

Diversos fatores contribuem para reduzir a resistência dos concretos, a destacar a quantidade de água na mistura, porosidade de seus agregados, e o processo de moldagem e de cura. De uma forma geral, é muito importante que as técnicas necessárias para confecção, moldagem e cura sejam rigorosamente obedecidas dentro dos padrões, para que estas não venham interferir no resultado final da resistência do concreto.

A análise da resistência à compressão a que os concretos foram submetidos foi realizado aos 7, 14, 21 e 28 dias. Os resultados podem ser visualizados na tabela abaixo.

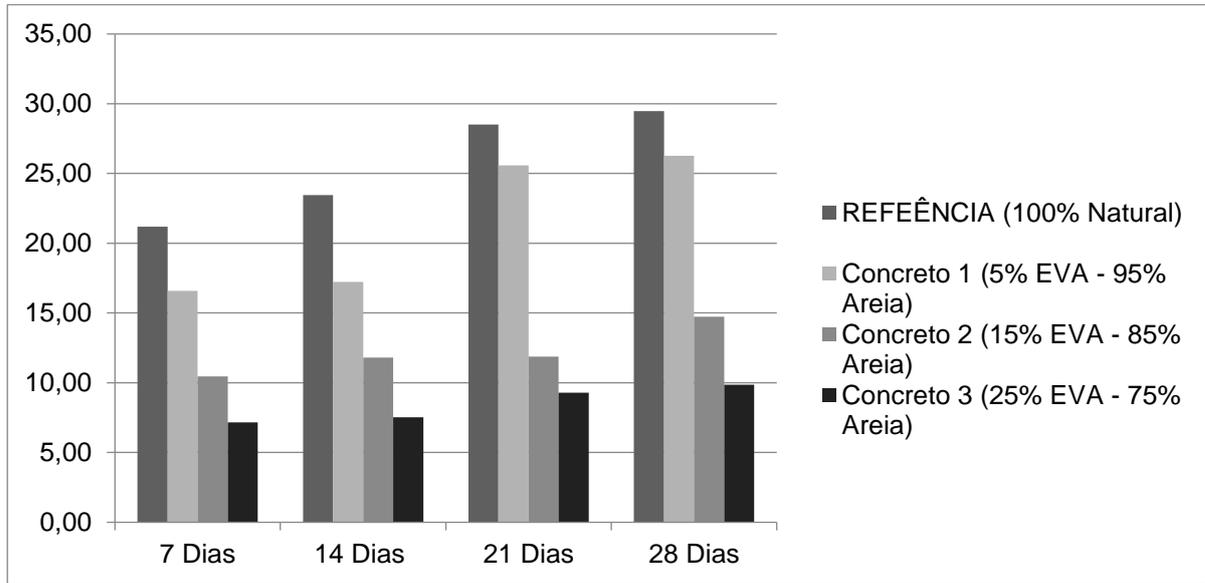
Tabela 8 – Resultados do ensaio de Resistência à Compressão em MPa

| Mistura | 7 dias | 14 dias | 21 dias | 28 dias |
|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Convencional | 21,18 | 23,46 | 28,50 | 29,48 |
| Concreto 1 | 16,59 | 17,22 | 25,57 | 26,27 |
| Concreto 2 | 10,46 | 11,80 | 11,88 | 14,73 |
| Concreto 3 | 7,17 | 7,53 | 9,29 | 9,86 |

Fonte: Autores (2017).

No gráfico abaixo encontra-se relacionados os valores de resistências à compressão de todos os concretos. Verifica-se que o concreto com apenas 5% de E.V.A. apresenta um decréscimo de 9,5 % no valor da resistência final aos 28 dias, quando comparado com o concreto de referência. Os concretos compostos por 15% E.V.A. e 25% EVA apresentam valores 50% e 66,5% menores que o concreto de referência, respectivamente. Pode-se concluir que o agregado de E.V.A. é o principal causador da diminuição da resistência.

Gráfico 3 – Resultados da Resistência à Compressão



Fonte: Autores (2017).

