



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**



INSTITUTO POLITÉCNICO
MESTRADO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

Daniel Guida Andrade

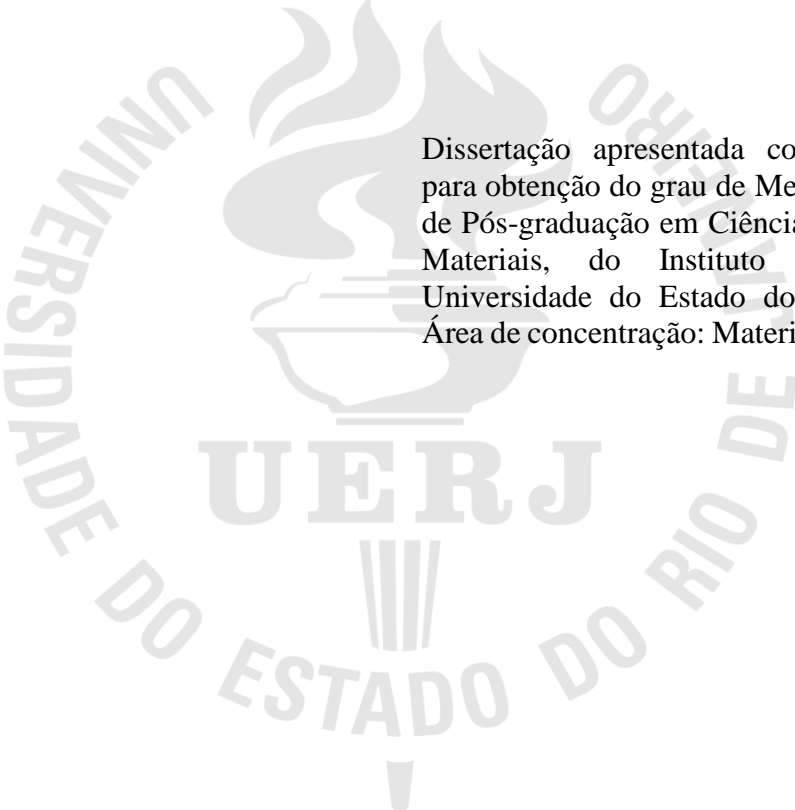
**Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em
concretos de cimento Portland**

Nova Friburgo

2017

Daniel Guida Andrade

Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em concretos de cimento Portland



Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Materiais não metálicos.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Teixeira de Assis

Nova Friburgo

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/E

A553 Andrade, Daniel Guida.

Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em concretos de cimento Portland / Daniel Guida Andrade. - 2017.
79 f. : il.

Orientador: Joaquim Teixeira de Assis.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico.

1. Cimento Portland - Teses. 2. Concreto – Mistura - Teses.
3. Acetato de vinila - Teses. 4. Resíduos – Reaproveitamento - Teses. 5. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) - Teses. I. Assis, Joaquim Teixeira de. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto Politécnico. III. Título.

CDU 624.012.4

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Daniel Guida Andrade

**Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em
concretos de cimento Portland**

Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Materiais não metálicos.

Aprovado em 31 de agosto de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Joaquim Teixeira de Assis
Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – UERJ

Profa. Dra. Marisa Cristina Guimarães Rocha
Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – UERJ

Prof. Dr. Carlos Ivan Ribeiro de Oliveira
Instituto Politécnico do Rio de Janeiro – UERJ

Prof. Dr. José Renato de Castro Pessôa
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC

Nova Friburgo

2017

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação de mestrado aos meus pais, irmãos, familiares e amigos que de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Catarina Maria Grazia Guida e a minha tia Anna Maria Guida, por serem sempre meus maiores exemplos e melhores professoras para o que há além dos livros e das salas de aula. Agradeço ao meu irmão Felipe Guida Andrade e a minha irmã Luisa Guida Andrade, por estarem sempre ao meu lado e por serem desde sempre meus melhores amigos.

Agradeço a todos os meus familiares que me ajudaram de diversas formas para que chegasse a este momento. Em especial a meu pai Willis, minha madrasta Regina, minha tia Leila e minhas primas Janaina e Juliana.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Joaquim por todo apoio e incentivo durante a execução deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos os professores e funcionários do IPRJ que apesar de todas as dificuldades desempenham um excelente serviço na formação de profissionais e cientistas para o país e para a vida.

O que for a profundezza do teu ser, assim será teu desejo.
O que for o teu desejo, assim será tua vontade.
O que for a tua vontade, assim serão teus atos.
O que forem teus atos, assim será teu destino.

Brihadaranyaka Upanishad IV, 4.5

RESUMO

ANDRADE, Daniel Guida. *Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em concretos de cimento Portland*, 2017. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

O aproveitamento de resíduos sólidos na produção de compósitos de matriz cimentícia tem mostrado resultados promissores nas últimas décadas, especialmente por oferecer uma destinação para materiais não biodegradáveis e reduzir a extração de agregados naturais. Este trabalho busca analisar a viabilidade e a influência da adição de resíduos de poli(etileno-co-acetato de vinila) - EVA - sobre a resistência mecânica em concreto de cimento Portland. O resíduo de EVA foi utilizado sem processamento. Foi realizada a caracterização por fluorescência de raios X (FRX) e análise termogravimétrica do resíduo de EVA. O resíduo de EVA, que apresentava granulometria similar àquela da brita 0, foi utilizado como substituto de parte dos agregado graúdo do concreto e foram preparados dois traços (50% e 100% de substituição em volume). A partir de cada uma das misturas obtidas foram confeccionados oito corpos-de-prova em formato cilíndrico conforme a norma NBR 5738 e duas placas retangulares de concreto para piso. Foram preparados também corpos-de-prova cilíndricos sem substituição de agregados que serviram como material de referência. Os ensaios de compressão axial foram realizados de acordo com a norma NBR 5739, na idade de 28 dias e neste mesmo período foram realizados os ensaios de tração por compressão diametral de acordo com a norma NBR 7222. O resíduo de EVA apresentou quantidade significativa de carbonato de cálcio, carga que pode provocar corrosão de armadura em estruturas de concreto armado. Também constatou-se que o resíduo de EVA apresenta teor de acetato de vinila de 28% e estabilidade térmica até a temperatura de 300°C. A substituição de agregado graúdo por resíduo de EVA nas proporções volumétricas usadas permitiu a produção de concreto leve. Para os dois traços experimentais obtidos pode-se notar uma redução da resistência à compressão axial e à tração com o aumento da fração volumétrica de substituição de agregados. O maior valor de resistência à compressão axial foi apresentado pelo traço de referência (23,10 MPa), e o menor valor foi apresentado pelo traço com 100 % de substituição de agregados por resíduos de EVA (0,98 MPa). O concreto obtido da substituição do resíduo leve foi um concreto leve, porém sem função estrutural. Sua utilização na placa para piso demonstrou ser viável nas dimensões utilizadas.

Palavras-chave: Concreto leve. EVA. Aproveitamento de resíduos. Caracterização. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

ANDRADE, Daniel Guida. *Analysis of feasibility of use of lightweight aggregate (EVA) in Portland cement concrete*, 2017. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

The use of solid waste in cementitious matrix composites has shown promising results in the last decades, especially for providing a final destination to non-biodegradable materials and for reducing natural aggregates extraction. This paper aims to analyze the feasibility and the influence of poly (ethylene co-vinyl acetate) - EVA - wastes additions on the Portland cement concrete mechanical strength. The EVA wastes were not processed at any time. The EVA waste characterization was carried out using X-Ray Fluorescence (XRF) spectroscopy and Termogravimetric Analysis (TGA) techniques. The EVA waste, that had similar granulometric compositions, was used as part substitutes of fine gravel and two mixtures were made (50% and 100% substitution, in volume). From each mixture, eight cylindrical shaped specimens, according to the NBR 5738 Brazilian Standard, and two rectangular floor plates were prepared. Eight cylindrical specimens were also made with no aggregate substitution in order to be the reference material. Axial compression tests were carried out according to the Brazilian Standard NBR 5739 and tensile strength through diametral compression test according to the NBR 7222, by the age of 28 days for both tests. EVA waste has shown significant amounts of calcium carbonate, a compound that can lead to corrosion of steel reinforcement in concrete. In addition, it could be verified an average vinyl acetate proportion of 28% and thermal stability until 300°C. Lightweight concrete was produced due to the substitution of fine gravel in both mixtures with specified EVA volumes. For both mixtures it was also noticeable the compression and tensile strength reduction with the EVA volume substitution increase. The highest axial compression strength was observed at the reference material (23,10 MPa), and the lowest strength was observed at the mixture of 100% aggregate substitution (0,98 MPa). The concrete produced from EVA waste substitution is a lightweight concrete with non-structural application. The floor plate shown to be feasible for the dimensions produced.

Keywords: Lightweight concrete. EVA. Waste reuse. Characterization. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila) (EVA).....	18
Figura 2 – Resíduo de placas expandidas de EVA.....	21
Figura 3 – Obras com concreto.....	22
Figura 4 – Componentes e fases do concreto.....	23
Figura 5 – Agregados do concreto.....	25
Figura 6 – Brita leve de resíduos de EVA.....	31
Figura 7 – Esquema de equipamento para análise de FRX.....	34
Figura 8 – Montagem experimental para ensaios de FRX.....	34
Figura 9 – Equipamento para análise termogravimétrica.....	35
Figura 10 – Equipamento para análise granulométrica.....	37
Figura 11 – Mistura dos componentes do concreto.....	42
Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova.....	42
Figura 13 – Corpos de prova após a moldagem.....	43
Figura 14 – Cura úmida dos corpos de prova.....	43
Figura 15 – Prensa hidráulica para ensaios de compressão no concreto.....	45
Figura 16 – Máquina de ensaio com dispositivo auxiliar de compressão diametral.....	47
Figura 17 – Assentamento das placas para piso de concreto.....	48
Figura 18 – Disposição das placas para piso de concreto.....	48
Figura 19 – Espectros de fluorescência para as amostras de EVA.....	49
Figura 20 – Corpo de prova após ensaio de resistência à compressão.....	64
Figura 21 – Placas de concreto após serem submetidas a carregamento variável.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento.....	24
Tabela 2 – Conjunto de peneiras da série normal e intermediária.....	36
Tabela 3 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	38
Tabela 4 – Traço de referência.....	40
Tabela 5 – Traço experimental 1.....	40
Tabela 6 – Traço experimental 2.....	41
Tabela 7 – Tolerância para a idade do ensaio.....	46
Tabela 8 – Resultado da análise de FRX.....	50
Tabela 9 – Limites da distribuição do agregado miúdo.....	54
Tabela 10 – Granulometria do agregado miúdo: areia.....	55
Tabela 11 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	56
Tabela 12 – Granulometria do agregado graúdo: brita 0.....	57
Tabela 13 – Granulometria do resíduo de EVA.....	58
Tabela 14 – Massa específica do traço de referência.....	60
Tabela 15 – Massa específica do traço experimental 1.....	60
Tabela 16 – Massa específica do traço experimental 2.....	61
Tabela 17 – Resistência à compressão axial do traço de referência.....	62
Tabela 18 – Resistência à compressão axial do traço experimental 1.....	62
Tabela 19 – Resistência à compressão axial do traço experimental 2.....	62
Tabela 20 – Resistência à tração por compressão diametral do traço de referência.....	65
Tabela 21 – Resistência à tração por compressão diametral do traço experimental 1.....	65
Tabela 22 – Resistência à tração por compressão diametral do traço experimental 2.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva termogravimétrica do resíduo de EVA.....	52
Gráfico 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	54
Gráfico 3 – Distribuição granulométrica da areia.....	55
Gráfico 4 – Faixas granulométricas dos agregados graúdos.....	56
Gráfico 5 – Distribuição granulométrica da brita 0.....	57
Gráfico 6 – Distribuição granulométrica do resíduo de EVA.....	59
Gráfico 7 – Massa específica média do concreto.....	61
Gráfico 8 – Resistência à compressão axial.....	63
Gráfico 9 – Resistência à tração por compressão diametral.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CD	Concreto Denso
CL	Concreto Leve
CP	Cimento Portland
EVA	Copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila)
FRX	Fluorescência de raios X
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
IPRJ	Instituto Politécnico do Rio de Janeiro
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
keV	Quilo elétron-volt
LEFI	Laboratório de Ensaios Físicos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
NM	Normalização no Mercosul
PET	Poli(Tereftalato de Etileno)
PP	Polipropileno
PVC	Poli(Cloreto de Vinila)
PS	Poliestireno
TGA	Análise Termogravimétrica
VA	Acetato de Vinila
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
	OBJETIVO	17
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1	Copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila)	18
1.1.1	<u>Aplicações do EVA</u>	19
1.1.2	<u>Reciclagem e reaproveitamento do resíduo de EVA</u>	20
1.2	Concreto	21
1.2.1	<u>Componentes do concreto</u>	22
1.2.1.1	Cimento Portland.....	23
1.2.1.2	Agregados.....	25
1.2.1.3	Água de amassamento.....	25
1.2.2	<u>Concreto leve</u>	26
1.2.2.1	Tipos de concreto leve.....	27
1.2.2.2	Concreto com agregados leves.....	27
1.3	Aplicação do resíduo de polímeros como agregado em concreto	28
1.3.1	<u>Aplicação do resíduo de EVA em concreto</u>	29
2	MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.1	Materiais	31
2.2	Métodos	32
2.2.1	<u>Fluorescência de raios X (FRX) do resíduo de EVA</u>	33
2.2.2	<u>Análise termogravimétrica (TGA) do resíduo de EVA</u>	35
2.2.3	<u>Análise granulométrica dos agregados</u>	36
2.2.4	<u>Traço e dosagem do concreto</u>	38
2.2.5	<u>Moldagem dos corpos de prova</u>	41
2.2.6	<u>Ensaio mecânicos</u>	44
2.2.6.1	Ensaio de compressão axial.....	44
2.2.6.2	Ensaio de tração por compressão diametral.....	46
2.2.6.3	Teste empírico de carga variável em placas de concreto para piso.....	47
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1	Análise de fluorescência de raios X do EVA	49
3.2	Análise termogravimétrica do resíduo de EVA	51

3.3	Análise granulométrica	53
3.3.1	<u>Análise granulométrica da areia</u>	53
3.3.2	<u>Análise granulométrica da brita 0</u>	56
3.3.3	<u>Análise granulométrica do resíduo de EVA</u>	58
3.4	Avaliação da massa específica do concreto	59
3.5	Resistência à compressão axial	62
3.6	Resistência à tração por compressão diametral	64
3.7	Teste empírico de carga variável em placas de concreto	66
	CONCLUSÃO	68
	TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS	71

INTRODUÇÃO

São notórias as melhorias que o desenvolvimento de novas tecnologias promove na qualidade de vida das pessoas. Também são sensíveis os prejuízos gerados pela maior necessidade de recursos e consequente aumento da produção de resíduos. Os hábitos de consumo, tanto das indústrias como da sociedade em geral, têm impulsionado de forma crescente a necessidade de melhor utilização dos insumos e consequente redução na geração de resíduos e poluição do meio ambiente. Segundo (LEITE, 2009), a ampliação da demanda passou a ser responsável pelo lançamento anual de milhares de toneladas de resíduos no meio ambiente.

A relação entre resíduos e problemas ambientais é mais evidente no campo dos resíduos sólidos, uma vez que seu grau de dispersão é bem menor do que o dos líquidos e gasosos (DEMAJOROVICK, 1995). Somadas a geração de resíduos sólidos, inerentes ao processo de fabricação e consumo, a exploração indiscriminada de recursos e matérias-primas emerge como um entrave ao modelo de desenvolvimento sustentável.

Em 2010, entrou em vigor no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305, que trata sobre a prevenção e a redução da geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos. Estes, conforme o Ministério do Meio Ambiente (2012), se manejados adequadamente adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos.

Classificar uma atividade como sustentável significa que ela pode ser continuada ou repetida em um futuro previsível (BERGON; HARPER; TOWNSEND, 2010). O conceito de sustentabilidade tem sido utilizado, cada vez mais para dar suporte a processos econômicos, envolvendo uma melhor utilização de recursos renováveis, da preservação dos não renováveis, e da reciclagem de materiais e resíduos (OLIVEIRA; LANDIM, 2013).

De acordo com (CROW, 2008), o concreto é o material mais amplamente utilizado na indústria da construção e a maioria das edificações o contém em alguma forma ou formato. Sua versatilidade e economicidade, relativa à gama de necessidades a que supre, o tornou muito competitivo. A produção de concreto para a indústria da construção civil é reconhecidamente uma atividade consumidora de recursos e associada com a emissão de grande quantidade de carbono.

Vários estudos realizados permitem dizer que o cimento, material associado à produção de concreto, é responsável por 5% de todas as emissões provocadas pelo homem, o que o caracteriza como um dos materiais mais relacionados às mudanças climáticas (WBCSD, 2007).

