

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GABRIELLA CHAGAS KURTZ

**ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE
CONCRETOS COM EVA**

**Alegrete
2019**

GABRIELLA CHAGAS KURTZ

**ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE
DE CONCRETOS COM EVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dra. Simone D. Venquiaruto

Coorientador: Me. Aldo Leonel Temp.

**Alegrete
2019**

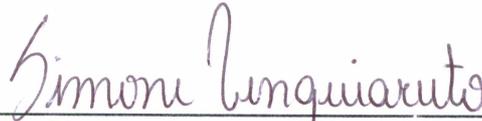
GABRIELLA CHAGAS KURTZ

**ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE
DE CONCRETOS COM EVA**

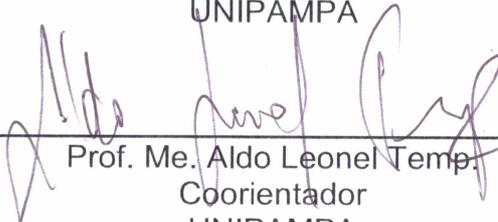
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de junho de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Simone Dornelles Venquiaruto
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Aldo Leonel Temp.
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Fernanda Bianchi Pereira da Costa
UNIPAMPA



Eng. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter força e saúde para concluir este trabalho.

À minha família, em especial minha mãe Simone e meu pai Alcio por tornarem possível a realização do meu sonho.

Aos meus irmãos, Manuella e Guilherme, que estiveram sempre presentes me apoiando e incentivando e auxiliando a ir em busca dos meus objetivos.

À minha vó, Delcy, que sempre esteve presente e torcendo por mim.

Ao meu noivo, Marcelo, pela compreensão, companheirismo e apoio em todos os momentos.

Aos meus colegas e amigos, alguns fora do meio acadêmico, que sempre estiveram presentes, dividindo as alegrias e dificuldades enfrentadas ao longo da trajetória até aqui.

À minha professora orientadora Simone, por todo o conhecimento transmitido e apoio ao longo do desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e também o que mais gera resíduos sólidos. Nas últimas décadas, o meio ambiente vem sofrendo impactos ambientais significativos devido ao aumento da geração de resíduos, o que tem impulsionado muitos pesquisadores a buscar materiais alternativos para uso em materiais cimentícios. A reciclagem e o aproveitamento de alguns resíduos na construção civil pode ser vantajosa, principalmente porque pode oferecer uma redução de uso de recursos naturais não renováveis e de custos. Dentre os resíduos comumente estudados está o EVA (Acetato de Etil Vinila), que é um material com baixa massa específica, bom desempenho térmico e acústico, e tem sido utilizado como agregado leve para produção de concretos e argamassas. Com a preocupação de reduzir a disposição de resíduos no meio ambiente e de buscar uma alternativa para seu uso, este trabalho tem como objetivo reaproveitar o resíduo de EVA em concretos. Foram desenvolvidos quatro traços, sendo um de referência (sem EVA) e os demais com substituição em volume do agregado graúdo natural por EVA nos teores de 60%, 70% e 80%. O controle de qualidade dos concretos foi realizado pela análise de algumas de suas propriedades: propriedades físicas (massa específica), propriedades mecânicas (resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão axial) e de durabilidade (absorção por capilaridade e absorção por imersão total). A análise do desempenho dos concretos permitiu concluir que a massa específica dos concretos decresce com o aumento do teor de EVA nas misturas, e que esse é inversamente proporcional às duas propriedades mecânicas estudadas (tração por compressão diametral e resistência à compressão axial). Nas propriedades de durabilidade, concluiu-se que a menor absorção por capilaridade foi obtida para os concretos com EVA (em comparação com a mistura de referência), não havendo diferença expressiva entre os traços com EVA. O ensaio de absorção por imersão total mostrou que essa propriedade é diretamente proporcional ao teor de EVA nos traços. Conclui-se que os concretos produzidos com substituição do agregado por EVA podem ser aplicados em elementos não estruturais, pois apresentaram os valores de resistência à compressão axial variando entre 2,17 MPa e 6,85 MPa.

Palavras Chave: EVA, Acetato de Etil Vinila, resíduos, concreto leve.

ABSTRACT

Construction is one of the sectors that consumes the most natural resources and also the one that generates the most solid waste. In recent decades, the environment has suffered significant environmental impacts due to increased waste generation, which has prompted many researchers to seek alternative materials for use in cementitious materials. The recycling and use of some waste in construction can be advantageous, mainly because it can offer a reduction in the use of non-renewable natural resources and costs. Among the residues commonly studied are EVA (Ethyl Vinyl Acetate), which is a material with low specific mass, good thermal and acoustic performance, and has been used as a light aggregate for the production of concrete and mortars. With the aim of reducing the disposal of waste in the environment and seeking an alternative to its use, this work aims to reuse the EVA residue in concrete. Four traces were developed, one of them being a reference (without EVA) and the others with volume substitution of the natural aggregate by EVA at levels of 60%, 70% and 80%. The concrete quality control was performed by analyzing some of its properties: physical properties (specific mass), mechanical properties (tensile strength by diametral compression and resistance to axial compression) and durability (capillary absorption and absorption by total immersion). The analysis of the performance of the concretes allowed to conclude that the specific mass of the concretes decreases with the increase of the EVA content in the mixtures, and that this is inversely proportional to the two mechanical properties studied (diametral compression traction and resistance to axial compression). In the properties of durability, it was concluded that the lower absorption by capillarity was obtained for concretes with EVA (in comparison with the reference mixture), and there was no significant difference between the traces with EVA. The total immersion absorption test showed that this property is directly proportional to the EVA content in the traces. It can be concluded that concrete produced with EVA aggregate replacement can be applied to non-structural elements, as they presented axial compressive strength values ranging from 2.17 MPa to 6.85 MPa.