4.2.3 Relação entre a Massa Específica e a Resistência à Compressão

Os concretos são classificados conforme a NBR 8953 (ABNT,1992) em grupos de resistência, grupo I e grupo II, conforme a resistência característica à compressão. Dentro dos grupos, os concretos com massa específica seca entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, são classificados como Concretos Normais, simbolizados pela letra C.

Já os concretos com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987), com valores menores que 2000 kg/m³, são designados pelo símbolo CL (Concreto Leve) seguido do valor da resistência característica à compressão, expressa em MPa.

A Tabela 9 apresenta a classificação e os resultados encontrados na pesquisa para estas propriedades.

Tabela 9 – Relação Massa específica e Resistência à Compressão

| Mistura | Massa Específica (kg/m³) | Resistência à Compressão (Mpa) | Classificação |
|----------------|--|---------------------------------------|----------------------|
| Referência | 2300 | 29,48 | C |
| Concreto 1 | 1333 | 26,27 | CL |
| Concreto 2 | 1307 | 14,73 | CL |
| Concreto 3 | 910 | 9,86 | CL |

Fonte: Autores (2017).

Nota-se que os concretos confeccionados para objeto de estudo desta pesquisa, se enquadram na classificação de concreto leve sem fins estruturais, por possuírem massa específica menor que 2000 kg/m³. Entretanto, pode-se observar que o Concreto 1 (5% E.V.A. e 95% areia), atende aos parâmetros de Concreto Leve Estrutural por possuir resistência à compressão maior que 15 MPa.

5 CONCLUSÃO

Espera-se que este trabalho tenha contribuído para mais uma etapa na busca por uma construção sustentável, viabilizando a utilização dos resíduos de E.V.A. em concretos, sendo uma alternativa para minimizar o impacto ambiental causado por estes resíduos. Com base no tipo de agregado reciclado utilizado, no teor de substituição do agregado natural pelo reciclado e nos resultados encontrados nesta pesquisa, pode-se afirmar o seguinte:

- a) Os concretos produzidos com agregado reciclado de E.V.A., apresentaram valores menores de massa específica, e quanto maior o teor de substituição do agregado reciclado, menor foi esse valor;
- b) Quanto maior o teor de substituição do agregado miúdo por E.V.A., menores as resistências à compressão dos concretos estudados. Os agregados reciclados de E.V.A., sendo menos resistentes e menos rígidos, contribuem para reduzir a resistência;
- c) A quantidade de água na mistura foi proporcional a quantidade de E.V.A., devido sua alta absorção.

Dessa forma conclui-se que, a utilização dos resíduos de E.V.A. na fabricação de concretos neste estudo não atingiu os valores de resistência esperado, no caso 29,8 MPa. Além disso, os concretos produzidos com 15% e 25% de E.V.A., revelam-se inviáveis para serem utilizados em obras estruturais. Todavia, é necessário avaliar os parâmetros de aplicação para cada finalidade em que esse concreto será aplicado. É necessário também avaliar mais a fundo outras propriedades deste concreto como, seu índice de vazios, absorção de água, modo de elasticidade, entre várias outras propriedades que caracterizam os concretos para determinado fim.

É importante também analisar outras misturas com teores de E.V.A. diferentes das utilizadas nesta pesquisa, como também testar o uso de aditivos na mesma, visto que ao aumentar a quantidade de E.V.A. aumenta-se também a quantidade de água, o que gera uma diminuição drástica da resistência à compressão.

Vale destacar que o concreto 1, produzido com 5% de E.V.A., obteve resultados positivos, visto que sua resistência teve uma redução de apenas 10,89% em relação ao concreto produzido com materiais convencionais. Além disso, sua massa específica reduziu consideravelmente, passando de 2300 kg/m³ (concreto

convencional) para 1333 kg/m^3 , uma redução de 42,04%. Logo, este concreto mostra-se muito promissor, visto que consegue atingir os mesmos valores de resistência à compressão utilizados em elementos estruturais, porém com a grande vantagem de reduzir o peso próprio das estruturas.