Neste contexto, os esforços e as pesquisas crescentes visando a redução dos danos e prejuízos acarretados pela indústria da construção civil se encontram com os estudos para reaproveitamento e solução para resíduos sólidos. Análises relacionadas a substituição parcial dos agregados de concreto por materiais de refugo e resíduos têm progredido muito nos últimos anos.

Ao substituir-se parte do agregado do concreto por resíduos é possível se beneficiar de duas formas: garantir uma destinação final para o resíduo sólido e reduzir os danos ambientais causados pela extração de insumos utilizados na produção de concreto. (FIORITI; AKASAKI, 2004) corroboram com a ideia de que a utilização de resíduos como matéria-prima na construção civil reduz a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente.

Dentre os diversos tipos de resíduos que podem ser utilizados como agregados na produção de concreto, destacam-se aqueles de origem polimérica como o polipropileno (PP), poli(tereftalato de etileno) (PET) e o poli(etileno-co-acetato de vinila) (EVA).

Este trabalho dá ênfase no reaproveitamento do resíduo de EVA, proveniente principalmente da indústria calçadista na forma de placas expandidas de EVA. Segundo estimativas da Associação Brasileira das Indústrias de Calçado (ABICALÇADOS, 2017) o Brasil produziu um total de 954 milhões de pares de calçados, entre os anos de 2015 e 2016. Nos estudos conduzidos por (ZATTERA et al., 2005) foi constatado que o processo de corte de chapas expandidas de EVA na indústria calçadista gera em torno de 18% em massa de refugos que ainda não possuem soluções adequadas de reuso ou reciclagem.

Os autores (DEBAPRIYA et al., 2009) e (LIMA FILHO, 2008) destacam a problemática relacionada ao aumento no volume de resíduos de EVA em aterros sanitários devido à baixa massa específica do material e ao fato de não serem biodegradáveis.

A viabilidade da aplicação do resíduo de EVA como substituto do agregado graúdo para a produção de concretos leves de cimento Portland sem função estrutural é o foco das análises deste estudo, seguindo as pesquisas iniciadas nas últimas duas décadas.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a viabilidade e potencialidades da aplicação de brita leve, produzidas a partir de resíduos de EVA, como agregado graúdo em concretos de cimento Portland.

Para alcançar o objetivo principal, será realizada a caracterização do resíduo de EVA sem processamento a partir de análises físicas e térmicas. Foi analisada ainda a influência da utilização do resíduo de EVA nas propriedades do concreto no estado endurecido.

A partir da realização ensaios mecânicos no concreto analisar os efeitos na resistência mecânica do concreto e avaliar as possíveis vantagens e desvantagens da substituição total ou parcial do agregado graúdo natural por brita leve de EVA.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

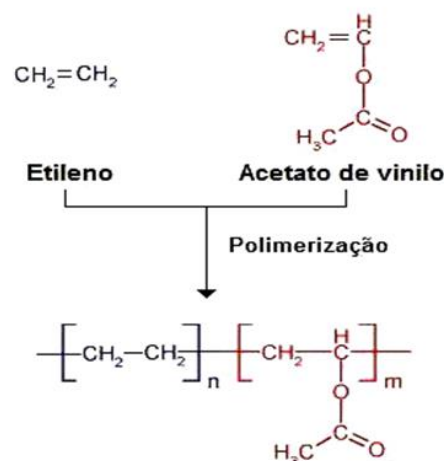
1.1 Copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila)

O termo polímero, criado em 1832 por Berzelius, origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (partes). Polímero é qualquer material orgânico ou inorgânico, sintético ou natural, que tenha um alto peso molecular e com variedades estruturais repetitivas, sendo que normalmente esta unidade que se repete é de baixo peso molecular (MANRICH, 2005). A essas unidades de repetição é que é dado o nome *mero*. As ligações covalentes são responsáveis pela união destas unidades, formando macromoléculas com estruturas lineares ou ramificadas (AKCELRUD, 2007).

Os polímeros podem ser classificados de diversas formas, dentre elas em relação a quantidade de monômeros presentes na molécula. Quando as unidades de repetição (monômeros) são do mesmo tipo, temos os chamados homopolímeros. Quando as unidades moleculares são de tipo diferente, temos os chamados copolímeros (CANEVAROLO Jr., 2002).

O copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila) (EVA) é formado pelo encadeamento de sequências aleatórias de polietileno e poli(acetato de vinila) (PVAc) (ZATTERA et al., 2005) como observado na Figura 1.

Figura 1 – Copolímero poli(etileno-co-acetato de vinila) (EVA)



Fonte: CAETANO, (2010-2014).

O EVA contém, geralmente, proporções que podem variar 1-50% em peso de (PVAc) ao longo da cadeia de carbono, as proporções de (PVAc) na composição têm influência direta em suas propriedades. (GUPTA, et al.,2005).

O processo de polimerização do EVA envolve altas pressões e temperaturas. De acordo com (PRESTES, 2013), o etileno é enviado para compressores e em seguida para o reator onde ocorre a polimerização e a decomposição térmica do peróxido. Logo após ocorre o envio do material para um compartimento de alta pressão para a adição do acetato de vinila, reduz-se a pressão e são inseridos os aditivos. Na sequência, o material é extrudado, granulado, seco, pesado e embalado.

(ALEMANY; JAVIER, 2003) destacam a importância da porcentagem de acetato de vinila para a determinação das propriedades físico-químicas do polímero. O polietileno é um termoplástico parcialmente cristalino que quando mesclado com um monômero flexível e polar, como o acetato de vinila, perde sua regularidade estrutural, aumentando assim a distância entre as cadeias poliméricas.

O aumento da distância entre cadeias poliméricas, de acordo com informações da (BRASKEM, 2009), um dos fabricantes do copolímero, provoca a diminuição de sua cristalinidade, sendo que quanto maior o teor de acetato de vinila maior a quantidade de fragmentos amorfos surgem, levando ao aumento de sua transparência, flexibilidade, resistência ao impacto, tensão na ruptura e adesão.

1.1.1 Aplicações do EVA

Segundo (ALPIRE-CHÁVEZ, 2007), a resina de EVA foi aplicada inicialmente em espumas, adesivos e filmes, quando surgiu na década de 60. A produção da espuma de EVA foi influenciada pela escassez de matéria-prima na crise do petróleo de 1973 e pela expansão acelerada da indústria calçadista na década de 70.

(MARQUES, 2015) apresenta algumas das diversas aplicações nas quais o EVA é utilizado, dentre estas pode-se citar: Revestimento de alimentos congelados, revestimento de papel, tubos compressíveis, solados, palmilhas e entressolas, fios flexíveis e revestimento de fios, revestimento de fraldas e aventais, entre outros.

Ainda assim, de acordo com (PREZOTTO, 1990), a principal aplicação industrial do EVA no Brasil é na indústria calçadista para confecção de placas reticuladas e expandidas, artigos para solados, palmilhas e entressolas.

O EVA utilizado na indústria calçadista, de acordo com (PRESTES, 2013), é uma versão reticulada do copolímero. A composição deste EVA possui por volta de 18-28% de acetato de vinila (VA). (ZATTERA et al., 2005). Os estudos de (ALEMANY e JAVIER, 2003) ressaltam que um conteúdo de acetato de vinila entre 24 e 28%, tipicamente utilizado na área calçadista, garante um equilíbrio entre as propriedades dos conteúdos cristalino e amorfo. Este equilíbrio é importante para promover a compatibilidade do EVA em misturas com outros polímeros, resinas, cargas e outros aditivos.

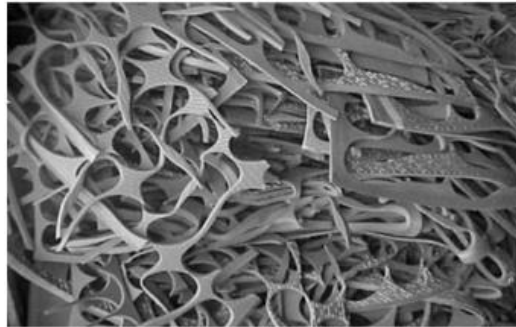
1.1.2 Reciclagem e reaproveitamento do resíduo de EVA

Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Calçado evidenciam que no ano de 2015 existiam no Brasil mais de 8 mil empresas no segmento calçadista que empregavam diretamente cerca de 355 mil pessoas e que produziam cerca de 900 milhões de pares de calçado por ano (ABICALÇADOS, 2015).

Segundo (FREIRE; LOPES, 2013), o aumento da atividade industrial é geralmente precedido pela maior exploração dos recursos naturais e tem como consequência uma maior geração de resíduos. É também coerente dizer que a produção de resíduos é indesejável sob a ótica econômica uma vez que caracteriza desperdício de insumos na transformação de bens e, por isso, devem ser incluídos no custo final da produção. De acordo com (FRACASSO; VIEGAS, 1998), considerando o plano da gestão ambiental, é elevado o volume de resíduos derivados da atividade produtiva na indústria calçadista.

Durante a fabricação do calçado geram-se resíduos na forma de retalhos das placas expandidas, usadas para a obtenção de solas e entressolas, como visto na Figura 2. O processo de corte de placas expandidas de EVA na indústria de calçados gera em torno de 18% em massa de refugos que ainda não possuem soluções adequadas de reuso ou reciclagem.

Figura 2 – Resíduo de placas expandidas de EVA



Fonte: ZATTERA et al., 2005.

O resíduo de EVA é um material atóxico e classificado pela norma da ABNT NBR 10004 de 2004 como um resíduo sólido não perigoso, não biodegradável e de acordo com (ILDEFONSO, 2007) não há reutilização dos resíduos provenientes da indústria calçadista.

O fato de serem materiais expandidos e de baixa densidade (podendo atingir até 0,15 g/cm³) faz com que uma das dificuldades no reaproveitamento dos resíduos de EVA do setor calçadista seja a fragmentação dos mesmos (ZATTERA et al., 2005). Ainda, as reticulações inviabilizam o processo convencional de reciclagem baseado em uma nova fusão, podendo o mesmo degradar o polímero (WIEBECK & PIVA, 1999)

De acordo com (PIMENTEL, 2005), há a possibilidade da aplicação dos resíduos de EVA na indústria de construção civil para fabricação de concreto leve, que é conhecido pelo baixo peso específico e elevada capacidade de isolamento acústico em aplicações de até 60% em volume de agregado.

1.2 Concreto

O concreto é por definição da *American Society for Testing Materials* (ASTM C125, 2000) um material compósito que consiste essencialmente de um meio ligante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas (agregados). É o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água. Estima-se que sejam consumidos 11 bilhões de toneladas por ano (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A versatilidade, durabilidade e fatores econômicos fizeram do concreto o material mais utilizado na construção civil. A maior pesquisa sobre o mercado nacional de concreto,

encomendada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), demonstrou a partir da coleta de dados entre 2005 e 2012, que em sete anos seu consumo cresceu 180% no país.

Segundo (PEDROSO, 2009), duas propriedades do concreto o destacam como principal material construtivo: sua resistência à água – diferentemente do aço e da madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água – e sua plasticidade – que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como visto na Figura 3.

Figura 3 – Obras com concreto



(a)



(b)

Legenda: (a) – Palácio da Alvorada, obra de Niemeyer; (b) – Painel de Pablo Picasso feito em concreto, Noruega

Fonte: (a) INSTITUTO OSCAR NIEMEYER, 2017 e (b) INSTITUTO TOMIE OHTAKE, 2016.

1.2.1 Componentes do concreto

O concreto é um compósito constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita) (FRANÇA, 2004). Pode também conter adições e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

Esquemáticamente pode-se indicar que a pasta é o cimento misturado com a água, a argamassa é a pasta misturada com a areia, e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou brita, também chamado concreto simples (FUSCO, 2008). Na Figura 4, podem ser vistos os componentes do concreto e as fases da mistura.

Figura 4 – Componentes e fases do concreto



Legenda: (a) – Cimento Portland; (b) – Areia; (c) – Brita; (d) – Pasta de cimento com água; (e) – Argamassa: pasta com areia; (f) – Concreto: Argamassa com a brita.

Fonte: BASTOS, 2006.

Segundo (PETRUCCI, 1998), quando recém misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência.

1.2.1.1 Cimento Portland

O cimento pode ser definido como todo material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compactado (NEVILLE, 1997). O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob à ação da água.

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824 (ABCP, 2002). Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland,

uma ilha situada no sul desse país. Foi denominado concreto Portland, em menção às rochas da ilha britânica de Portland, devido a semelhança na cor e dureza.

De acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o mercado do cimento no Brasil é atualmente composto por 24 grupos cimenteiros, nacionais e estrangeiros, com 99 plantas produzindo, espalhadas por todas as regiões brasileiras. A capacidade instalada calculada do país já é de 100 milhões de toneladas/ano, com a entrada das plantas em construção. No ano de 2014 a produção de cimento foi de 71,7 milhões de toneladas.

A ASTM C 150 define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição.

No mercado existem diversos tipos de cimento. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2002). Cada tipo tem o nome e a sigla correspondente estampada na embalagem, para facilitar a identificação. O tipo de cimento também pode variar na sua classe de resistência, os mais usuais são: 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Na Tabela 1 são apresentadas as classificações dos cimentos encontrados no mercado nacional.

Tabela 1 – Tipos de cimento

Tipo de Cimentos		Classe de Resistência (MPa)	Norma Brasileira
CP I	Cimento Portland Comum	25 / 32 / 40	NBR 5732
CP I - S	Cimento Portland comum com adição		
CP II - E	Cimento Portland composto com Escória de Alto Forno	25 / 32 / 40	NBR 11578
CP II - Z	Cimento Portland composto com Pozolana		
CP II - F	Cimento Portland composto com Filler (Calcário)		
CP III	Cimento Portland de Alto Forno	25 / 32 / 40	NBR 5735
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	25 / 32	NBR 5736
CPV ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial	-	NBR 5733
RS	Cimento Portland resistente a sulfatos	-	NBR 5737
Cimentos Especiais			

Fonte: Modificado de HOLCIN, 2017.

1.2.1.2 Agregados

Os agregados são materiais granulares, sem forma ou volumes definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil, conforme (OLIVEIRA e BRITO,1998). Estes podem ser classificados quanto à sua origem (naturais/artificiais), à densidade (leves/normais/pesados) e conforme o tamanho dos fragmentos (grãos/miúdos).

Segundo (COUTINHO, 1998) a granulometria é talvez a propriedade mais importante do agregado após a sua resistência. É ela que condiciona a compacidade do concreto e, portanto, têm forte influência nas outras propriedades deste material.

Os agregados, como vistos na Figura 5, usados nos concretos são divididos em dois grupos, miúdos (areias naturais ou artificiais) com diâmetros inferiores a 4,8 mm, e grãos (rochas britadas, cascalhos de rio, etc) com diâmetros superiores a 4,8 mm.

Figura 5 – Agregados do concreto



Fonte: NICODEMOS, 2011.

1.2.1.3 Água de amassamento

A água de amassamento é um fator que interfere diretamente na qualidade do concreto, seja na própria composição ou na relação água/cimento (HELENE, 1999).

A água utilizada na mistura do concreto e argamassa não deve conter substâncias que alterem propriedades químicas e físicas do concreto, como hidratação do cimento, resistência, alteração na pega ou coloração (ITAMBÉ, 2011).

Dada a importância da água para o traço de concreto, em novembro de 2009 foi publicada uma norma que vale, especificamente para a qualidade da água, a NBR 15900/09 – Água para amassamento do concreto.

A primeira parte da norma estabelece os requisitos para a água a ser usada no amassamento de concreto. Entre esses requisitos estão a quantidade de cloretos e de sulfatos aceitáveis na água, além de outros elementos e características físicas.

Segundo a norma NBR 15900-1/09 que a água de abastecimento público é adequada para o concreto e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto. A água de esgoto, mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concreto.

1.2.2 Concreto leve

Conforme a norma da ABNT NBR 8953 de 2015, o concreto pode ser classificado em função da sua resistência à compressão aos 28 dias, em:

- Concreto de baixa resistência: menor que 20 MPa (não adequado à finalidade estrutural, segundo a NBR 6118/14);
- Concreto de resistência normal: entre 20 a 50 MPa;
- Concreto de alta resistência: maior que 50 MPa.

Também segundo (PEDROSO, 2009), em um artigo da revista Concreto, há três classes básicas de classificação, obtidas pelos diferentes traços da mistura em função de suas massas específicas. A norma NBR 12655 (ABNT, 2015) os classifica em:

- Concreto normal: o concreto com massa específica seca, determinada de acordo com a ABNT NBR 9778, compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³;
- Concreto leve (CL): o concreto com massa específica seca, determinada de acordo com a ABNT NBR 9778, inferior a 2000 kg/m³;
- Concreto pesado ou denso (CD): o concreto com massa específica seca, determinada de acordo com a ABNT NBR 9778, superior a 2800 kg/m³.

Segundo (MENDES, 2014), é possível obter um concreto leve de duas formas: substituição do agregado convencional por outro de menor massa específica, denominado agregado leve, ou adicionando-se um aditivo espumante, que se expandirá formando poros de ar, dando origem ao concreto celular.