Keywords: EVA, Ethyl Vinyl Acetate, waste, lightweight concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema do Programa Experimental.....	30
Figura 2 Curva Granulométrica do agregado miúdo.....	32
Figura 3 Curva Granulométrica do agregado graúdo	33
Figura 4 Etileno Acetato de Vinila (EVA) utilizado como agregado graúdo	34
Figura 5 Curva Granulométrica do Etil Acetato de Vinila (EVA)	35
Figura 6 Produção dos concretos	37
Figura 7 Processo de cura submersa dos concretos.....	38
Figura 8 Resistência à compressão axial dos concretos aos 7 dias.....	41
Figura 9 Resistência à compressão axial dos concretos aos 28 dias.....	42
Figura 10 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 7 dias.....	43
Figura 11 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias	44
Figura 12 Absorção de água por capilaridade dos concretos	45
Figura 13 Absorção por imersão total dos concretos	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Trabalhos com utilização de EVA e aplicações na construção civil	27
Tabela 2 Composição do cimento CPV ARI	31
Tabela 3 Caracterização do Agregado Miúdo.....	32
Tabela 4 Caracterização do Agregado Graúdo	33
Tabela 5 Caracterização Etil Acetato de Vinila (EVA)	34
Tabela 6 Traços utilizados para produção dos concretos.....	36
Tabela 7 Quantitativo de corpos de prova (CPs) por tipo de ensaio.....	37
Tabela 8 Massa específica dos concretos no estado fresco	40
Tabela 9 Massas específicas de concretos leves	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Estrutura do Trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	O Concreto e as suas variações	15
2.2	Concretos Leves	16
2.2.1	Principais Propriedades dos Concretos Leves	17
2.2.2	Aplicações dos Concretos Leves	18
2.3	O EVA, suas características e aplicações	19
2.3.1.	O resíduo de EVA e o seu impacto no meio Ambiente	19
2.3.2.	Matrizes cimentícios com incorporação de EVA	20
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Materiais	30
3.1.1	Aglomerante	31
3.1.2	Agregados Naturais	31
3.1.3	Agregado Artificial - EVA	33
3.1.4	Água	35
3.2	Procedimento de dosagem, mistura e moldagem dos concretos	35
3.2.1	Produção dos concretos	36
3.3	Propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos no estado endurecido	38
3.3.1	Resistência à compressão axial	38
3.3.2	Resistência à tração por compressão diametral	38
3.3.3	Absorção de água por capilaridade e imersão total	38
3.3.4	Massa específica dos concretos no estado fresco	39
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6-	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O ambiente vem sofrendo impactos pelo crescimento desordenado da população e aumento da geração de resíduos como tijolos, cerâmicas, vidros, embalagens, borrachas e outros diversos outros tipos de materiais. A preocupação em reduzir os impactos tem se tornado consciência de todos, que procuram cada vez mais soluções sustentáveis para garantir uma melhor sobrevivência e qualidade de vida. (DANTAS et al. 2018)

A construção civil é o setor que mais consome recursos naturais. Estudos mostram que até 70% dos resíduos gerados são provenientes de canteiros de obra. O setor da construção civil é um dos maiores geradores de resíduos, mas também o que possui grande potencial para reaproveitar resíduos de outros setores industriais, como sílicas, cinzas volantes, pneus, borrachas, fibras sintéticas e naturais. (LACORTE 2013).

A reciclagem de resíduos na construção civil pode oferecer vários benefícios como a redução do consumo de recursos naturais, redução das áreas de aterro necessária para receber os resíduos descartados, redução do consumo de energia e da poluição (ÂNGULO et al., 2001).

Os resíduos que apresentam baixa massa específica, tem sido muito utilizados como agregados leves na construção civil para obtenção de elementos com fins não estruturais. Entre eles está o EVA (acetato de etil vinila), o PET (Poli Tereftalato de Etileno), o PU (poliuretano) e o EPS (poliuretano expandido) (TREIN et al.,2014).

A indústria calçadista é uma das principais geradoras de resíduos de EVA. O volume de resíduos reaproveitados no processo é cerca de 40% do total gerado, isso porque o processo de reciclagem exige técnicas limitadas e se trata de um processo lento. Por acarretar diversos problemas ao ambiente, é preciso encontrar fins para este resíduo, sendo o setor da construção civil uma boa opção (POLARI FILHO, et al. 2003).