Conclui-se também que, o método utilizado para a obtenção do E.V.A. como agregado miúdo neste trabalho revelou-se muito oneroso, isso devido a capacidade do moinho de facas utilizado. Porém, existe no mercado aparelhos com melhor potência e capacidade, o que certamente facilitará este processo. Vale ressaltar também que este método de trituração ocasiona perdas significativas de material, independente da malha utilizada no moinho de facas. Em todas elas há a formação de resíduos em forma de pó. Dos 10 kg de E.V.A triturados para realizar este estudo, aproveitou-se somente 7,812 kg, ou seja, foram perdidos 2,188 kg de E.V.A. na fase de trituração.

No sentido de contribuir para aumento do conhecimento sobre esse assunto, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Analisar a viabilidade financeira do concreto composto por resíduos de E.V.A.;
- Verificar a viabilidade técnica da substituição dos agregados naturais por agregados de E.V.A. na produção de blocos ou pavimentos permeáveis, uma vez que este material se mostrou ser bastante poroso;
- Testar diferentes misturas com diferentes proporções e dimensões de E.V.A. e agregados naturais, como também testar misturas com incorporação de aditivos;
- Analisar a vida útil deste concreto, bem como estudar seu comportamento quando exposto a altas temperaturas e ambientes corrosivos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Panorama setorial: plásticos**. 169 p.: il.; graf.; tab. (Série Cadernos da indústria ABDI V); Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/volume%206.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS – Abicalçados. **Exportações de calçados crescem 5% em fevereiro**. Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br/noticia/exportacoes-de-calcados-crescem-5-em-fevereiro/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

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 5738 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova**. 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.

BRAVO, Rafael Segantini. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. Dissertação – Mestrado em Estruturas. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2014.

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.

FRANÇA, Pollyanna X. Nunes; LEITE, Valderi D.; PRASAD, Shiva. **Análise dos Impactos Socioambientais das Micro e Pequenas Indústrias de Calçados Instaladas na Cidade de Campina Grande**. Artigo técnico. Revista Econômica do Nordeste, v. 38, nº 3. Fortaleza, 2007.

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: 18 jul. 2017.

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.

LOPES, Gabriela B.; BERLITZ, Vitória Gabriela; GERST, Vitória M.; SILVA, Schana Andréia da. **Avaliação da incorporação de resíduos de palmilha à base de EVA – Poli [(etileno)-co-(acetato de vinila)] – no gesso acartonado**. Artigo técnico. Disponível em: <
http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2015%2C%20n.%2023%20%282014%29%2F07.%20Palmilha.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

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

POLARI FILHO, Rômulo Soares. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA - Uma alternativa às alvenarias das construções**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

REIS, Antônio Ricardo Alencar. **Produção de placas expandidas de EVA**. Relatório de estágio supervisionado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química; Natal, 2016. Disponível em: <https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/2039/1/Producaodeplacas_Relatorio>. Acesso em 18 jul. 2017.

ROCHA, Fabiano de M. Duarte. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco EVA – Intertravamento e racionalização das alvenarias**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba – Centro de tecnologia. João Pessoa, 2008.

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.

SANTOS, Fabianne Azevedo dos. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br:8080/handle/tede/306>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS PLÁSTICOS DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS. **Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos** [recurso eletrônico] / Elaboração Técnica: Gilmar do Amaral... [et al.] ; Colaboradores: André H.C. Botto e Souza... [et al.]. – São Paulo : CETESB : SINDIPLAST, 2011. 90 p. : il. color. - - (Série P + L, ISSN 1982-6648). Disponível em: <http://file.sindiplast.org.br/download/guia_ambiental_internet.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

SPRATT, B. H. **Na Introduction to Lightweight Concrete**. Cement and Concrete Association. London, 1960.

VERDÚ, F. A. **Concretos leves**. Curso de aperfeiçoamento sobre materiais de construção. Porto Alegre, 1963.

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: 19 jul. 2017.