O concreto leve, por suas características específicas, possui inúmeras vantagens. (ROSSIGNOLO & AGNESINI, 2011) destacam:

- Menor massa específica, reduzindo-se os esforços na estrutura;
- Baixa expansibilidade térmica;
- Isolamento térmico e acústico;
- Diminuição dos custos com transporte e montagem de elementos pré-fabricados;

1.2.2.1 Tipos de concreto leve

Segundo (NEVILLE, 1997), existem três localizações possíveis do ar em concretos: nas partículas de agregado, na pasta de cimento e entre as partículas do agregado graúdo. Assim os concretos leves se classificam da seguinte forma:

- Concreto celular: também conhecido como concreto aerado, é resultante da ação de produtos que, acrescentados à pasta, produzem gases que formam bolhas. Embora aceita e bastante usual, esta denominação pode ser questionada, uma vez que o material resultante se trata de uma argamassa e não, propriamente, de um concreto. Este material tem uso, principalmente como enchimento e componentes de alvenaria;
- Concreto sem finos: produzido apenas com aglomerante e agregado graúdo e pode ser usado para confecção de painéis divisórios, na construção de estruturas de drenagem e também como sub-base de quadras de esportes;
- Concreto com agregados leves: produzido através da substituição total ou parcial dos agregados normais por agregados leves.

1.2.2.2 Concreto com agregados leves

O concreto leve pode ser obtido pela substituição do agregado convencional por agregado de menor densidade, como, por exemplo, os agregados expandidos de argila, escória

siderúrgica, vermiculita, ardósia, poliestireno e EVA mesmo aqueles provenientes de processos de reaproveitamento e reciclagem.

Os agregados reciclados diferem quanto a composição variável, menor resistência a esforços e à abrasão, e formato mais irregular. Em contrapartida, promovem uma destinação para materiais que se acumulariam na natureza.

Entretanto, de acordo com (MENDES, 2014), dada à natureza do agregado leve, a resistência à compressão do concreto leve é normalmente reduzida para argamassas de mesma composição. Os agregados leves, devido à porosidade, são sujeitos à segregação durante o manuseio e à absorção de água, que deve ser levada em consideração durante a dosagem do concreto.

Segundo a norma da ABNT NBR NM 35 (ABNT, 1995), os agregados leves não devem possuir massa unitária no estado seco e solto acima de $1,12 \text{ g/cm}^3$ para os agregados miúdos e de $0,88 \text{ g/cm}^3$ para os agregados graúdos. Também a norma da ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece que os agregados leves são agregados de baixa massa específica ($\leq 2000 \text{ kg/m}^3$).

Além disso, o módulo de elasticidade dos concretos leves varia entre 60% a 80% do módulo dos concretos normais (ROSSIGNOLO, 2011), resultando em uma maior deformação do elemento estrutural. Apesar destes pontos, a utilização do concreto leve ainda representa uma vantagem estratégica e geralmente culmina na redução do custo total da obra.

Segundo (ROSSIGNOLO, 2003), as principais propriedades do concreto influenciadas pelo agregado leve são a massa específica, a trabalhabilidade, a resistência mecânica, o módulo de elasticidade, as propriedades térmicas, a retração, a fluência e a espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz.

1.3 Aplicação de polímeros como agregado em concreto

O aumento do consumo de materiais plásticos no último século tem causado uma pressão sobre o meio ambiente devido ao fato de não ser biodegradável. Segundo (YANG et al., 2015), a reciclagem de resíduos poliméricos em compósitos de matriz cimentícia é uma maneira eficaz para dar uma destinação econômica e sustentável para esses resíduos.

Os resíduos poliméricos mais utilizados incluem polietileno de alta densidade (PEAD) (NAIK et al., 1996), polietileno e poliestireno (PS) (ISMAIL; AL-HASHMI, 2008) e (KAN; DEMIRBOGA, 2009), poli(tereftalato de etileno) (PET) (JO et al., 2008), (MODRO et al., 2009) e (KIM et al., 2010), poli(cloreto de vinila) (PVC) (KOU et al., 2009) e resíduos de melamina (PANYAKAPO; PANYAKAPO, 2008) que têm sido usado como agregados em compósitos de matriz cimentícia, concretos e concretos leves.

Os resultados indicam que normalmente a adição de resíduos plásticos reduzem as propriedades mecânicas e massa específica devido principalmente à baixa resistência e alta porosidade dos agregados poliméricos. No entanto, as partículas plásticas podem reduzir a propagação de microtrincas contribuindo para o aumento da tenacidade na fratura do concreto (LIMA et al., 2010). Assim, o concreto reciclado pode ser utilizado como um material de baixo custo em certas aplicações.

1.3.1 Aplicação do resíduo de EVA em concreto

Devido à dificuldade de reciclagem do EVA e da grande quantidade de resíduos gerados todos os anos, diversos estudos têm sido propostos para o reaproveitamento deste material. Estudos como (MARTINS et al., 2016) que avalia a utilização de resíduo de EVA como carga na confecção de paredes de gesso reforçado. Utilizando diferentes proporções foram avaliadas dureza, resistência à compressão, flexão, impacto, absorção de água e os resultados demonstram a viabilidade do uso do compósito formado.

Ou ainda, (BRINGEL et al., 2005), (ALENCAR, 2005) e (GAMA et al., 2012) analisam a influência da incorporação de resíduos de EVA nas propriedades do cimento asfáltico. Foi observada a diminuição da penetração e o aumento do ponto de amolecimento, o que representa um aumento da resistência ao acúmulo da deformação permanente.

O efeito da substituição de agregados por resíduos de EVA na confecção de compósitos de matriz cimentícia vem sendo estudado nas últimas duas décadas.

O trabalho desenvolvido por (GARLET, 1998) foi um dos pioneiros na avaliação da aplicação do resíduo de EVA no concreto, tendo sido discutido o procedimento para a produção de corpos de prova e concretos com a utilização deste resíduo e realizados ensaios mecânicos para avaliar suas propriedades. Foi constatado a baixíssima rigidez do concreto final e que as

aplicações se limitam àquelas sem função estrutural. Também foi verificado o bom desempenho acústico de parede com blocos EVA revestida (reboco) em comparação com os apresentados pelas paredes de alvenaria com blocos cerâmicos e concreto.

O estudo conduzido por (BEZERRA, 2002) e (POLARI FILHO, 2005) buscou-se determinar o teor ideal em função de dois parâmetros: uso de maior quantidade de resíduos EVA, e produção de concreto com propriedades físico-mecânicas compatíveis com a utilização sem função estrutural. Foi proposto um novo parâmetro de resistência a compressão mínima de 1,2 MPa como aceitável para blocos de concreto pré-moldados.

O desempenho estrutural de protótipos de paredes construídas com blocos de EVA foi avaliado (MELO, LIMA FILHO, 2009) utilizando blocos com três dimensões diferentes, obtidos a partir do corte de blocos inteiros. Estes estudos sugerem um grande potencial de aplicação para o bloco EVA, com importantes repercussões na redução de impactos negativos no meio ambiente, na medida em que oferece uma alternativa ao destino para tais resíduo.

(SANTIAGO et al., 2009) analisa o efeito da utilização do EVA e Resíduos da construção e demolição (RCD) na confecção de concreto leve. Os resultados indicaram que apesar da redução da resistência do concreto obtido é viável a utilização destes resíduos na produção de concreto leve e de concreto não estrutural. Este resultado foi corroborado por (LIMA et al., 2010).

Em trabalhos de (PAULA, 2011) e (IBRAHIM; SEEDAHMED, 2016) que utilizaram o resíduo de EVA como agregado para a produção de concreto leve, conclui-se que a utilização reduz a massa específica do concreto e também sua resistência mecânica, limitando assim sua aplicação a concretos leves sem função estrutural.

(DIAS et al., 2017) caracterizou o compósito cerâmico de matriz cimentícia incorporado com EVA e fibras de piaçava através de técnicas destrutivas, avaliou a influência do perfil granulométrico do EVA na resistência do material e utilizou agregados de dimensões características menores que 4,8 mm, diferentemente de (PAULA, 2011) e (LIMA et al, 2010). Também constatou-se que a incorporação de teores de EVA superiores a 15% de volume produz geralmente concretos leves.

(DIAS et al, 2017) destaca que apesar da relação inversa entre resistência à compressão axial e teor de EVA, aponta para a possibilidade da utilização deste resíduo sólido industrial na construção civil, ao indicar a redução do impacto ambiental nesta atividade pela substituição parcial do volume do agregado graúdo tal qual é proposto neste trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foi utilizado como material aglomerante o cimento Portland do tipo CP II-E-32, marca VOTORAN, fabricado de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira - NBR 11578 de 1991. Foi utilizado para a confecção da matriz cimentícia, necessária para efetuar todo este estudo, cimento comercializado em sacos de papel kraft de 50 kg cada. Todos os sacos utilizados eram provenientes do mesmo lote, visando com isto eliminar problemas de variações que poderiam acarretar mudanças no comportamento dos concretos.

Foram utilizados 2 tipos de agregados: areia média como agregado miúdo e pedrisco (brita 0) como agregado graúdo, ambos obtidos na mesma loja especializada para materiais de construção da região, e acondicionados em sacos plásticos para evitar contaminação. Os agregados foram utilizados no estado de fornecimento, isto é, eles não passaram por processos de beneficiamento que resultassem em algum tipo de alteração em suas características iniciais, tais como a lavagem prévia ou o ajuste da granulometria através de peneiramento.

A água utilizada foi a água de abastecimento público, que segundo a norma da ABNT NBR 15900 está apta para o amassamento de concreto.

Os resíduos de EVA foram comprados da empresa START Impermeabilizantes Ltda. Vendidos como brita leve já ensacados, como visto na Figura 6. Segundo a própria empresa é um agregado sintético leve, atóxico, estável e sem função estrutural. A brita leve de resíduos de EVA possui massa específica aproximada de 120 kg/m³.

Figura 6 – Brita leve de resíduos de EVA



Fonte: START IMPERMEABILIZANTES, 2016.

2.2 Métodos

Foi realizada a caracterização da brita leve produzida a partir de resíduos de EVA. Para a análise foi feita a caracterização por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) de modo a analisar a composição do EVA de diferentes cores e identificar possíveis componentes prejudiciais ou metais pesados presentes na amostra. Uma vez que o resíduo é proveniente de diversos setores da indústria é importante antecipar possíveis contaminantes do material antes da sua utilização no concreto. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios Físicos (LEFI) no Instituto Politécnico do Rio de Janeiro (IPRJ-UERJ).

Foi realizada também a caracterização térmica da brita leve a partir da análise termogravimétrica (TGA) do resíduo de EVA. Segundo (SANTIAGO et al, 2009), ocorrem modificações na estrutura química para o resíduo de EVA a temperaturas mais baixas quando comparados ao EVA virgem. A análise termogravimétrica também é importante pois permite identificar a partir das temperaturas de degradação as porcentagens de acetato de vinila no material, que como foi visto anteriormente, tem forte influência nas propriedades do EVA. O ensaio de TGA do resíduo de EVA foi realizado no Laboratório de Biomateriais no IPRJ-UERJ.

O ensaio de granulometria dos agregados graúdos e miúdos foi realizado no Laboratório de Concreto, Betume e Solos do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). A composição granulométrica é uma das características de um agregado de maior aplicação na prática, uma vez que permite planejar um melhor empacotamento dos grãos de agregados e elaborar a dosagem do concreto.

Após a elaboração do traço e dosagem do concreto a partir da análise granulométrica foi realizada a moldagem e confecção dos corpos de prova. A confecção dos corpos de prova cilíndricos e das placas de concreto para piso foram realizadas no LEFI, no IPRJ-UERJ assim como os ensaios mecânicos de compressão axial e compressão diametral. O ensaio das placas para piso foram realizados *in situ*, de modo empírico instalando as placas na entrada do estacionamento do IPRJ em Nova Friburgo.

2.2.1 Fluorescência de raios X (FRX) do resíduo de EVA

A análise por espectrometria de fluorescência de raios X baseia-se nas emissões de radiação característica dos elementos químicos quando submetidos a uma excitação adequada.

A emissão de espectros de linha característica pode ser induzida pelo impacto de partículas aceleradas, tais como elétrons, prótons, partículas alfa e íons. E, também, pelo impacto de radiações de alta energia a partir de um tubo de raios-X ou de uma fonte radioativa (OLIVEIRA, 2011).

A espectrometria de fluorescência de raios-X, segundo (BECKHOFF et al., 2006), é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a concentração (quantitativa) em que cada elemento se encontra presente na amostra.

A FRX mostra-se como uma técnica muito versátil, podendo ser aplicada em diversas amostras, incluindo as de estado sólido e líquidas, sem necessitar de tratamento exaustivo para a preparação destas matrizes (SKOOG et al., 2009).

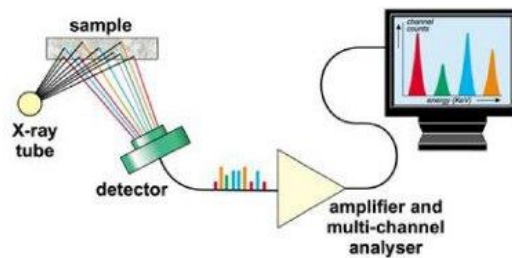
Na espectrometria de fluorescência de raios-X uma fonte de radiação de elevada energia no caso raios X provoca a excitação dos átomos da substância a qual pretende-se analisar.

Quando um átomo, anteriormente, no estado fundamental é submetido a uma fonte externa de energia, ele a absorve, promovendo elétrons a níveis mais energéticos. Neste estado o átomo estará numa situação instável.

O átomo excitado tende naturalmente a retornar ao seu estado fundamental, ocorrendo uma emissão de energia. Esta energia envolvida na absorção é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação a partir dos picos característicos registrados pelo detector (BECKHOFF et al., 2006).

A análise de FRX por energia dispersiva necessita basicamente de uma fonte de emissão de alta energia, no caso o raio X, e um detector para captar as emissões de fótons geradas pela amostra, como visto na Figura 7. O detector basicamente capta o número de fótons e a energia destes.

Figura 7 – Esquema de equipamento para análise de FRX



Fonte: CAMPBELL, 2012.

Para a realização da análise por espectroscopia de FRX foram selecionadas 7 amostras do resíduo de EVA com diferentes cores.

O equipamento utilizado consistiu de uma montagem experimental produzida pela empresa AMPTEK Inc., como visto na Figura 8. Esta montagem é composta por um tubo de raios X, com ânodo de ouro (Au), operado a 15 kV e 25 μ A (emissão contínua durante 600 s), um detector SDD 123 (*Silicon Drift Detector*), um microcomputador e programas específicos para a aquisição e análise dos dados obtidos através de FRX.

Figura 8 – Montagem experimental para ensaios de FRX



Fonte: O autor, 2016.

A quantificação das porcentagens dos elementos na amostra deve ser feita a partir de procedimentos com padrões. Não foi realizado neste trabalho a quantificação dos elementos.

Os espectros de emissão foram obtidos para cada amostra de EVA, após 600 segundos de emissão de raios X sobre a amostra.

2.2.2 Análise termogravimétrica (TGA) do resíduo de EVA

A técnica conhecida como termogravimetria faz parte do conjunto de análises térmicas de materiais. A análise termogravimétrica mede a variação de massa do material de acordo com um programa controlado de temperatura (FARMACOPÉIA BRASILEIRA,2010). Esta medida pode ser tanto em função do tempo, quando em condições isotérmicas, ou em função da temperatura, quando há aumento controlado da temperatura (BRANCA, C.; DI BLASI, C. D, 2003).

As aplicações da análise termogravimétrica são muitas na engenharia, pois possibilita conhecer a faixa de temperatura em que a amostra adquire uma composição quimicamente fixa, a temperatura em que se decompõe e o andamento das reações de desidratação, oxidação, combustão, decomposição, etc (CANEVAROLO Jr., 2007).

O equipamento para análise termogravimétrica é constituído basicamente de uma termobalança que é uma associação entre o forno elétrico e uma balança eletrônica de alta precisão na qual a substância é inserida em um porta amostra sob atmosfera especificada e programa controlado de temperatura. O dispositivo possibilita aquecer e medir simultaneamente a massa da amostra (FARMACOPÉIA BRASILEIRA,2010).

Para análise termogravimétrica do resíduo de EVA utilizou-se o analisador térmico simultâneo STA 6000 da PerkinElmer, como visto na Figura 9. As análises foram realizadas sob atmosfera inerte de gás nitrogênio, a uma vazão constante de 50 ml/min, utilizando-se aproximadamente 10,241 mg, em cápsula de alumina aberta. As curvas termogravimétricas foram obtidas a partir de 30°C até a temperatura máxima de 900°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min.

Figura 9 – Equipamento para análise termogravimétrica



Fonte: O autor, 2017.

2.2.3 Análise granulométrica dos agregados

A análise da granulometria visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A composição granulométrica do agregado é uma característica importante da qual dependem a compacidade, estabilidade e trabalhabilidade do concreto no estado fresco (GIAMMUSSO, 1992).