O concreto é o material mais consumido, composto basicamente pela mistura de água, agregados e aglomerante. O concreto convencional possui massa específica que varia entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³ segundo a ABNT NBR 6118. Já os concretos leves têm sua massa específica com valor abaixo de 2000 kg/m³, isso graças ao emprego de agregados leves à mistura convencional. Algumas das vantagens do concreto leve é seu menor peso para as estruturas, além do bom desempenho térmico e acústico (ASSUNÇÃO RIOS, 2008).

Há diversos estudos sobre compósitos com uso de EVA. Por se tratar de um material com baixa massa específica, com bom desempenho térmico, bom desempenho acústico e estável, pode ser utilizado como agregado leve em concretos e argamassas ou como material de enchimento em lajes ou blocos de concreto (POLARI FILHO, et al. 2003).

Autores como Garlet **et.al** (1997), Garlet (1998), Zuchetto (2015) e Borges (2015) estudaram a substituição parcial do agregado graúdo pelo agregado leve de EVA nas proporções de 60%, 70%, 80%, entre outras, para produção de concretos. Analisaram propriedades mecânicas, como resistência à tração e à compressão e desempenho térmico e acústicos do novo compósito, comparando-os com concretos convencionais. Os autores chegaram em resultados que demonstram boas qualidades e possibilidades de uso para os concretos produzidos com EVA.

Os resultados promissores desses trabalhos e a necessidade de encontrar uma finalidade para o resíduo, serviram de motivação para o desenvolvimento dessa pesquisa, a qual procura avaliar a viabilidade da utilização de EVA na produção de concretos, frente a avaliação de determinadas propriedades mecânicas e de durabilidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos de distintos teores de EVA em substituição em volume ao agregado graúdo em algumas propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos de cimento Portland.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar a resistência à compressão axial de concretos com e sem incorporação de EVA;

Avaliar a resistência à tração por compressão diametral de concretos com e sem incorporação de EVA;

Avaliar a absorção de água por capilaridade de concretos com e sem incorporação de EVA;

Avaliar a absorção total de água de concretos com e sem incorporação de EVA

Avaliar a influência da substituição parcial do agregado natural por EVA na massa específica no estado fresco do concreto

Comparar o desempenho mecânico e de durabilidade de concretos de cimento Portland fabricado com EVA em substituição ao agregado graúdo em relação aos concretos de referência (sem EVA).

- Minimizar o problema ambiental gerado pelo resíduo de EVA através de uma nova destinação do material.

1.2 Justificativa

A preocupação com o meio ambiente é um assunto decorrente. O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e geradores de CO₂ para atmosfera, e por isso tem procurado alternativas sustentáveis para amenizar danos à natureza e ao ambiente (SILVA *et al.*, 2018).

Com o objetivo de reduzir os danos ao meio ambiente, têm sido desenvolvidas diversas pesquisas nas quais se estudam as possibilidades de substituir os componentes do concreto sem que o meio ambiente seja agredido (DIAS *et al.*, 2017).

Uma das alternativas é a utilização de agregados provenientes de processos de reciclagem ou obtidos no final de processos industriais, em substituição dos agregados naturais (SANTOS *et al.*, 2017).

A indústria calçadista é uma das principais produtoras de resíduos de EVA, o qual é pouco reaproveitado. O EVA é um material que possui processo de degradação lenta, assim, ocupa um alto volume nos aterros sanitários, além de outros impactos ambientais. Uma das alternativas para reciclagem desse resíduo é o seu reaproveitamento na construção civil como agregado leve. Graças às suas propriedades, colabora para melhorias nos concretos, argamassas e outros compósitos cimentícios, como o isolamento acústico (BORGES, 2015).

A realização da pesquisa é justificada por tratar-se de uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos de EVA, que normalmente são descartados em aterros e acabam promovendo problemas de ordem ambiental. A produção de concretos com EVA também permite o aprimoramento de algumas propriedades do concreto (como a redução da sua densidade e uma melhor capacidade de isolamento térmico e acústico) para aplicações específicas.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, o objetivo principal, os objetivos específicos e a justificativa da pesquisa. O capítulo dois apresenta a fundamentação teórica acerca do assunto, e o capítulo três, a metodologia que será adotada para alcançar os objetivos apresentados e o cronograma com as atividades a serem desenvolvidas. O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa e a discussão sobre eles. O capítulo cinco apresenta a conclusão. Por fim, é apresentado as referências bibliográficas consultadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Concreto e as suas variações

O concreto é o material mais utilizado na construção civil por se tratar de um material com resistência para suportar esforços aos quais é submetido e adquirir qualquer forma antes do seu endurecimento e resistir bem à ação da água. Diversos estudos foram realizados sobre sua natureza e comportamento, os quais aperfeiçoaram materiais, técnicas, teorias e formas de aplicá-lo. Atualmente encontra-se o concreto empregado nas diversas áreas da construção civil, isso graças à estudos sobre sua natureza e comportamento, que aperfeiçoaram técnicas e materiais para aplicá-lo (LIMA *et al.*, 2014).

Existem vários tipos de concreto, os quais diferenciam-se pela sua aplicabilidade nas construções. Os principais tipos de concreto são: o concreto convencional, armado, protendido, bombeável, auto adensável e o concreto leve.