A determinação dos tamanhos das partículas dos agregados e sua distribuição são feitas por peneiramento (BAUER, 2003). Para a determinação da distribuição granulométrica dos agregados são utilizadas duas séries de peneiras: normal e intermediária, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Conjunto de peneiras da série normal e intermediária

Série Normal (mm)	Série Intermediária (mm)
75	-
-	63
-	50
37,5	-
-	31,5
-	25
19	-
-	12,5
9,5	-
-	6,3
4,5	-
2,36	-
1,18	-
0,60	-
0,30	-
0,15	-

Fonte: Adaptado de NBR 7217, 1987.

A partir do peneiramento são obtidos os valores acumulados retidos ou passantes em cada peneira. Essa análise tem grande importância e aplicação prática principalmente para determinação do módulo de finura e curva granulométrica dos agregados utilizados na dosagem do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O módulo de finura de um agregado se determina pela soma das porcentagens acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras de série normal, dividida por 100 (SOUZA, 2007). O módulo de finura é uma grandeza adimensional e deverá ser apresentado com

aproximação de 0,01. O módulo de finura de um agregado é maior quanto maior forem as partículas deste.

A curva granulométrica permite planejar um melhor empacotamento dos grãos de agregados, reduzindo vazios, melhorando a interface pasta/agregado e permitindo a elaboração da dosagem do concreto. A classificação de um agregado é determinada comparando sua composição granulométrica com as faixas granulométricas especificadas em normas.

A análise granulométrica do EVA foi realizada no Laboratório de Concreto, Betume e Solos do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Foi utilizado um agitador vibratório de peneiras modelo T. da marca Prodest, como visto na Figura 10, um conjunto de peneiras com diferentes malhas e uma estufa, seguindo os procedimentos descritos na norma NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). Também foi utilizado uma estufa para secagem das amostras e uma balança com resolução de 0,1 grama.

Figura 10 – Equipamento para análise granulométrica



Fonte: O autor, 2016.



A amostra foi coletada conforme a NBR NM 26 (ABNT, 2009) e formou duas sub-amostras para ensaio conforme a NBR NM 27 (ABNT, 2001). A quantidade mínima de material para cada determinação da composição granulométrica de um agregado encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
<4,8	0,5
6,3	3
> 9,5 e < 25	5
32 e 38	10
50	20
64 e 75	30

Fonte: Adaptado de NBR 7217, 1987.

As amostras dos agregados tanto graúdo (brita 0 e brita leve de resíduo de EVA) quanto miúdo (areia) foram secas em estufa durante o período de 24 horas a temperatura de 100°C a 110°C de modo a obter uma estabilização no valor das massas. Foram determinadas as massas das duas amostras utilizadas para cada agregado.

Após 15 minutos de agitação mecânica do conjunto de peneiras foi retido e pesado o material retido em cada uma das peneiras.

O resultado deste ensaio da granulometria será gerado como uma representação gráfica que irá formar a curva granulométrica. Com esta curva é possível avaliar visualmente se a amostra ensaiada é composta por material grosso ou fino. O relatório do ensaio deve conter além da curva granulométrica: a porcentagem média retida em cada peneira, porcentagem média acumulada em cada peneira, dimensão máxima característica e módulo de finura.

2.2.4 Traço e dosagem do concreto

O concreto é um compósito contendo vários componentes, em determinadas proporções. Entende-se o estudo da dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários para à obtenção da melhor proporção entre os materiais que constituem o concreto. A proporção na linguagem da construção civil é chamada de traço, essa proporção dos componentes é dada em relação a quantidade de cimento. Essa proporção ideal pode ser expressa em função da massa ou do volume dos materiais constituintes, sendo preferível a proporção expressa em massa seca dos materiais (TUTIKAN, 2007). O traço varia de acordo com a finalidade para qual o concreto será utilizado e com as condições de aplicação e trabalhabilidade desejada.

Ainda segundo (TUTIKAN, 2007), não há um texto consensual de como deve ser um estudo de dosagem. A inexistência de um consenso nacional em forma de uma norma técnica tem levado vários pesquisadores a proporem seus próprios métodos de dosagem. Apesar dos métodos de dosagem diferirem entre si, certos procedimentos são comuns a todos, como, por exemplo, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento.

Neste trabalho foi utilizado o método proposto pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) que foi publicado em 1984 como um estudo técnico titulado “Parâmetros de Dosagem de Concreto”, da autoria do Engenheiro Públio Penne Firme Rodrigues, e posteriormente revisado em 1995. (BOGGIO, 2000)

Este método foi utilizado previamente por (PAULA, 2011) na utilização de resíduos de EVA como agregado graúdo em concretos. Para a obtenção, neste trabalho, seguiu o mesmo procedimento.

Foi fixado uma resistência à compressão esperada de 20 Mpa, que é a resistência mínima aceitável pela norma NBR 6118/14. Utilizando a curva de Abrams para resistência de 20 Mpa após 28 dias de cura do concreto a relação água/cimento foi fixada em 0,57. Após fixada esta relação, foi estipulado um traço de 1:5,5:5,5, ou seja, um volume de cimento, para 5,5 volumes de areia e 5,5 volumes de brita. Utilizando estes dados e os dados de massa específica de cada componente o traço de referência pode ser calculado. Este traço foi feito em relação a massa dos componentes sendo apenas a água mantida em volume (litros) para melhor precisão. Foi desenvolvida uma planilha para o cálculo da quantidade em massa dos materiais que devem ser utilizados na confecção de um determinado volume de concreto.

O traço de referência foi utilizado para fabricação de oito corpos de provas cilíndricos. Para cálculo da massa dos componentes a partir do volume foi considerado o volume do corpo de prova cilíndrico de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Utilizando equação do volume do cilindro foi calculado o volume de um corpo de prova como sendo $0,00157 \text{ m}^3$, este valor foi multiplicado por 8, obtendo assim o volume de $0,01256637 \text{ m}^3$ referente aos oitos corpos de prova. Utilizando a planilha as massas dos componentes e o volume de água a serem utilizados para obter este volume de concreto foram calculadas. Estes valores estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 – Traço de referência

TRAÇO DE REFERÊNCIA						
Volume de concreto				0.01256637		Traço Original
Item	Material	Tipo	Und	Qtde p/1m ³	Qtde Ref. 0.01256	
1	Cimento	CP II-E-32	Kg	354.0	2.3610	354.0
2	Areia	Média Z3	Kg	726.6	4.8461	726.6
3	Brita	0	Kg	1,048.7	6.9948	1,048.7
4	Água		l	200.0	1.3340	200.0
5	Brita Leve (EVA)	0 % de EVA	Kg	0.0	0.0000	0.0

Fonte: O autor, 2016.

Além disso, foram produzidas outras duas misturas para 8 corpos de provas e duas placas retangulares de concreto para cada: a primeira com 50% do volume de agregado graúdo sendo de EVA e os 50% restantes de brita 0 (Traço experimental 1), o segundo com 100% do volume de agregado graúdo sendo de EVA, sem brita 0 em sua composição (Traço experimental 2).

Para o traço experimental 1 foi utilizado o volume dos 8 corpos de prova e neste valor foram somados os volumes dos blocos, que correspondem a 0,036 m³, então o volume total da mistura a ser feita foi calculado como 0,4856637 m³. Utilizando a planilha as massas dos componentes e o volume de água a serem utilizados para obter este volume de concreto foram geradas. Estes valores estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Traço experimental 1

TRAÇO EXPERIMENTAL 1						
Volume de concreto				0.04856		Traço Original
Item	Material	Tipo	Und	Qtde p/1m ³	Qtde Ref. 0.04856	
1	Cimento	CP II-E-32	Kg	354.0	17.1893	354.0
2	Areia	Média Z3	Kg	726.6	35.2813	726.6
3	Brita	0	Kg	524.4	25.4624	1,048.7
4	Água		l	200.0	9.7120	200.0
5	Brita Leve (EVA)	50 % de EVA	Kg	52.4	2.5445	0.0

Fonte: O autor, 2016.

De modo similar foi preparado o traço experimental 2 para 8 corpos de prova e 2 placas retangulares. A Tabela 6 contém as quantidades em massa para o traço com 100% do volume do agregado graúdo sendo de resíduo EVA.

Tabela 6 – Traço experimental 2

TRAÇO EXPERIMENTAL 2						
Volume de concreto				0.04856		Traço Original
Item	Material	Tipo	Und	Qtde	Qtde Ref.	p/1m ³
				p/1m ³	0.04856	
1	Cimento	CP II-E-32	Kg	354.0	17.1893	354.0
2	Areia	Média Z3	Kg	726.6	35.2813	726.6
3	Brita	0	Kg	0.0	0.0000	1,048.7
4	Água		l	200.0	9.7120	200.0
5	Brita Leve (EVA)	100% de EVA	Kg	104.8	5.0891	0.0

Fonte: O autor, 2016.

2.2.5 Moldagem dos corpos de prova

Alguns ensaios para serem realizados necessitam de um elemento material, a que chamamos “corpo de prova”, que pode ser uma peça inteira ou uma amostra representativa dela (ZOLIN, 2010).

O corpo de prova tem forma e dimensões especialmente indicadas para o ensaio e obedece a normas específicas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem o método MB-4 que indica a forma e as dimensões de um corpo de prova, segundo o caso e o material usados no ensaio (CHIAVERINI, 1986).

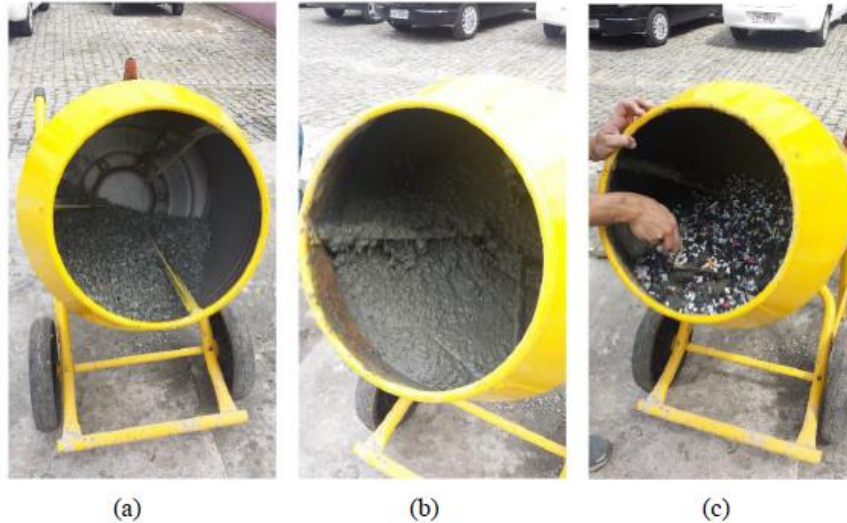
De acordo com (ZOLIN, 2010) a secção circular é a mais indicada aos corpos de prova para o ensaio de compressão. Neste trabalho foram dois diferentes tipos de corpos de prova para analisar melhor a viabilidade da utilização do EVA como agregado leve para o concreto: corpos de prova cilíndricos para ensaios de compressão axial e diametral; e placas de concreto para piso para análise empírica de carregamento sobre o material.

No formato cilíndrico, o molde utilizado possui dimensão de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. As placas de concreto para piso possuem dimensões de 30 x 60 x 10 cm, foram moldadas a partir de um molde de madeira.

Com o auxílio de uma balança de precisão do laboratório de Física do IPRJ as massas dos componentes a serem utilizados foram medidas para a confecção do traço. A confecção dos corpos de prova foi realizada seguindo os procedimentos descritos na NBR 5738 de 2015 da ABNT.

Utilizando a betoneira foram misturados os componentes da seguinte forma: primeiro misturado a brita 0 com a água; em seguida foram adicionados o cimento e a areia. Por último, o resíduo de EVA foi adicionado. Os materiais foram misturados até se tornarem homogêneos como vistos na Figura 11.

Figura 11 – Mistura dos componentes do concreto



Legenda: (a) Betoneira com a mistura de água e brita; (b) Mistura após a adição de cimento; (c) Adição de EVA a mistura.

Fonte: O autor, 2016.

O concreto fresco foi transferido para os moldes dos corpos de prova cilíndricos e moldados de acordo com a norma NBR 5738/15 da ABNT, e para os moldes das placas feitos de madeira, como visto na Figura 12.

Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova



Legenda: (a) Moldes de corpos de prova cilíndricos; (b) Moldes da placa de concreto com o traço experimental 1.

Fonte: O autor, 2016.

O concreto foi mantido nos moldes pelo prazo de 48 horas antes do desmolde. Os corpos moldados podem ser vistos após serem retirados da forma na Figura 13.

Figura 13 – Corpos de prova após a moldagem



Legenda: (a) Corpos de prova cilíndricos; (b) Placas de concreto para piso

Fonte: O autor, 2016.

Os corpos de prova estiveram submersos por 28 dias sob o processo de cura úmida, como pode ser evidenciado na Figura 14.

Figura 14 – Cura úmida dos corpos de prova



Fonte: O autor, 2016.

2.2.6 Ensaaios mecânicos

Para avaliar e estudar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais é necessário que sejam realizados ensaios e testes sob condições controladas e regidos por normas técnicas vigentes.

Entre os diversos ensaios destacam-se os mecânicos, por serem efetivos ao revelarem as propriedades necessárias para a caracterização do concreto. Esses ensaios são realizados por meio da aplicação de um esforço mecânico, no caso a compressão, a fim de determinar a resposta (resistência) do material à tensão aplicada.

Qualquer um dos ensaios utiliza normas e procedimentos a serem seguidos de modo a permitir a comparação entre os diversos resultados. É importante estabelecer os níveis de exigência necessários para cada um dos testes aplicados. Os ensaios mecânicos podem ser classificados em não destrutivos e destrutivos, conforme o procedimento adotado (ZOLIN, 2010).

Por serem os mais adequados para medir a capacidade de suportar esforço de uma peça, os ensaios mecânicos em concreto são na maioria das vezes destrutíveis (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Normalmente a peça dada sua fragilidade e dureza é testada até o momento de sua fratura a fim de avaliar sua resistência (ZOLIN, 2010).

2.2.6.1 Ensaio de compressão axial

O ensaio mais utilizado para avaliar as propriedades do concreto endurecido é o ensaio de compressão axial. O concreto endurecido é um material frágil e uma vez que nesses materiais a fase elástica é muito pequena, não é possível determinar com precisão as propriedades relativas a esta fase (MOTTA, 2014). A única propriedade mecânica que é avaliada nos ensaios de compressão de materiais frágeis é o seu limite de resistência à compressão (DALCIN, 2007).

A compressão é um esforço axial, que tende a provocar um encurtamento do corpo submetido a este esforço. Nos ensaios de compressão os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda a seção transversal do corpo de prova.

Em ensaios de compressão realizados em concretos são produzidos corpos-de-prova com dimensões padronizadas e são submetidos a uma força axial distribuída de modo uniforme. Este tipo de ensaio de compressão é o mais indicado para avaliar essas características de materiais frágeis, como o caso do concreto.

Segundo (COUTINHO, 1998), uma máquina para ensaios de compressão é fundamentalmente constituída por um êmbolo que recebe a ação de óleo sob pressão, dois pratos entre os quais se interpõe o corpo de prova a ensaiar e uma estrutura onde este conjunto está montado. Um dos pratos da prensa, quase sempre o superior, é munido de uma rótula esférica que lhe permite movimentos de rotação de modo a ajustar-se o mais perfeitamente possível à face do espécime, distribuindo a carga uniformemente.

A máquina de ensaio utilizada foi uma prensa elétrica hidráulica da fabricante Solotest® com marcador digital e capacidade de carga de até 100 toneladas, como visto na Figura 15. A prensa possui certificado de calibração acreditada a Rede Brasileira de Calibração (RBC) realizada em 5 pontos, conforme norma NBR NM-ISO 7500-1. Os ensaios foram realizados no LEFI - IPRJ, seguindo os procedimentos previstos na norma NBR 5739 da ABNT de 2007 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Figura 15 – Prensa hidráulica para ensaios de compressão no concreto



(a)



(b)

Legenda: (a) Prensa Solotest com o mostrador digital; (b) Ensaio de compressão em um corpo cilíndrico.

Fonte: O autor, 2016.

Após 28 dias da concretagem – tempo necessário para a cura do concreto – os corpos foram retirados da água e os testes foram realizados com aplicação de carga contínua e sem

choque, com velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s até a queda de força que indique a ruptura.

2.2.6.2 Ensaio de tração por compressão diametral

O concreto é um material que responde bem às tensões de compressão e em contrapartida responde mal às tensões de tração (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Para avaliar a resistência à tração em um concreto torna-se mais fácil ao se utilizar um ensaio indireto. Um ensaio muito utilizado para avaliar as propriedades de tração do concreto endurecido é o ensaio de compressão diametral (MAGALHÃES, 2009).

O ensaio de compressão diametral foi desenvolvido no Brasil pelo Prof. Lobo Carneiro em 1943. Consiste na aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um corpo de prova cilíndrico gerando, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro (BERNUCCI et al., 2006).