O concreto convencional é aquele que não possui nenhuma característica especial e aplicado no dia a dia das obras, podendo ser utilizado em qualquer tipo de estrutura (LIMA *et al.*, 2014).

O Concreto Armado resulta da associação entre o concreto convencional e barras de aço. Em conjunto, o material resultante é capaz de resistir com alta eficiência aos esforços de tração e de compressão (CHUST *et al.*, 2007).

O Concreto Protendido se trata de uma evolução do concreto armado. Previamente aplica-se tensões de tração as armaduras, com objetivo de evitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, aproveitando melhor as propriedades do aço (NBR 6118, itens 3.1.4 e 3.1.6).

O concreto bombeável é produzido a fim de adquirir certa fluidez para ser aplicado. Permite redução do tempo de concretagem e mão de obra (LIMA *et al.*, 2014).

O Concreto auto adensável é definido como um concreto com alta fluidez e trabalhabilidade. Ele é capaz de ser moldado sem a necessidade de vibradores de adensamento (METHA E MONTEIRO, 2006).

O concreto leve é caracterizado pelo seu peso específico reduzido comparado ao concreto convencional. São produzidos com agregados diferenciados, conseqüentemente possuem resistência diferenciada também (LIMA *et al.*, 2014).

2.2 Concretos Leves

Caracteriza-se principalmente pela baixa massa específica comparado aos demais tipos de concreto. Para o concreto ser considerado leve, o máximo valor para massa específica é de 2000kg/m^3 (NBR 12655 (ABNT, 2015)).

Além de proporcionar redução de peso às estruturas, outras características podem ser melhoradas através dos concretos leves, como a trabalhabilidade, durabilidade e condução térmica (ROSSIGNOLO, 2009).

Para se obter um concreto leve, pode-se substituir os agregados naturais por um mais leve, por meio de incorporação de ar nos vazios da matriz do concreto ou através da produção de concretos sem finos (ARAUJO, 2017).

Há diversos tipos de concretos leves, entre eles o com argila expandida, com EPS (Poliestireno Expandido), com incorporação de ar, com adição de metacaulim e com adição de EVA (Etil Vinil Acetato).

O concreto leve com argila expandida pode ser usado como concreto de enchimento ou estrutural. Possui baixa densidade e boa condutividade térmica (PEREIRA 2008).

O concreto leve com EPS é utilizado em elementos arquitetônicos devido ao fato de que a introdução do isopor faz a formação de um concreto homogêneo e um bom acabamento. Suas propriedades térmicas superam às do concreto convencional, além de possuir menor peso que esses (ARAUJO, 2017).

Muito utilizado para construções de paredes de concreto, o concreto com incorporação de ar possui um bom desempenho térmico e acústico, além de proporcionar uma boa durabilidade para as estruturas. Se trata de uma boa alternativa para a construção civil, pois reduz o consumo de materiais e o custo das obras (CINTRA, 2015).

O Concreto Leve com EVA pode ser utilizado como material de enchimento de lajes, painéis ou blocos de vedação, por ser um excelente isolante térmico e acústico. Além disso, produz concretos com menor custo e menor peso comparados aos concretos convencionais, colaborando para a redução do peso das estruturas (PAULA, 2011).

2.2.1 Principais Propriedades dos Concretos Leves

Entre as vantagens do concreto leve encontram-se sua baixa massa específica e a baixa condutividade térmica. Porém possui a desvantagem de possuir uma baixa resistência e baixa trabalhabilidade no seu estado fresco, devido a absorção de água pelos agregados porosos (GARLET, 1998).

São concretos que requerem cuidados no momento do seu lançamento na estrutura. Isso deve-se a sua baixa densidade. Por isso recomenda-se vibradores com baixa frequência. Durante o processo de cura, há uma alta elevação de temperatura na hidratação do cimento, devido a condutividade térmica de seus agregados. Em relação a resistência à compressão, seus valores se estabilizam mais rapidamente aos 28 dias que os concretos convencionais, pois apresentam uma menor elevação do valor da resistência após os 28 dias. Quanto a resistência a tração, apresentam valores menores que os concretos convencionais, devido aos vazios presentes na matriz. A porosidade dos seus agregados afeta diretamente na durabilidade, sendo menos resistente aos agentes agressivos do que os concretos convencionais (ANGELIN, 2014).

A resistência à compressão de concretos leves está relacionada a relação água/cimento, esta que se difere conforme o tipo de agregado leve utilizado. A resistência a tração é outra propriedade que depende do tipo de agregados. Para uma mesma resistência, o teor de cimentos nos concretos leves é maior que em concretos convencionais. Sendo assim, ao longo do tempo, a quantidade de cimento eleva as deformações do concreto. Possuem uma maior retração inicial que os concretos comuns e baixa permeabilidade. Quando comparados aos demais tipos de concretos, são mais resistentes ao fogo, podendo ser utilizado em espessuras menores que os demais (OLIVEIRA, 2006).

A resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão em concretos leves são inferiores se comparadas aos concretos convencionais. O módulo de elasticidade para esses concretos varia na faixa de 50% a 80% do valor de concretos comuns. A sua resistência máxima de compressão é atingida mais cedo que os demais concretos. Por isso, na idade de 28 dias, não há variação dos valores. Devido às características de seus agregados, possui melhor interação entre esses e a matriz (PAULA, 2011).