A facilidade e rapidez de execução, somado ao fato de utilizar o mesmo corpo de prova cilíndrico e equipamento usados para a obtenção da resistência à compressão axial do concreto tornaram este ensaio muito popular nos ensaios mecânicos utilizados no concreto (BERNUCCI et al., 2006).

Os corpos devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo especificadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Tolerância para a idade do ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: Adaptado de NBR 7222, 2011.

Os corpos de prova foram retirados da água após a cura e os testes foram realizados com o corpo de prova ainda úmido tendo sido secos apenas na superfície. Como visto na Tabela

7, o ensaio para a cura saturada de 28 dias tem tolerância para ser realizado em até 24 horas após a retirada do tanque.

Os ensaios foram realizados no LEFI – IPRJ, seguindo os procedimentos previstos na norma NBR 7222 da ABNT de 2011: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

Foi utilizada a mesma prensa do ensaio a compressão, que atende as exigências da norma NBR 5739 de 2007. Além da máquina de ensaios foi utilizado um dispositivo auxiliar para facilitar o posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaios, como visto na Figura 16. Também foram utilizadas tiras de chapa dura de fibra de madeira, isentas de defeitos com comprimento igual ou maior ao da geratriz do corpo de prova para melhor distribuição da carga no material.

Figura 16 – Máquina de ensaio com dispositivo auxiliar de compressão diametral



Fonte: O autor, 2016.

2.2.6.3 Teste empírico de carga variável em placas de concreto para piso

Para a realização do teste de carga variável nas placas de concreto para piso foi feita a instalação das placas “*in situ*” na entrada da universidade. Por esta passagem foi calculado um fluxo de carro em torno de 30 carros por dia, considerando que a maioria deles saem e retornam no meio do dia. O fluxo foi estimado de passagem de 120 carros por dia, incluindo vans e carros de grande porte.

Após a cura das 4 placas foi feita uma preparação para assentamento das placas no chão. A instalação das placas na entrada pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Assentamento das placas para piso de concreto



Fonte: O autor, 2016.

As 4 placas foram dispostas, como pode ser visto na Figura 18, de modo que as rodas passassem pelas duas placas. E após 9 meses foram avaliados o estado físico e a integridade das placas.

Figura 18 – Disposição das placas para piso de concreto



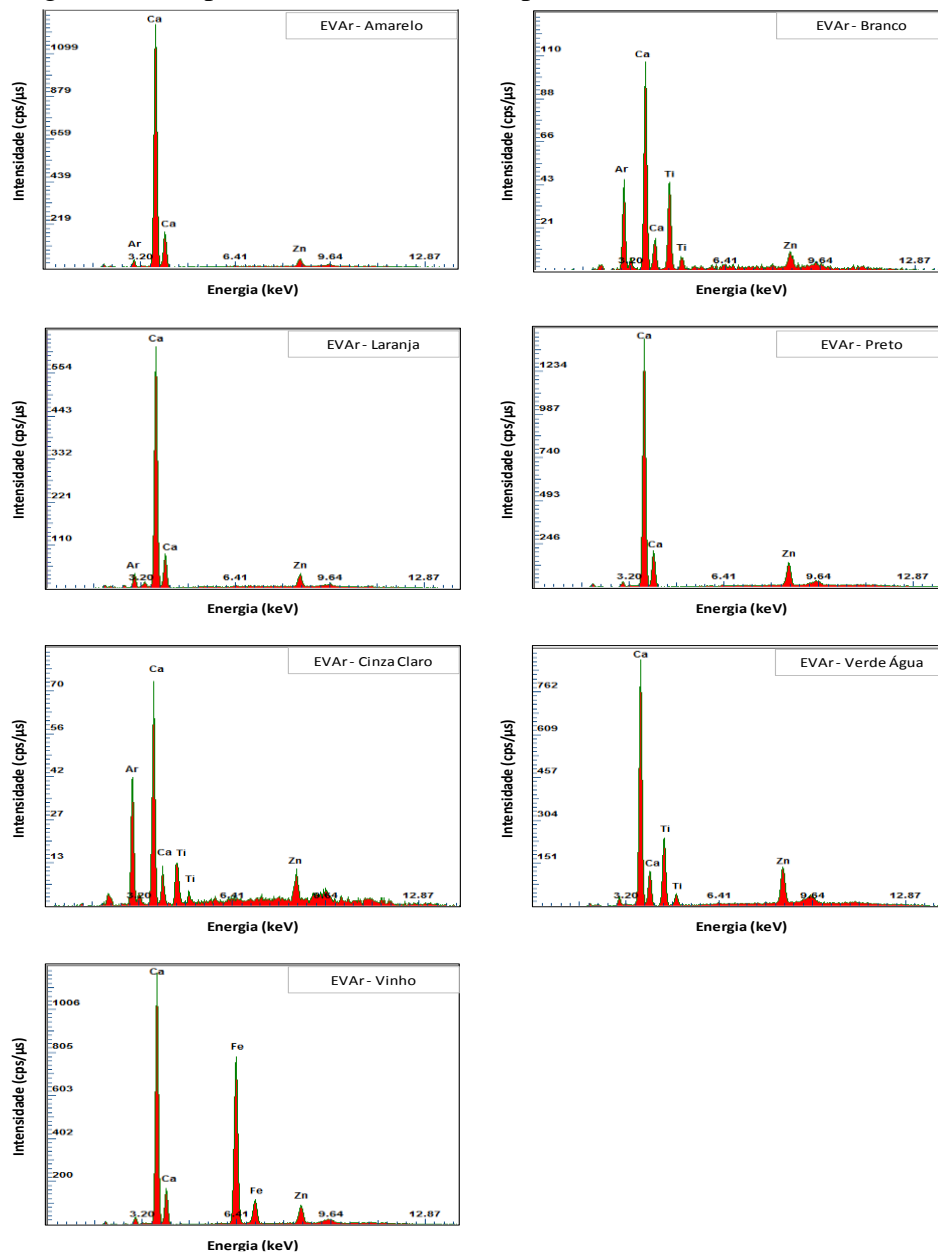
Fonte: O autor, 2016.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de fluorescência de raios X do EVA

O resultado para as diferentes amostras permitiu a identificação clara dos picos de emissão dos principais elementos presentes nas amostras de EVA. Como vistos na Figura 19.

Figura 19 – Espectros de fluorescência para as amostras de EVA



Fonte: O autor, 2016.

A partir da análise foram identificados os elementos nas respectivas amostras de cores, como se segue na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado da análise de FRX

EVA	Cálcio (Ca)	Ferro (Fe)	Titânio (Ti)	Zinco (Zn)
Amarelo	✓			✓
Branco	✓		✓	✓
Cinza claro	✓		✓	✓
Laranja	✓			✓
Preto	✓			✓
Verde água	✓		✓	✓
Vinho	✓	✓		✓

Fonte: O autor, 2016.

Para o espectro de emissão do EVA amarelo o elemento que esteve presente em maior quantidade foi notoriamente o cálcio (Ca). Este comportamento ficou evidente em todos os ensaios. O argônio (Ar) presente no ar também foi identificado em todas as amostras, assim como o zinco (Zn).

O espectro de emissão do EVA branco apresentou os mesmos elementos do EVA amarelo, incluindo o titânio (Ti) que desta vez apareceu em grande quantidade, além do cálcio (Ca), zinco (Zn) como pode ser visto na Figura 19

Analisando o espectro de emissão do EVA laranja notou-se uma proximidade maior com o espectro de emissão do EVA amarelo, não apresentando o elemento titânio (Ti) na sua composição da mesma forma o EVA preto.

Após a análise do EVA Cinza Claro fica evidente que o espectro de emissão ficou muito próximo daquele do EVA Branco, ou seja, as cores são muito próximas. O EVA cinza apresentou em sua composição titânio (Ti), cálcio (Ca) e zinco (Zn).

O EVA verde água, de uma cor mais clara, apresenta espectros mais próximos aos do EVA branco e cinza claro, com o elemento titânio presente.

Para o EVA na cor vinho foi identificado o elemento ferro (Fe), o que pode ser devido as cores mais próximas do vermelho. Além do ferro (Fe), foram identificados como em todas as outras amostras o cálcio (Ca) e o zinco (Zn), com picos bem definidos.

Os elementos químicos que foram encontrados em todas as amostras foram o cálcio, em maior proporção, e o zinco. A presença dominante do cálcio, pode ser atribuída ao carbonato de cálcio (CaCO₃), um mineral de constituição inorgânica e quimicamente inerte, que segundo

o trabalho de (ALPIRE-CHÁVEZ; AZEVEDO; RABELLO, 2007) tem influência nas propriedades do EVA.

Segundo (WIEBECK e HARADA, 2005) o carbonato de cálcio é um dos minerais mais abundantes e encontrado em várias formas. Os efeitos decorrentes da precipitação do carbonato de cálcio foi estudado (CARMONA, 1994) e (SANTOS, 2015) sendo a redução do pH, a redução da permeabilidade, o aumento da resistência superficial, e um grande incremento na resistividade elétrica, como efeito da neutralização da solução nos poros do concreto.

O aparecimento do zinco em todas as amostras, ainda que em menor quantidade está associada ao óxido de zinco (ZnO), muito utilizado como inibidor de fungos em pigmentos. Segundo (FILHO, 2008) atua como catalizador, reduzindo a temperatura de decomposição do expensor para valores mais próximos do ponto no qual ocorre a reticulação da matriz, neste caso, de 220°C para aproximadamente 160°C.

Além disso, o titânio (Ti), elemento encontrado nos EVAs com pigmentação mais clara, pode ser atribuído a presença de dióxido de titânio (TiO₂) que é um pigmento branco que muito utilizado na indústria para cores mais claras como do EVA branco, cinza claro, e verde água

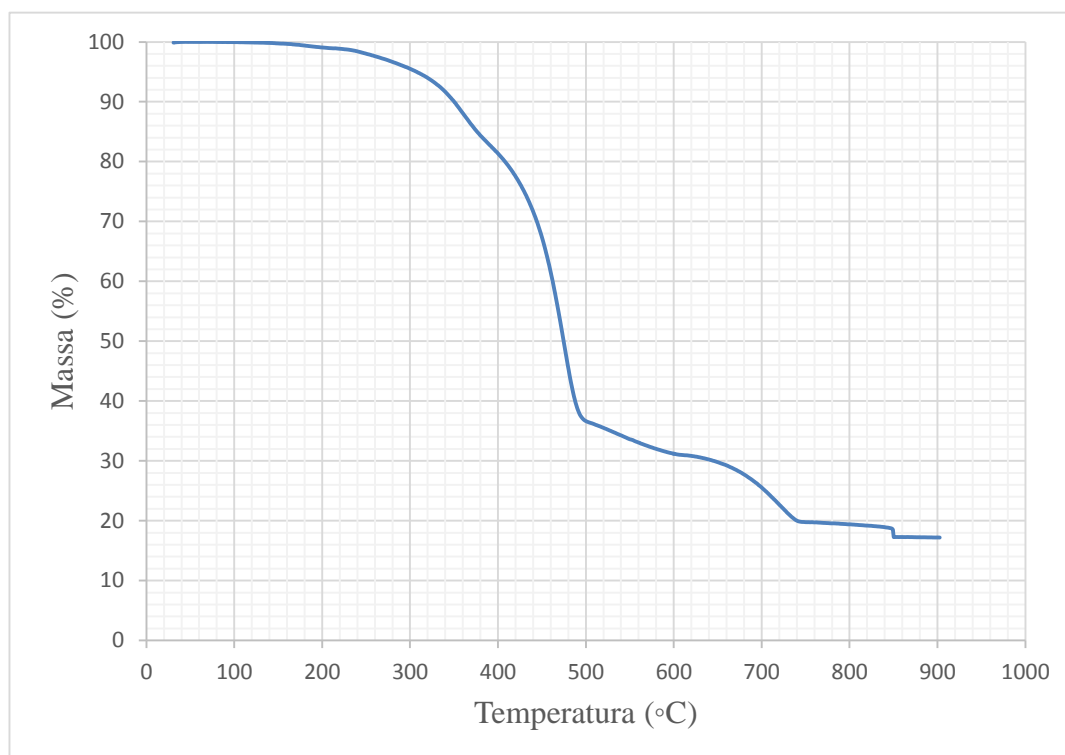
O elemento ferro (Fe) encontrado no EVA de coloração vinho, mais provavelmente é devido à presença de pigmentos a base de óxido de ferro (FeO), para colorações mais voltadas para os tons de vermelho e terrosos.

3.2 Análise termogravimétrica do resíduo de EVA

A análise do resíduo de EVA foi feita pelo modo termogravimétrico dinâmico, ou seja, há um acompanhamento das variações da massa sofridas pela amostra em função da temperatura, quando esta é submetida a um resfriamento ou aquecimento linear (WENDLANDT, 1986).

A partir da análise termogravimétrica é possível obter a curva de perda de massa em função do aumento da temperatura da amostra do resíduo de EVA, como visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva termogravimétrica do resíduo de EVA



Fonte: O autor, 2017.

Observando a curva termogravimétrica do resíduo alguns eventos térmicos ficam evidentes. O primeiro evento pertinente ocorre aproximadamente na faixa de temperaturas de $(290^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C})$ a $(420^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C})$ fato atribuído a etapa de degradação do acetato de vinila (VA) com a formação de ácido acético. Em comparação com o artigo publicado por (ZATTERA et al., 2005) o evento da desacetilação (eliminação do ácido acético) ocorreu na faixa de 330°C a 450°C , de acordo com trabalho de (BRINGEL et al., 2005) o evento ocorreu em torno de 300°C . Segundo (RIMEZ et al., 2008) a temperatura de degradação do VA ocorre na faixa de 300°C a 400°C .

O segundo evento nota-se na faixa de $(420^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C})$ a $(500^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C})$ está relacionado com a degradação da cadeia principal do copolímero. O evento de degradação da parte olefínica do copolímero no trabalho de (ZATTERA et al., 2005) ocorreu na faixa de temperaturas entre 450°C e 520°C , já segundo (BRINGEL et al., 2005) e (RIMEZ et al., 2008) o evento ocorreu entre 400°C e 500°C liberando voláteis de natureza aromática e alifática, CO_2 e H_2O .

O terceiro e último evento ocorreu na faixa de temperaturas entre 650°C e 740°C relacionado a presença de diversas cargas inorgânicas, como foi visto pelo ensaio de espectroscopia de raios-x a principal delas é o carbonato de cálcio (CaCO_3) que se decompõe a temperaturas maiores de 500°C . Nas análises termogravimétricas do EVA virgem feitas por

(ZATTERA et al., 2005) e (BRINGEL et al., 2005) não foi evidenciado esta etapa. Para o resíduo de EVA foi evidenciado uma terceira etapa de degradação de 600°C a 762°C (BRINGEL et al., 2005) e de 680°C a 750°C (ZATTERA et al., 2005).

O cálculo do teor de acetato de vinila foi realizado a partir do percentual de perda de massa da primeira etapa de degradação (degradação do VAc com formação de ácido acético), utilizando a equação 1.

$$TVAc = \frac{MAAcP(\%) \cdot MMAV}{MMAAc} \quad (1)$$

Onde:

TVAc = Teor de acetato de vinila.

MMAcP (%) = % de massa de ácido acético perdida fornecida pelos dados de TGA.

MMAV = Massa molar de acetato de vinila (86,1 g/mol).

MMAAc = Massa molar de ácido acético perdido (60,1 g/mol).

Para uma porcentagem de massa de ácido acético perdida de 19,6% o teor de acetato de vinila foi de 28%.

3.3 Análise granulométrica

3.3.1 Análise granulométrica da areia

A areia, conforme sua distribuição granulométrica e seu módulo de finura (MF), de acordo com a NBR 7211 de 2009, pode ser classificada como:

- Muito finas – $1,35 < MF < 2,25$;
- Finas – $1,71 < MF < 2,78$;
- Médias – $2,11 < MF < 3,28$;
- Grossas – $2,71 < MF < 4,02$.

O resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente (MARTINS, 2008).

A distribuição granulométrica, determinada segundo a NBR NM 248, deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 9, no Gráfico 2 pode ser visto sua representação gráfica.

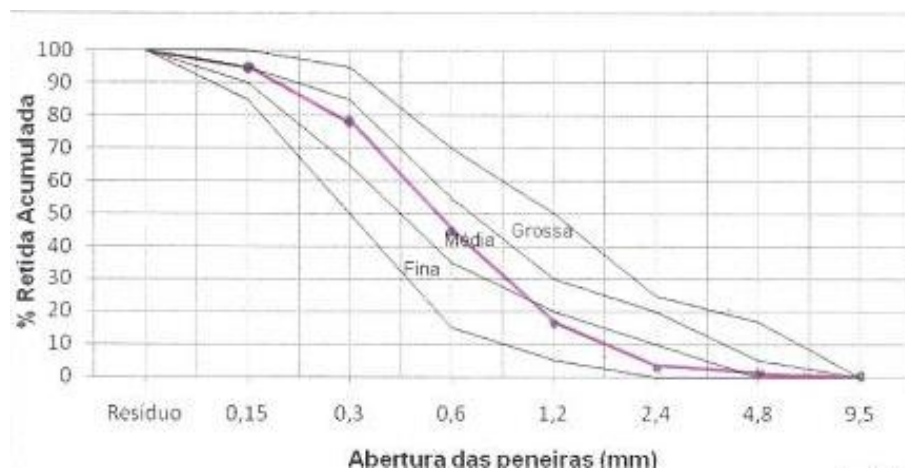
Tabela 9 – Limites da distribuição do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS:
 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: Adaptado de NBR7211, 2009.