A alta retração por secagem é devido a limitação de movimentação da matriz de cimento por conta dos agregados. São concretos com relação água/cimento

inferiores aos convencionais. Apresentam menos fissuras internas e uma melhor qualidade na zona de transição pasta-agregado. (ROSSIGNOLO, 2009).

2.2.2 Aplicações dos Concretos Leves

Há diversas aplicações para o concreto leve na construção civil. É economicamente e tecnicamente viável sua aplicação para redução de peso da estrutura, especialmente em edificações com muitos pavimentos, para elementos pré-fabricados que necessitam ser transportados e para estruturas especiais e estruturas flutuantes. Graças a sua baixa massa específica, reduz o custo de transporte em até 50%, reduz o tempo de montagem das estruturas pré-fabricadas e tem capacidade de reduzir em até 70 % o peso de solicitações estruturais. Portanto, o concreto leve é uma ótima alternativa para redução de custos no setor da construção civil (ROSSIGNOLO, 2009).

Ao decorrer dos anos, o concreto leve tem sofrido alterações para atender as demandas da construção civil e da arquitetura. Ele é a solução encontrada para vencer grandes vãos, o que possibilitou realização de diversos projetos (OLIVEIRA, 2006).

Pode ser aplicado em todos os tipos de construções, unifamiliares, multifamiliares, hospitais, escolas, garagens, desde que estas não exijam grandes solicitações de compressão (SOUZA *et al.*, 2017).

No Brasil há pouca utilização de concretos leves, mesmo com seu alto potencial de utilização. A região de São Paulo e estados vizinhos são os locais onde mais se utiliza deste tipo de concreto, devido a presença da fábrica de argila expandida, Cinexpan em Várzea Paulista -SP. Desde o início da produção de argila expandida, o concreto leve tem sido utilizado principalmente em elementos pré-fabricados e em lajes de edificações com diversos pavimentos (ROSSIGNOLO, 2009).

2.3 O EVA, suas características e aplicações

De acordo com o Centro Tecnológico do Couro, Calçado e Afins (CTCCA), o EVA é composto por resina de EVA, agente de expansão, agente reticulante, cargas, ativadores e outros polímeros como borracha.

É obtido por polimerização, via radicais livres, do Etileno com Acetato de Vinila em reatores de alta pressão. A concentração homogênea de acetato de Vinila proporciona qualidade uniforme ao produto final (GARLET 1998).

Contém acetato de Vinila, a qual define as propriedades do EVA. Quanto maior o seu teor na composição, mais próximas as suas propriedades ficam da borracha ou do PVC. Apresenta baixa densidade assim como polietileno (GARLET 1998).

É um polímero micro poroso e de difícil reprocessamento. Possui baixa massa específica, mas um grande volume, ocupando grande espaços para ser armazenado. É um produto não biodegradável, havendo necessidade da sua reciclagem (LUCAS *et al.*, 2008).

Suas principais características são a excelente flexibilidade e tenacidade, elasticidade, transparência, atóxico, facilmente moldável e trata-se de um material termofixo, ou seja, modifica sua estrutura em altas temperaturas (GARLET, 1998).

Uma das principais aplicações para o EVA, é na produção de chapas reticuladas e expandidas utilizadas na produção de solados de calçados (GARLET 1998).

Algumas das aplicações mais comuns para este material é em embalagens de alimentos, vestuário, calçados, luvas cirúrgicas, asfalto, brinquedos, artigos esportivos e na construção civil para forros e pisos industriais (GARLET, 1998).

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

Pode ser obtido agregado sintético para emprego em blocos de alvenaria, painéis, enchimento de lajes. Garante aos elementos estruturais mais leveza, além de contribuir para a redução de resíduos enviados aos aterros (LUCAS *et al.*, 2008).

2.3.1. O resíduo de EVA e o seu impacto no meio Ambiente

O depósito de EVA em áreas a céu aberto gera problemas ambientais como a poluição visual destas áreas e a proliferação de insetos e pequenos animais. Por se

tratar de um material termofixo, não pode ser reaproveitado para produção de novas placas de EVA. E por ser um material não biodegradável, faz com que aumente muito o volume nas áreas de descarte (GARLET,1998).

O EVA é um resíduo com baixa velocidade de degradação, pois não é biodegradável. Além disso, o seu processo de incineração gera gases tóxicos, o que torna inviável fazê-lo (POLARI FILHO, *et al.* 2003).

2.3.2. Matriz cimentícias com incorporação de EVA

O problema de geração de resíduos pelas indústrias tem sido motivação para pesquisadores buscarem alternativas para aproveitarem estes materiais. A construção civil possui grande potencial para reutilizar materiais reciclados, pois tem o objetivo de sempre buscar alternativas para reduzir os custos das construções (SILVA *et al.*, 2018).

O etileno acetato de vinila (EVA) é um material utilizado em diversos setores industriais, principalmente no setor calçadista. Possui baixa massa específica (180 kg/m^3) e ocupa um grande volume quando armazenado, por isso é indispensável que se encontre um fim para ele. Devido os problemas ambientais necessita-se que o EVA seja descartado corretamente ou reaproveitado em outros setores (SILVA *et al.*, 2016).

Por ser um material leve, que apresenta boa resistência ao desgaste e boas propriedades acústicas e térmicas, o EVA pode ser utilizado como agregado leve para produção de concretos. Este fato colabora para que diversas pesquisas vêm sendo realizadas com a substituição do agregado graúdo por EVA (SILVA *et al.*, 2018).

Os teores para substituição dos agregados em volume, por EVA, são usualmente de 60%,70%,80% e 100%. As principais características adquiridas pelo concreto produzido com esta substituição é a baixa massa específica, melhor trabalhabilidade, uma elevada absorção de água, entre 17 a 58% e o aumento da sua ductilidade (LACÔRTE, 2013).

Segundo Santiago (2008), concretos com incorporação de EVA também podem melhorar o comportamento térmico e acústico das construções sem alterar a espessura do concreto.

Zuchetto *et al.* (2015) utilizou EVA em substituição ao agregado miúdo em argamassas para utilização em contra pisos, nas proporções de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. Os autores constataram que o seu uso reduz o peso da estrutura,

auxiliando no seu desempenho térmico e acústico, não comprometendo a resistência do concreto a tração e à compressão axial, para concretos sem fim estrutural. Segundo os autores, os melhores teores de substituição foram de 60% e 80%.

Andrade et al. (2017) estudou os traços 1:3 e 1:6 em argamassas, substituindo o agregado miúdo, em massa por EVA, nas porcentagens de 5%, 10% e 15%. As relações água/cimento dos traços ($a/c = 0,63$ para o traço 1:6 e $a/c = 0,5$ para o traço 1:3) foram obtidas por observação empírica, em que foi acrescentado água até obtenção da melhor trabalhabilidade. Os autores estudaram a densidade da argamassa, a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral, a absorção por capilaridade e por imersão total. Observaram que a densidade das argamassas diminuiu com o aumento da porcentagem de EVA nas misturas. O aumento da porcentagem de EVA promoveu uma redução das propriedades resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral em ambos os traços. O traço 1:3 apresentou valores maiores de resistência à compressão axial devido a sua menor relação água cimento e maior consumo de cimento. Para a absorção de água, tanto por capilaridade como por imersão total, os autores observaram que para o traço 1:3, a absorção é inversamente proporcional à porcentagem de EVA. Já para o traço 1:6 este comportamento é ao contrário, sendo o traço com a maior porcentagem de EVA, o que mais absorveu água tanto por capilaridade como por absorção total.

Trein *et al.* (2014) utilizou o EVA como agregado leve em argamassas alcali-ativas, com objetivo de desenvolver elementos não estruturais. O EVA foi usado em conjunto com o resíduo poliuretano (PU). As argamassas foram moldadas para três traços, em cada um deles, o agregado miúdo foi substituído nos teores de 10%, 20%, 30% e 40% por EVA e PU. Os traços se diferenciavam pela relação PU/EVA. Para o traço 1 esta relação é igual a 30/70, para o traço 2, 50/50 e para o traço 3, 70/30. Foram realizados ensaios de caracterizações através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) e resistência à compressão axial aos 7 e aos 28 dias, à fim de avaliar a viabilidade técnica de utilizar estes elementos para fins não estruturais. Os autores esperavam atingir a resistência mínima de 2,5 MPa, a qual só não foi atingida para misturas com teores de EVA de 40%. O estudo comprovou a viabilidade técnica da utilização das argamassas para elementos não estruturais. Segundo os autores, as argamassas produzidas com EVA podem auxiliar na redução das sobrecargas nas edificações, além de reduzir o consumo de agregados naturais e os impactos ambientais provocado pelo descarte desses resíduos.

Borges (2015) estudou a densidade aparente, a resistência à tração na flexão e à compressão axial, a rigidez dinâmica, a fluência à compressão axial e os níveis de pressão sonora de impacto de placas de contra piso com 3 e 5 cm de espessura. O autor utilizou um traço 1:4 e definiu os teores de substituição em volume do agregado miúdo por EVA em 25%, 50% e 75%. Borges (2015) concluiu que a densidade diminuiu para todas as amostras, conforme o aumento do teor de EVA nos traços. Observou também, uma redução das propriedades de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão axial com a variação do teor de EVA nas misturas. A rigidez dinâmica e a frequência ressonância cresceram com a variação da porcentagem de EVA nas misturas, sendo as placas de maiores espessuras as que apresentam melhor comportamento. Em relação à fluência à compressão axial, todas as espessuras têm deformação maior se comparadas ao traço de referência. O autor verificou que quanto maior a espessura da placa e maior o teor de EVA no traço, maior foi a redução de níveis de ruído de impacto, principalmente para as misturas com teor de 25% e para frequências de 500 Hz, comprovando o bom desempenho acústico do material.