Gráfico 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Adaptado de NBR7211, 2009.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados do ensaio de granulometria da areia utilizada na composição da mistura do concreto, para a qual foi traçada a distribuição granulométrica do agregado no Gráfico 3 e calculados o módulo de finura e dimensão máxima do agregado.

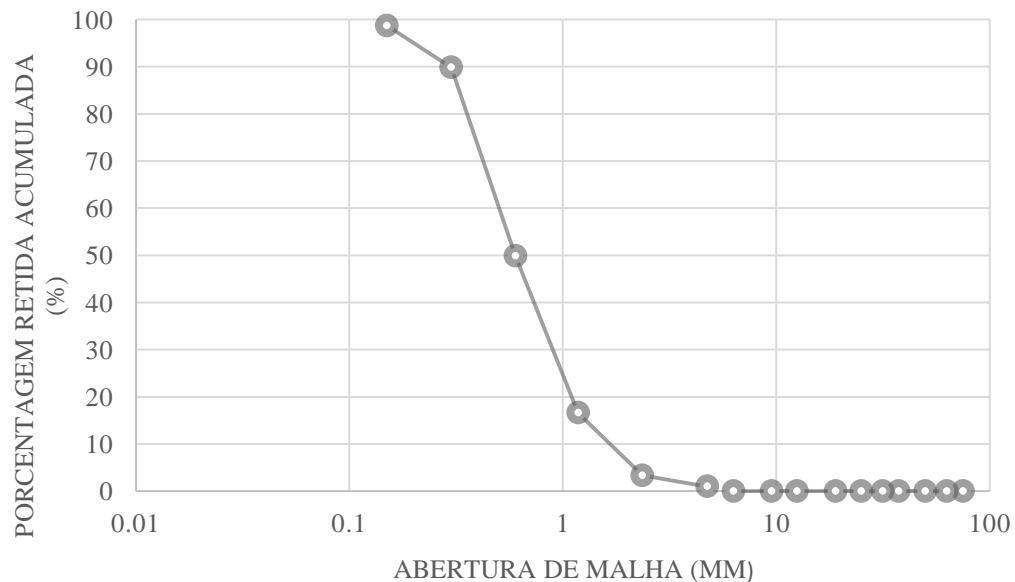
Tabela 10 – Granulometria do agregado miúdo: areia

GRANULOMETRIA						
AREIA						
Peneira (mm)	1ª amostra Mat. Retido (g)	2ª amostra Mat. Retido (g)	1ª amostra Mat. Retido (%)	2ª amostra Mat. Retido (%)	% Média Retida	% Média Acumulada
5.52						
4.75	3.65	2.44	1.2	0.8	1.0	1
2.36	6.55	8.15	2.1	2.6	2.4	3
1.18	36.7	46.01	11.8	14.8	13.3	17
0.6	96.85	110.53	31.1	35.5	33.3	50
0.3	128.75	120.22	41.3	38.6	39.9	90
0.15	33.8	21.51	10.8	6.9	8.9	99
Fundo	5.53	2.66	1.8	0.9	1.3	100
Total	311.83	311.52	100.0	100.0	100.0	

Módulo de Finura:	2.59
Dim. máxima caract. (mm)	2.36

Fonte: O autor, 2016.

Gráfico 3 – Distribuição granulométrica da areia



Fonte: O autor, 2016.

Segundo os critérios da NBR 7211 de 2009, esta areia se classifica como areia média zona 3. Atingindo um módulo de finura que se encontra na faixa ótima para utilização no concreto.

3.3.2 Análise granulométrica da brita 0

A brita é classificada de acordo com a sua granulometria, ou seja, o tamanho dos grãos. Assim, temos o pó de brita, a brita 0, a brita 1, a brita 2, a brita 3 e a brita 4. Cada um desses tipos tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. A brita 0 ou pedrisco possui granulometria variando de 4,8 mm a 9,5 mm.

A distribuição granulométrica, determinada segundo a NBR NM 248, deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 11, as faixas granulométricas estão no Gráfico 4.

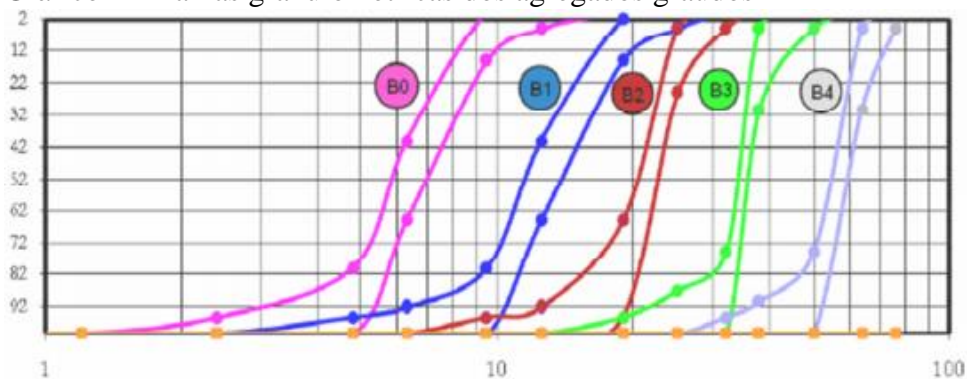
Tabela 11 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Classificação (Zona Granulométrica)				
	0	1	2	3	4
75	-	-	-	-	0 – 5
63	-	-	-	-	5 – 30
50	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	-	0 – 5	5 – 25 ²	87 – 100	-
19	-	2 – 15 ²	65 ² – 95	95 – 100	-
12,5	0 – 5	40 ² – 65 ²	92 – 100	-	-
9,5	2 – 15 ²	80 ² – 100	95 – 100	-	-
6,3	40 ² – 65 ²	92 – 100	-	-	-
4,75	80 ² – 100	95 – 100	-	-	-
2,36	95 – 100	-	-	-	-

² – Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo 5 unidades percentuais em apenas um dos limites

Fonte: Adaptado de NBR7211, 2009.

Gráfico 4 – Faixas granulométricas dos agregados graúdos



Fonte: KARYN, 2013.

O resultado da análise granulométrica da brita 0 pode ser visto na Tabela 12 e a distribuição granulométrica no Gráfico 5.

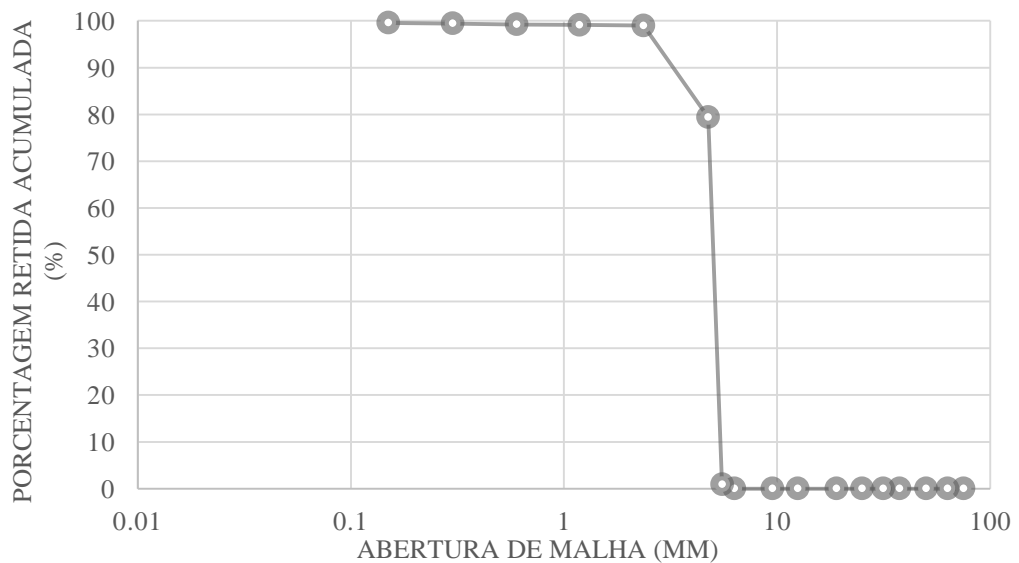
Tabela 12 – Granulometria do agregado graúdo: brita 0

GRANULOMETRIA						
BRITA 0						
Peneira (mm)	1ª amostra Mat. Retido (g)	2ª amostra Mat. Retido (g)	1ª amostra Mat. Retido (%)	2ª amostra Mat. Retido (%)	% Média Retida	% Média Acumulada
5.52	5.03	13.51	0.5	1.3	0.9	1
4.75	773.28	802.06	77.2	79.7	78.5	79
2.36	212.95	180.02	21.3	17.9	19.6	99
1.18	1.23	1.49	0.1	0.1	0.1	99
0.6	1.27	1.14	0.1	0.1	0.1	99
0.3	2.01	1.64	0.2	0.2	0.2	99
0.15	1.53	1.67	0.2	0.2	0.2	100
Fundo	4.17	4.24	0.4	0.4	0.4	100
Total	1001.47	1005.77	100.0	100.0	100.0	

Módulo de Finura:	5.76
Dim. máxima caract. (mm)	5.52

Fonte: O autor, 2016.

Gráfico 5 – Distribuição granulométrica da brita 0



Fonte: O autor, 2016.

Após a análise granulométrica do agregado graúdo possível estabelecer um módulo de finura equivalente a 5,76 e a dimensão máxima característica do EVA foi de 5,52 mm. Este agregado encontra-se dentro dos limites estabelecidos para agregados graúdos e se classifica na zona 0, como pode ser visto na Tabela 11.

3.3.3 Análise granulométrica do resíduo de EVA

Como este trabalho tem objetivo de analisar a substituição do agregado graúdo natural por um agregado reciclado de resíduos de EVA, é natural que as granulometrias entre esses agregados sejam comparadas de modo a eliminar alterações no concreto pela diferença das granulometrias. O resíduo de EVA não foi processado, cortado ou sofreu qualquer alteração em seu tamanho, tendo sido utilizado do modo em que foi recebido para evitar gastos energéticos adicionais na produção do concreto.

O relatório da granulometria do agregado de EVA encontra-se na Tabela 13 e a distribuição granulométrica segue no Gráfico 6.

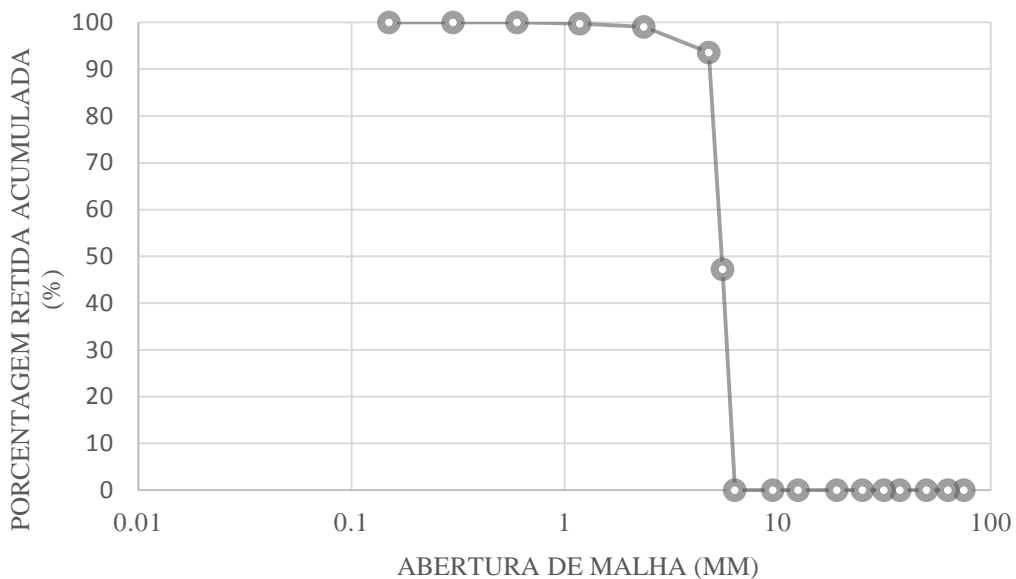
Tabela 13 – Granulometria do resíduo de EVA

GRANULOMETRIA						
EVA						
Peneira (mm)	1ª amostra Mat. Retido (g)	2ª amostra Mat. Retido (g)	1ª amostra Mat. Retido (%)	2ª amostra Mat. Retido (%)	% Média Retida	% Média Acumulada
5.52	66.35	56.74	50.8	43.6	47.2	47
4.75	55.2	65.64	42.3	50.4	46.4	94
2.36	7.75	6.6	5.9	5.1	5.5	99
1.18	0.91	0.86	0.7	0.7	0.7	100
0.6	0.28	0.4	0.2	0.3	0.3	100
0.3						100
0.15						100
Fundo						
Total	130.49	130.24	100.0	100.0	100.0	

Módulo de Finura:	5.92
Dim. máxima caract. (mm)	6.3

Fonte: O autor, 2016.

Gráfico 6 – Distribuição granulométrica do resíduo de EVA



Fonte: O autor, 2016.

Após a análise granulométrica do resíduo de EVA foi possível estabelecer um módulo de finura equivalente a 5,92 e a dimensão máxima característica do EVA foi de 6,3 mm.

Se comparados aos valores da análise granulométrica da brita 0, que possui módulo de finura de 5,76 e dimensão máxima característica de 5,52 mm, fica notório que as granulometrias dos dois agregados são muito próximas. Ambos possuem granulometria segundo a norma NBR 7211 dentro dos limites estabelecidos para utilização como agregado graúdo zona 0 no concreto.

3.4 Avaliação da massa específica do concreto

Um dos objetivos do trabalho foi analisar e viabilizar a utilização de EVA como agregado para produção de concreto leve, portanto é de suma importância a avaliação da massa específica do concreto, em outras palavras saber quanto de fato pesa determinado volume deste material.

De acordo com a norma técnica ABNT NBR 12655 de 2015, o concreto leve possui massa específica inferior a 2000 kg/m³. O concreto leve produzido a partir de incorporação de agregados leves, que é o caso do material deste trabalho, possui massa específica variando de 1600 - 1850 kg/m³. O concreto leve com agregados leves é, normalmente, mais pesado do que

o concreto celular, que possui massa específica na faixa de 400 - 1600 kg/m³. Contudo, o concreto de agregados leves apresenta peso específico de cerca de dois terços do normal, que possui massa específica de 2000 - 2800 kg/m³.

A avaliação da massa específica foi feita de modo aproximado para o volume de cada corpo de prova, mas pode ser considerada uma aproximação razoável tendo todos eles seguido a mesma forma de produção e formato. O resultado da avaliação de massa específica para o concreto pode ser visto nas Tabelas 14, 15 e 16 e no Gráfico 7, respectivamente.

Tabela 14 – Massa específica do traço de referência

TRAÇO DE REFERÊNCIA			
Corpo de Prova (CP)	Massa [kg]	Volume [m³]	Massa Específica [kg/m³]
CP 1	3,41	0,00157	2171,97
CP 2	3,41	0,00157	2171,97
CP 3	3,46	0,00157	2203,82
CP 4	3,47	0,00157	2210,19
CP 5	3,33	0,00157	2121,02
CP 6	3,47	0,00157	2210,19
CP 7	3,43	0,00157	2184,71
CP 8	3,44	0,00157	2191,08
Média	3,40	0,00157	2183,12

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 15 – Massa específica do traço experimental 1

TRAÇO EXPERIMENTAL 1			
Corpo de Prova (CP)	Massa [kg]	Volume [m³]	Massa Específica [kg/m³]
CP 1	2,65	0,00157	1687,89
CP 2	2,41	0,00157	1535,03
CP 3	2,46	0,00157	1566,88
CP 4	2,44	0,00157	1554,14
CP 5	2,58	0,00157	1643,21
CP 6	2,49	0,00157	1585,98
CP 7	2,43	0,00157	1547,44
CP 8	2,43	0,00157	1547,44
Média	2,49	0,00157	1583,50

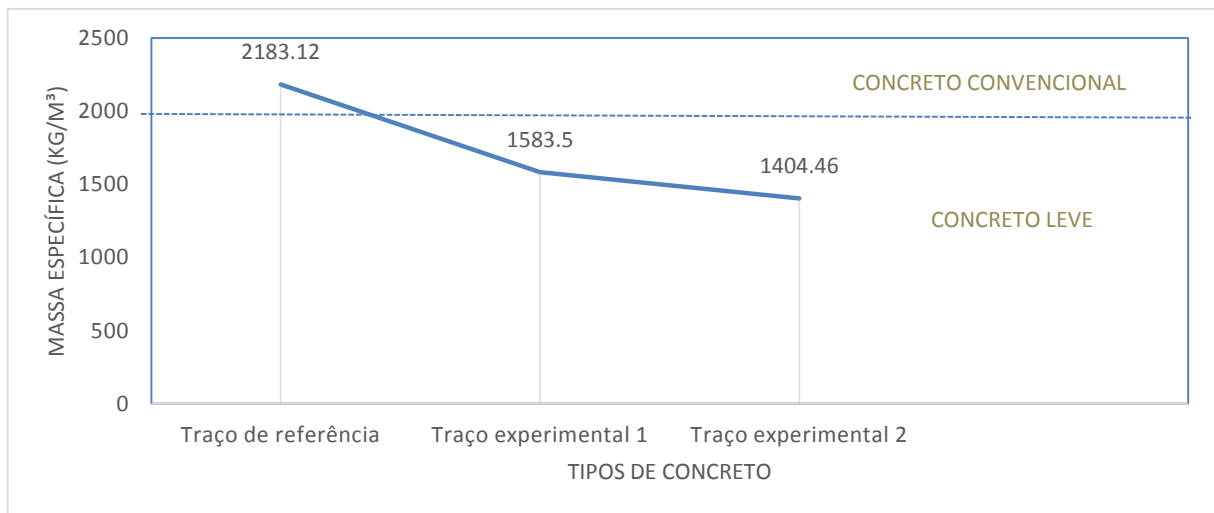
Fonte: O autor, 2016.

Tabela 16 – Massa específica do traço experimental 2

TRAÇO EXPERIMENTAL 2			
Corpo de Prova (CP)	Massa [kg]	Volume [m ³]	Massa Específica [kg/m ³]
CP 1	2,22	0,00157	1414,01
CP 2	2,18	0,00157	1388,54
CP 3	2,18	0,00157	1388,54
CP 4	2,21	0,00157	1407,64
CP 5	2,21	0,00157	1407,64
CP 6	2,24	0,00157	1426,75
CP 7	2,20	0,00157	1401,27
CP 8	2,20	0,00157	1401,27
Média	2,21	0,00157	1404,46

Fonte: O autor, 2016.

Gráfico 7 – Massa específica média do concreto



Fonte: O autor, 2016.

Após as avaliações da massa específica das 3 misturas, o resultado demonstra que os dois traços experimentais de fato se classificam como concreto leve segundo a norma técnica NBR 12655 de 2015 e o traço de referência possui massa específica no intervalo mencionado para o concreto convencional, segundo a mesma norma.

O traço experimental 1 possui massa específica correspondente a 72% daquela do traço de referência e o traço experimental 2 apresentou a massa específica de aproximadamente 64% daquela do traço de referência. Em termos absolutos, é uma diferença significativa quando se avalia um grande volume de concreto para uma laje ou ainda um piso.

3.5 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão do concreto foi calculada a partir da média das resistências de 4 corpos de prova para cada traço. O emprego de agregados leves no concreto tende a reduzir a sua resistência.

Quanto maior a quantidade de resíduo de EVA menor será a resistência à compressão do concreto. Os resultados para os ensaios de compressão dos traços: experimental 1, experimental 2 e o de referência se encontram nas Tabelas 17, 18 e 19, respectivamente.

Tabela 17 – Resistência à compressão axial do traço de referência

TRAÇO DE REFERÊNCIA			
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Área seção transversal [m²]	Resistência à compressão [MPa]
CP 1	15,86	0,007854	20,19
CP 2	15,93	0,007854	20,28
CP 3	18,15	0,007854	23,10
CP 4	17,18	0,007854	21,87
Média	16,78	0,007854	21,38

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 18 – Resistência à compressão axial do traço experimental 1

TRAÇO EXPERIMENTAL 1			
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Área seção transversal [m²]	Resistência à compressão [MPa]
CP 1	2,11	0,007854	2,69
CP 2	1,36	0,007854	1,73
CP 3	1,73	0,007854	2,20
CP 4	1,54	0,007854	1,96
Média	1,69	0,007854	2,15

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 19 – Resistência à compressão axial do traço experimental 2

TRAÇO EXPERIMENTAL 2			
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Área seção transversal [m²]	Resistência à compressão [MPa]
CP 1	0,88	0,007854	1,12
CP 2	0,86	0,007854	1,09
CP 3	0,77	0,007854	0,98
CP 4	0,96	0,007854	1,22
Média	0,87	0,007854	1,10

Fonte: O autor, 2016.

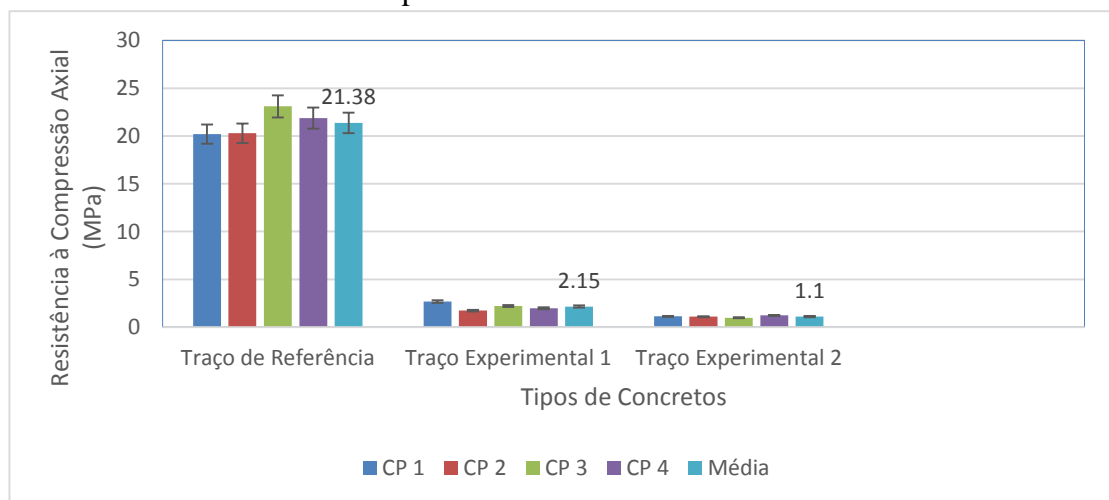
A partir dos ensaios de resistência realizados ficou evidente aquilo que era esperado no presente trabalho, ou seja, que o concreto leve utilizando a brita de EVA não poderia ser utilizado para fins estruturais.

Ficou evidente também a grande queda de resistência quando houve substituição do agregado graúdo pelo resíduo de EVA, comportamento evidenciado em outros trabalhos que realizaram a substituição parcial ou total do agregado por EVA. Houve uma redução de aproximadamente 90% da resistência à compressão axial para a substituição de 50% do agregado graúdo e aproximadamente 95% para a substituição integral do agregado.

(GARLET, 1998) para um traço similar com substituição de 60% do volume de agregado atingiu a 28 dias a resistência à compressão axial média de 1,92 MPa e para substituição de 100% de agregado o valor de 0,4 MPa. De acordo com (PAULA, 2011), houve redução de 78% na resistência do concreto para a substituição de 50% em volume do agregado graúdo, essa redução chegou a aproximadamente 92% para uma substituição de 75% de volume do agregado.

No Gráfico 8 é possível ver a comparação dos valores de resistência à compressão axial do traço de referência e experimental 1 e experimental 2.

Gráfico 8 – Resistência à compressão axial



Fonte: O autor, 2016.

Foi observado que os corpos de prova com EVA não se romperam de modo frágil, sofrendo uma deformação permanente, como pode ser visto na Figura 20, diferentemente daqueles do traço de referência que se romperam com uma fratura frágil típica dos concretos convencionais.

Figura 20 – Corpo de prova após ensaio de resistência à compressão



Legenda: (a) Ensaio à compressão do traço experimental 1; (b) Corpo de prova após ensaio de resistência à compressão axial.

Fonte: O autor, 2016.

3.6 Resistência à tração por compressão diametral

Para o cálculo da resistência à tração foi necessário a utilização da equação (2), especificada na norma 7222 de 2011.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi d l} \quad (2)$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em Megapascals (MPa).

F é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N).

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

l é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Novamente é esperado uma redução da resistência com o aumento de EVA no traço do concreto. Após a realização do ensaio seguindo a norma NBR 7222 da ABNT de 2011 foram obtidos os seguintes resultados, como vistos nas Tabelas 20, 21 e 22, respectivamente.

Tabela 20 – Resistência à tração por compressão diametral do traço de referência

TRAÇO DE REFERÊNCIA				
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Altura [mm]	Diâmetro [mm]	Resistência à tração [MPa]
CP 5	5,67	185,2	99,5	1,92
CP 6	6,03	199,8	99,2	1,90
CP 7	5,39	200,2	99,8	1,68
CP 8	5,78	199,7	99,4	1,82
Média	5,72	196,2	99,5	1,83

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 21 – Resistência à tração por compressão diametral do traço experimental 1

TRAÇO EXPERIMENTAL 1				
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Altura [mm]	Diâmetro [mm]	Resistência à tração [MPa]
CP 5	3,11	205,1	99,6	0,95
CP 6	2,44	199,6	99,1	0,77
CP 7	2,40	198,0	99,2	0,76
CP 8	2,25	198,9	99,4	0,71
Média	2,55	200,4	99,3	0,8

Fonte: O autor, 2016.

Tabela 22 – Resistência à tração por compressão diametral do traço experimental 2

TRAÇO EXPERIMENTAL 2				
Corpo de Prova (CP)	Carga [tf]	Altura [mm]	Diâmetro [mm]	Resistência à tração [MPa]
CP 5	1,22	197,2	99,5	0,39
CP 6	1,07	195,0	99,8	0,34
CP 7	1,10	198,1	99,3	0,35
CP 8	1,23	198,2	99,4	0,39
Média	1,17	197,1	99,5	0,37

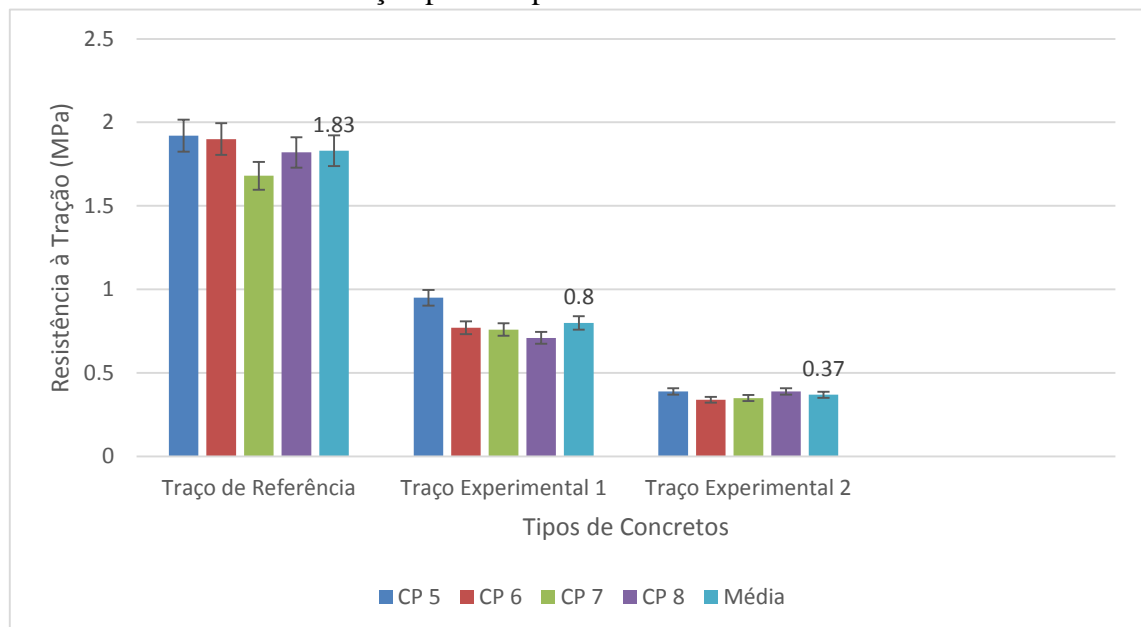
Fonte: O autor, 2016.

Novamente houve uma redução significativa nos valores de resistência quando comparados o concreto de referência com os traços experimentais. Para o traço experimental 1 houve uma redução de 56% no valor de resistência à tração em relação ao traço de referência, já para o traço experimental 2, com substituição integral do agregado graúdo houve redução de 80% no valor da resistência à tração.

Recorrendo a trabalhos publicados por (GARLET, 1998) e (PAULA, 2011) também foi comprovado os valores baixos para resistência à tração obtidos por ensaio de compressão diametral. Para um traço similar a resistência à tração para a substituição de 60% do agregado graúdo a resistência a tração foi de 0,33 MPa e para 100% de substituição a resistência foi de 0,15 MPa (GARLET, 1998). A redução de resistência a tração obtida por (PAULA, 2011) comparando com a resistência de referência foi, para a substituição de 50% do agregado graúdo por EVA, da ordem de 50%. Para a substituição de 75% do volume por agregado leve a redução foi da ordem de 71%.

No Gráfico 9 é possível ver a comparação dos valores de resistência à tração por compressão diametral do traço de referência e experimental 1 e experimental 2.

Gráfico 9 – Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: O autor, 2016.

3.7 Teste empírico de carga variável em placas de concreto

Após o assentamento das placas e a observação ao longo de 9 meses foi possível fazer algumas análises em relação a utilização do concreto de agregado leve com resíduo de EVA para a produção de placas para piso. As placas estruturalmente não apresentaram rachaduras, fratura ou nenhuma ruptura. Entretanto, estando expostas a intempéries, chuvas fortes e sol

constantemente e com o atrito causado pela passagem dos veículos ocorreu a desagregação do EVA que estava na parte mais externa da placa, principalmente daqueles do traço experimental 2.

Na Figura 21 é possível verificar o estado da placa 7 dias após o assentamento e o estado após 9 meses, após um forte dia de chuva.

Figura 21 – Placas de concreto após serem submetidas a carregamento variável



Legenda: (a) 7 dias após o assentamento; (b) 9 meses após o assentamento no piso.

Fonte: O autor, 2016.

Como pode ser visto na Figura 21, para evitar a desagregação física do EVA pelo atrito pode ser necessário uma camada extra sem agregado para um melhor acabamento superficial da placa, ou ainda, que a mesma seja coberta com pó de pedra para ser utilizada como piso.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos experimentos e o ao confrontá-los com os objetivos e fundamentação teórica deste trabalho pode-se destacar algumas conclusões.

A caracterização do resíduo de EVA feita pelo método de espectroscopia de fluorescência raios X de amostras de diferentes cores, a fim de avaliar os elementos presentes no resíduo, identificou cargas inorgânicas e elementos presentes na pigmentação do resíduo. O cálcio identificado em todas as amostras de resíduo analisadas indica a presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) como carga no resíduo de EVA. A presença de carbonato de cálcio em aplicações no concreto merece atenção especial, estudos anteriores como de (CARMONA, 1994) e (SANTOS, 2015) demonstram o efeito de despassivação e corrosão das armaduras de concreto por carbonatação. Estudos posteriores podem ser feitos em relação a influência do resíduo no concreto armado.

A análise termogravimétrica do resíduo de EVA permitiu a identificação do teor médio de acetato de vinila no resíduo de EVA de 28% a partir da quantidade de ácido acético liberada no primeiro evento térmico identificado. Além disso, fica comprovada a estabilidade térmica do resíduo de EVA até a temperatura de 300°C , em consonância com (ZATTERA et al., 2005) e (BRINGEL et al., 2005).

Outro ponto que merece destaque é a etapa de desacetilação do EVA em que ocorre a liberação de ácido acético. O ataque por ácido acético causa decomposição de produtos da microestrutura do concreto, descalcificando o gel de silicato de cálcio e agredindo a pasta de cimento. Como este fenômeno ocorre a temperaturas superiores a aproximadamente 290°C , não deve ser um limitante nas condições de utilização.

Após a análise granulométrica do resíduo de EVA foi possível estabelecer um módulo de finura equivalente a 5,92 e a dimensão máxima característica do EVA foi de 6,3 mm. Em comparação com a granulometria da brita 0, que possui módulo de finura de 5,76 e dimensão máxima característica de 5,52 mm, identifica-se uma proximidade significativa em relação ao tamanho dos grãos diminuindo, desse modo, o efeito da granulometria na resistência e demais propriedades do concreto.

Em relação as massas específicas para as três misturas do concreto, é notório que a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de EVA teve forte influência na redução do peso específico do concreto. As misturas nas quais houve incorporação de EVA,

para o volume substituído, se classificam como concreto leve de acordo com a NBR 12655 de 2015 e o concreto de referência apresentou massa específica que se encontra na faixa dos concretos normais de acordo com a mesma norma.