Silva *et al.* (2016) incorporou EVA na forma de aparas, em uma pasta de cimento, produzindo placas para isolamento acústico. Utilizou o traço 1: 0,62: 0,45 (cimento: EVA: água), que apresentou melhor trabalhabilidade e boa cobertura das aparas de EVA nas placas. Em relação ao isolamento acústico, observou que as placas produzidas com EVA não apresentam comportamento de isolamento acústico para baixas frequências. Para as frequências entre 300 e 800Hz, os resultados foram positivos quanto ao isolamento acústico, o que é típico de materiais porosos e fibrosos.

Silva *et al.* (2017) estudou a incorporação de aparas de EVA em placas cimentícias. Realizou análise micro estrutural, absorção de água, inflamabilidade e isolamento acústico para três traços diferentes (cimento: EVA: água): 1:0,62:0,35; 1:0,62:0,45 e 1:0,62:0,55. O melhor desempenho, segundo os autores, foi obtido para o traço 1: 0,62: 0,45, com melhor trabalhabilidade e melhor cobrimento das aparas de EVA. A absorção de água foi de 20% em média para todos os traços. Com relação à inflamabilidade, os autores constataram que o material não tem capacidade antichama. No entanto, para o isolamento acústico, as três placas apresentaram redução do som emitido pela fonte sonora em até 15 dB à 1000 Hz, indicando um material com finalidade de proteção acústica.

Garlet *et al.* (1997) avaliou aspectos técnicos de concreto formado por cimento, areia e agregado leve de EVA em substituição em volume ao agregado graúdo, com

o objetivo de estudar as suas propriedades mecânicas e apontar possibilidades para aplicação deste material. Foram estudados quatro teores de substituição (60%, 70%, 80% e 100%) com dois traços diferentes (1:3 e 1:5). Os autores observaram que a trabalhabilidade do concreto estava diretamente relacionada com o teor de EVA no traço, sendo o traço com 60% de EVA o melhor nesse aspecto. Para a propriedade de resistência à compressão axial, observaram que o traço com menor teor de EVA apresentou os melhores resultados quando comparados aos demais. Quanto à resistência à tração, os autores concluíram que a incorporação de EVA colabora positivamente para essa propriedade.

Garlet (1998) avaliou diversas propriedades do concreto (massa unitária, trabalhabilidade, resistência à compressão axial, tração na flexão, tração por compressão diametral, índice de vazios, absorção de água, retração por secagem e módulo de elasticidade) substituindo parcialmente em volume os agregados graúdos por EVA, nos teores de 60%, 70% e 80%. Os traços estudados foram 1:3; 1:5 e 1:7. Os autores concluíram que os traços 1:3 com 60% de substituição e o traço 1:7, com 70% de substituição, apresentaram melhor trabalhabilidade. Em relação à massa unitária, esta varia conforme o teor de EVA no traço, quanto maior a porcentagem de EVA, menor a densidade. E comparando os traços, a maior densidade foi nos traços 1:3 e 1:5. O traço 1:3 com 60% de EVA apresentou o maior valor para resistência à compressão axial entre os traços investigados. Já para resistência à tração na flexão os melhores resultados foram obtidos para as misturas com teores de 70% e 80% no traço 1:3. Os resultados mostraram que o EVA influenciou diretamente nesta propriedade por ser um material elástico, funcionando como uma fibra na massa de concreto. Com relação a resistência à tração por compressão diametral, os autores concluíram que essa propriedade é inversamente proporcional ao teor de EVA, sendo maior para os menores teores. Observaram também, que quanto maior o teor de EVA utilizado no traço, maiores foram a absorção de água, o índice de vazios e os módulos de deformação dos concretos. Constataram que devido às propriedades físicas do EVA, as misturas apresentaram bom desempenho térmico. E por fim, observaram uma retração por secagem superior nos concretos leves com EVA, se comparados aos concretos convencionais.

Pimentel et al. (2004) estudaram novas dimensões para blocos de concreto com agregado leve com EVA, baseados nos estudos de Bezerra (2002). Os autores avaliaram três diferentes geometrias de blocos com EVA: bloco EVA-1, com dimensões 9x19x79cm; bloco EVA-2, com dimensões de 9x29x59 cm e o bloco EVA-

3, com dimensões de 9x34x59 cm. O traço utilizado foi 1:3, com teor de substituição do agregado graúdo por 70% de EVA e relação água cimento composta pela água absorvida pelo EVA mais a acrescida à mistura. O Bloco EVA-1 apresentou um peso muito superior (22 kg) ao bloco de referência (5,5 kg), o que o tornou inviável de ser utilizado. Além disso, para atender as alturas padrões dos painéis de vedação seriam necessários cortes em função das dimensões do bloco, o que causaria desperdício de material. O Bloco EVA-2 possuía a mesma espessura do Bloco EVA-1 e pesou 11 Kg, porém em função das dimensões incompatíveis para as alturas padrões, sua utilização se tornou inviável. O Bloco EVA-3 foi o único do estudo que apresentou o mesmo peso do bloco de concreto convencional e dimensões que possibilitam a maior produtividade na construção civil e um menor custo, por necessitar menos blocos para construção dos painéis de vedação.