Os resultados dos ensaios mecânicos indicam a redução da resistência à compressão axial e à tração com o aumento da fração volumétrica de substituição de agregados limitando as aplicações do concreto leve com agregados de EVA àquelas sem finalidade estrutural.

O maior valor de resistência à compressão axial foi apresentado pelo traço de referência (23,10 MPa), e o menor valor foi apresentado pelo traço com 100 % de substituição de agregados por resíduos de EVA (0,98 MPa). O maior valor de resistência à tração por compressão diametral foi encontrado novamente no traço de referência (1,92 MPa) e o menor no traço experimental 2 (0,34 MPa).

A queda de resistência com a aplicação do EVA no concreto é muito significativa corroborando resultados obtidos em concretos com composição similar por (GARLET, 1998), (PAULA, 2011) e (IBRAHIM; SEEDAHMED, 2016).

A análise da integridade das placas com 50% e 100% em volume de agregado de EVA após serem submetidas a esforços pela passagem veículos na entrada da universidade indicou a desagregação do EVA das camadas externas da placa, em especial no traço de 100% de EVA. Contudo, a placa não apresentou rupturas. Com algumas adaptações na aplicação é possível que a placa possa ser utilizada para calçamentos.

SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar os efeitos do carbonato de cálcio presente no EVA na despassivação e corrosão das armaduras do concreto armado;
- Testar a utilização deste concreto como concreto permeável permitindo a percolação da água pelo concreto até o solo;
- Avaliar a influência da granulometria do EVA nas propriedades mecânicas do concreto;

REFERÊNCIAS

- ABICALÇADOS, Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. *Relatório Setorial 2017*. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br>> Acesso em 18 de julho de 2017.
- ABICALÇADOS, Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. *Relatório Anual 2015*. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br>> Acesso em 01 de outubro de 2016.
- AKCELRUD, L. Fundamentos da ciência dos polímeros, ed. Manole, São Paulo, 2007.
- ALEMANY, S.; JAVIER, F. Estudio de los procesos de reticulado, espumado y descomposición térmica de formulaciones industriales de copolímeros de EVA y PE: métodos cinéticos. 2002. 494f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Ingeniería Química - Universidad de Alicante, Alicante - Espanha, 2003.
- ALENCAR, A. E. V. *Estudo das propriedades do cimento asfáltico de petróleo modificado por copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA)*. Dissertação. Departamento de Química Orgânica e Inorgânica. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. 2005.
- ALPIRE-CHÁVEZ, M. *Influência do carbonato de cálcio nas propriedades físicas da espuma de EVA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2007.
- ALPIRE-CHÁVEZ, M; AZEVEDO, J.B.; RABELLO, M. S. *Influence of calcium carbonate's types in the physical properties of the EVA foam*. PPS-23. Polymer Processing Society 23rd. Annual Meeting. Salvador- BA, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C-125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. Estados Unidos, 2000. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento Portland (BT-106)*. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7216: Amostragem de Agregados – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7222*: Concreto e argamassa - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7680*: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8953*: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10836*: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10834*: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2013. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11578*: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12655*: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14974-1*: Bloco silico-calcário para alvenaria – Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15900*: Água para amassamento de concreto. Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 26*: Agregados – Amostragem. Uruguai, 2009. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 27*: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios em laboratório. Rio de Janeiro, 2001. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 35*: Agregados leves para concreto estrutural – especificação. Rio de Janeiro, 1995. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67*: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8p

BASTOS, P.S.S., *Fundamentos do concreto armado*. (Notas de aula - Estruturas de concreto I). Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru –SP, 2006.

BAUER, L.A.F. *Materiais de Construção*. 5^a ed., vol 1, Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2003.

BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOOF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. 1 ed. Berlin-London: Springer, 2006.

BERNUCCI, L.B.; et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros* – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BERGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. *Fundamentos em ecologia*. Porto Alegre: Artmed. 2006. Pp. 438.

BETIOLI, A.M. et al. *Effect of EVA on the fresh properties of cement paste*. *Rev. Cement & Concrete Composites* v.34, p. 255–260. 2012

BEZERRA, A. J. V. *Utilização do Resíduo da Indústria de Calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

BOGGIO, A. J. *Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland*. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2000.

BRANCA, C.; DI BLASI, C. D. *Kinetics of the isothermal degradation of wood in the temperature range 528-708 K*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Nova Iorque, v. 67, n. 1, p. 207-219, 2003.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>> Acesso em 10 de julho de 2017.

BRASKEM S.A. EVA - Copolímero de Etileno-Acetato de Vinila. Portal da empresa. Disponível em: <<http://www.activas.com.br/fichas/EVA/hm728.pdf>> Acesso em 19 de junho de 2016.

BRINGEL, R.M.; SOARES, S.A.; SOARES, J.B. *Propriedades químicas e reológicas de asfalto modificado por copolímero EVA*. Em: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP - Salvador, 2005.

CAETANO, M.J.L. *Plásticos* - CTB. Disponível em: <<http://ctborracha.com>> Acesso em 12 de junho de 2017.

CAMPBELL, I et al. *The Use of EDXRF for Pharmaceutical Material Elemental Analysis*. Disponível em: <<http://www.americanpharmaceuticalreview.com/1504-White-Papers-Application-Notes/124874-The-Use-of-EDXRF-for-Pharmaceutical-Material-Elemental-Analysis/>> Acesso em 05 de novembro de 2016.

- CANEVAROLO Jr., S. *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*, ed. Artliber, São Paulo, 2002.
- CANEVAROLO Jr., S. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*, ed. Artliber, São Paulo, 2007.
- CARMONA, T.C. *Modelos de Previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação*. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1994, 88 p
- CASTRO, F. C. Evento discute a reciclagem do PVC no Brasil. *Revista Plástico Moderno*, 2008.
- CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica*. 2. ed. São Paulo: MvGraw Hill, 1986.
- COUTINHO, Souza de A. *Fabrico e Propriedades do Betão*. 2 ed. Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e comunicações. Laboratório Nacional de Engenharia civil, 1998. 401 p. Vol 1.
- CROW, J.M. *The concrete conundrum*. *Rev. Chemistry World*. [online], p. 62-66. 2008. Disponível em: <http://www.rsc.org/images/Construction_tcm18-114530.pdf> Acessado em 12 de junho de 2017.
- DALCIN, G.B. *Ensaio dos materiais*. Apostila curso de Engenharia Industrial Mecânica URI Santo Ângelo, 2007.
- DEMAJOROVIC, J. *Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos as novas prioridades*. *Rev. adm. empres.* [online]. 1995, vol.35, n.3, p. 88-93. ISSN 0034-7590.
- DEBAPRIYA, D.; SUKUMAR, M.; ADHIKARI, B. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.73, p.2951, 1999.
- DIAS, A. et al. *Caracterização de compósito cerâmico de matriz cimentícia incorporado com EVA e fibras de piaçava através de técnicas destrutivas e não destrutivas*. Em: 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica – CBC – Gramado, 2017.
- FARMACOPÉIA BRASILEIRA, ANVISA. 5 ed. Brasília: [s.n.]. 2010 [online]. Disponível em:<http://www.anvisa.gov.br/hotsite/cd_farmacopeia/pdf/volume1%2020110216.pdf> Acessado em 13 de maio de 2016.
- FILHO, M. R. F. L. *Avaliação de desempenho mecânico de protótipo executado com blocos EVA: Estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2008.
- FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. *Fabricação de blocos de concreto com resíduos de borracha de pneus*. *HOLOS Environment*, v.4, n.2, p.145-156. 2004.

FRACASSO, E. M.; VIEGAS, C. *Capacidade tecnológica e gestão de resíduos em empresas de calçados do Vale do Sinos: estudo de dois casos*. Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 2, n. 2, Aug. 1998.

FRANÇA, E. P. *Tecnologia Básica do Concreto*. In: Apostila Curso Engenharia de Produção Civil. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte. 2004. p. 7-13.

FREIRE, E.; LOPES, G.B. *Implicações da Política Nacional de Resíduos Sólidos para as práticas de gestão de resíduos no setor de confecções*, REDIGE v. 4, n. 01, abr. 2013

FUSCO, P.B. *Tecnologia do Concreto Estrutural – Tópicos Aplicados* São Paulo. PINI, 2008.

GAMA, D. A.; LUCENA, A. F. L.; MONTEIRO, V. E. D. *Evaluation of viscosity of the Asphalt Cement after incorporation of EVA waste*. Em: BCCM1 2012. 1st Brazilian Conference on Composite Materials, 2012. Natal – RN. Anais do BCCM1. Natal, 2012

GARLET, G. *Aproveitamento de resíduo de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil*. 1998. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GIAMMUSSO, S.E. *Manual do concreto*. São Paulo. Ed. PINI, 1992.

GUPTA, R.K.; PASANOVIC-ZUJO, V.; BHATTACHARYA, S.N. *Shear and extensional rheology of EVA/layered silicate-nanocomposites*. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, v.128, p.116-125, 2005.

HELENE, P. R. L. *Vida útil das estruturas de concreto*. em: International Conference on High-Performance Concrete And Performance And Quality Of Concrete Structures, Gramado, 1999.

IBRAHIM Y.I., SEEDAHMED A.I. *Using EVA foam waste as the constituent of light weight concrete mixture for construction application*. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, v. 5, p.332-338, 2016.

ILDEFONSO, J. S. *Análise da viabilidade técnica da utilização do copolímero etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (processo seco)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ISMAIL, Z.Z., AL-HASHMI, E.A. *Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement*. Waste Management, v. 28, p. 2041–204, 2008.

ITAMBÉ, *Apostila de ensaios de concretos e agregados*. 3ª Ed., Curitiba. 2011.

JO, B.W. et al. *Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates*. Construction and Building Materials, v. 22, p.2281–2291, 2008.

KAN, A., DEMIRBOGA, R. *A novel material for lightweight concrete production*. Cement and Concrete Composites, v. 31, p. 489–495, 2009.

- KARYN, 2013. Disponível em: <<http://files.marcosvalin.webnode.com/200001533-99ba59ab54/APOSTILA%20ENSAIOS%20DE%20AGREGADOS%20-%20Profa%20Karyn%20Ribeiro.pdf>> Acesso em 5 de julho de 2017.
- KIHARA, Y.; CENTURIONE, S.L. *O Cimento Portland*. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. Editora Ibracon, V1. São Paulo, 2005.
- KIM, S.B. et al. *Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete*. *Cement & Concrete Composites*, v.32 p.232–240, 2010.
- KOU, S.C. et al. *Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes*. *Waste Management* v. 29, p. 621–628, 2009.
- LEITE, P. R. *Logística reversa*. 2. ed. São Paulo: Peterson Prentice Hall, 2009. ISBN 978-85-7605-365-1
- LIMA, P.R. et al. *Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW*. *Waste Management*, v. 30, p. 1107-1113, 2010.
- MAGALHÃES, F. C. *Estudo Probabilístico da Resistência à Compressão e da Resistência à Tração na Flexão dos Concretos Utilizados na Construção do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande, no Superporto, em Rio Grande-RS*. Dissertação. FURG, Rio Grande – RS, 2009.
- MANRICH, S. *Processamento de Termoplásticos*. 1 ed, Artiliber Editora. São Paulo, 2005.
- MARQUES, C. *Materiais Poliméricos – Propriedades e Aplicações*. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, 2015.
- MARTINS, P.B.M. *Influência da Granulometria do Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto*. Monografia. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. *Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 2009.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2ª ed. IBRACON. São Paulo, 2014.
- MELO, A.B.; SILVA, E.P. *Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios* *Mater. Construcc.*, Vol. 63, 312, 479-495, *octubre-diciembre* 2013. ISSN: 0465-2746. doi: 10.3989/mc.2013.05912
- MENDES, J. C. *Modelagem computacional de concreto leve utilizando o programa cast3m*. 2014. 79 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharias, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – Minas Gerais, 2014.
- MODRO, N.L.R. et al. *Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET*. *Revista Matéria*, v. 14, n. 1, p. 725 – 736, 2009.
- MOTTA, E. P. *Caracterização mecânica de argamassas poliméricas de óleo de mamona reforçadas com fibra natural de piaçava* – Niterói, RJ : [s.n.], 2014.

NAIK, T.R. et al. *Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites*. Cement and Concrete Research V. 26 p.1489–1492. 1996.

NEVILLE, A.M. *Propriedades do concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

NICODEMOS, 2011. Disponível em:

<<http://quimicaealgomais.blogspot.com.br/2014/04/curso-gestor-de-obras-3-e-4-aulas.html?view=snapshot>> Acesso em 10 de julho de 2017.

OLIVEIRA, A.M.S. BRITO, S.N.A. *Geologia de Engenharia*. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. p. 331-342. São Paulo 1998.

OLIVEIRA, E.; LANDIM, P. C. *A Bioinspiração como Estratégia de Design Sustentável para o Polo de Confeccões do Agreste Pernambucano*, p. 30, 2013.

OLIVEIRA, E.A. *Confiabilidade metrológica na determinação de espécies químicas em materiais siderúrgicos por espectrometria de fluorescência de raios-X*. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PosMQI/PUC-Rio), Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2011.

PANYAKAPO, P. PANYAKAPO, M. *Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete*. Waste Management, v. 28, p. 1581–1588, 2008.

PEDROSO, F. *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*. Concreto & Construções, São Paulo nº 53, p.14-19, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. *Concreto de cimento Portland*. 13. ed. São Paulo: Globo, 1980.

PIMENTEL, U. H. O. *Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – Bloco EVANG*. Dissertação de Mestrado – PPGEU/CT/UFPB, 2005.

POLARI FILHO, R. S. *Contribuição ao Processo de Reciclagem dos Resíduos da Indústria de Calçados na Construção Civil: bloco E.V.A.: uma alternativa às alvenarias das construções*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PRESTES, S. M. D. *Reaproveitamento de resíduos de EVA reticulado através de reciclagem química*. 160 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2013.

PREZOTTO et al. apud GARLET, 1997. *Etileno acetato de vinila – EVA. Planejamento e projeto da indústria química*. (Trabalho de conclusão das disciplinas de planejamento e projeto da indústria química I e II). Escola de Engenharia - UFRGS, 256p, Porto Alegre, 1990.

RIMEZ, B.; RAHIER, H.; VAN ASSCHE, G.; ARTOOS, T.; BIESEMANS, M.; VAN MELE, B. *The thermal degradation of poly (vinyl acetate) and poly (ethylene-co-vinyl acetate), Part I: Experimental study of the degradation mechanism*. Polymer Degradation and Stability, v.93, p. 800-810, 2008.

ROSSIGNOLO, J. A. & AGNESINI, M. V. C. *Concreto Leve Estrutural*. In: *Concreto: Ciência e Tecnologia*. s.l.:IBRACON, p. 1532-1572, 2011.

ROSSIGNOLO, J. A. *Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura*. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A. *Módulo de deformação do concreto leve estrutural de alto desempenho*. *Minerva*, 2(1), p. 99-106, 2011.

SANTIAGO, E. Q. R.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M. B. e TOLEDO FILHO, R. D.. *Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate temperature*. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.* [online], vol.2, n.3, p.211-221, 2009.

SANTOS, A.V-B. *Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação*. *Revista Especialize On-line IPOG*, ed. 10 v.1 - Goiania – 2015.

SILVA, F.M. et al. *Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber*. *Rev. Construction and Building Materials* v.91, p. 71–79, 2015.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. *Relatório anual*. Disponível em: <http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp>. Acesso em 02 de Abril de 2017.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. *Princípios de Análise Instrumental*, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009.

SOUZA, P. A. B. F. *Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato*. 232 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

START IMPERMEABILIZANTES LTDA. Disponível em: <<http://www.startimpermeabilizantes.com.br/propaganda/propaganda08.html?action=message&id=1237500199254227&year=09&month=3&next=1>> Acesso em 05 de novembro de 2016.

TUTIKIAN, B.F., et al. *Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto*. *Rev. Materiales de Construcción* Vol. 63, 310, 309-316, 2013.

TUTIKIAN, B.F. *Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

WBCSD – WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *The cement sustainability initiative*. WBCSD, 2007, 8 pg. Disponível em: <<http://www.wbcscement.org>>. Acesso em 01 de novembro de 2016.

WENDLANDT, W.W. *Thermal analysis*. (Chemical analysis, v.19) 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

WIEBECK, H.; PIVA, A. M. *Reciclagem Mecânica do PVC*. São Paulo: Instituto do PVC, 1999.

WIEBECK, H.; HARADA, J. *Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações*. São Paulo: Artliber Editora, 350 p. 2005.

YANG, S. et al. *Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles*. *Construction and Building Materials*, v.84, p.444–453, 2015.

ZANETTI, M.; CAMINO G., THOMANN, R.;MÜLHAUPT, R., *Synthesis and thermal behaviour of layered silicate–EVA nanocomposites*, *Polymer*, v.42, p. 4501–4507, 2001.

ZATTERA, A.J., et al. *Caracterização de Resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila - EVA*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, n° 1, p. 73-78, 2005.

ZOLIN, I. *Curso técnico em automação industrial : ensaios mecânicos e análises de falhas – 3. ed.* – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.