Com o objetivo de definir uma geometria adequada para blocos de EVA que aumentem a produtividade da construção civil e de reduzir os resíduos gerados na execução de painéis, Pimentel et al. (2006) analisou a resistência à compressão de blocos de concreto (11,5x26,5x59cm) com EVA. O autor utilizou um traço 1:3, e a substituição do agregado graúdo por EVA foi realizada em volume e em três diferentes proporções (60%, 70% e 80%). Para cada uma das porcentagens de EVA foram moldados traços com uma relação água/cimento distintas (0,44, 0,42 e 0,40), respectivamente. Pimentel et al. (2006) concluíram que a resistência à compressão diminuiu com o aumento de teor de EVA nos traços. Para análise dos desempenhos das paredes, foram utilizados blocos com 80% de EVA, por apresentarem resultados de resistência à compressão axial mais desfavoráveis (0,82MPa), entre os teores estudados. Segundo os autores, a parede atingiu uma resistência de 0,92 MPa e se deformou bastante antes do seu colapso. Concluíram também que o uso de blocos de EVA pode ser viável para paredes de vedação, pois os mesmos são capazes de absorver algumas deformações que evitam o surgimento de patologias, além de permitirem uma execução mais rápida.

Polari Filho et al. (2006) procurou estabelecer uma resistência mínima aceitável para blocos pré-moldados com incorporação de EVA como agregado leve e testou a resistência de painéis confeccionados com esses blocos. Também foi analisada a eficiência desses painéis, que se refere à influência da resistência à compressão dos blocos na resistência à compressão das paredes a qual eles compõem. Os autores desenvolveram três blocos com dimensões distintas. O Bloco EVA 1 (9 x 19 x 39cm) foi moldado para quatro misturas diferentes, utilizando o traço 1:3 com 60%, 70% e

80% de EVA e utilizando o traço 1:5 com 60% de EVA. O Bloco EVA 2 (14 x 19 x 39cm) foi moldado com o traço 1:5 e com 80% de EVA. Por fim, o Bloco EVANG (11,5 x 26,5 x 59cm) foi moldado com o traço 1:3 com 80% de EVA. Em todos os traços o EVA substituiu os agregados graúdos em volume. As dimensões dos três blocos foram definidas baseados em estudos científicos de GARLET (1998) e BEZERRA (2002) O Bloco EVANG foi o único moldado manualmente. Os autores constataram que o melhor desempenho em relação à resistência à compressão para os blocos para o bloco EVA 1 com teor de 60% e traço 1:3. Para esse traço foi atingida resistência de 3,28 MPa, maior que a estipulada na NBR 7173(1982). A resistência à compressão dos painéis foi analisada segundo os parâmetros da NBR 8949(1985), e o melhor resultado foi também para bloco EVA 1 o traço 1:3 com 60% de EVA, obtendo-se um valor de 1,70 MPa. Em relação à eficiência dos painéis, o melhor resultado foi para o constituído de Bloco EVA 1 com teor de EVA de 80%. Quando confeccionados painéis de vedação com os blocos de EVA, estes suportam maior carga por metro linear que os painéis de vedação convencionais.

Filho *et al.* (2011), realizou um estudo comparativo do comportamento térmico de paredes construídas com tijolos cerâmicos de 8 furos (19 x 19 x 09cm) e blocos de concreto de EVA (39 x 19 x 09cm). Os autores produziram os blocos com cimento CP II F 32, utilizando um traço 1:5, com 60% de EVA e 40% de areia. Os resultados mostraram que as paredes confeccionadas com o bloco de EVA apresentaram desempenho térmico semelhante as paredes confeccionadas com tijolos cerâmicos, sendo que os dois materiais apresentam uma diferença de apenas de 1°C entre as temperaturas registradas.

Silva *et al.* (2012) avaliou o comportamento térmico de paredes com dimensão de 1m², confeccionadas com distintos blocos de concreto com EVA. Os blocos com espessura de 9 cm e 14 cm foram moldados utilizando o traço 1:2:3:0,5 (cimento CII F 32: areia: EVA: água/cimento), com a substituição em volume de 60% do agregado graúdo por EVA. Para os blocos com espessura de 12,5 cm foi utilizado o traço 1:2:4:0,5 (cimento CII F 32: areia: EVA: água/cimento), com a substituição em volume de 80% do agregado graúdo por EVA. A parede composta com bloco EVA 80% (12,5 cm) foi a que apresentou maior diferença entre a face exposta e oposta ao calor. Segundo Silva *et al.* (2012), o teor de EVA nos blocos teve maior influência no desempenho das paredes se comparado à sua espessura. Ou seja, para uma mesma espessura de parede, quanto maior o teor de EVA nos blocos, maior foi a diferença entre as temperaturas da face exposta e não exposta. Em relação a condutividade

térmica, os autores concluíram que os painéis confeccionados com blocos com 80% de EVA e 12,5 cm foram os que apresentaram maior capacidade de isolamento térmica.

A Tabela 1 apresenta um resumo de algumas pesquisas científicas elaboradas com aproveitamento de EVA com aplicações na construção civil

Tabela 1 Trabalhos com utilização de EVA e aplicações na construção civil

Autor	Produto Final	Material substituído	Teor de EVA no produto	Propriedades avaliadas	Idade de controle	Resultados
GARLET et al. (1997)	Concreto Traços: 1:3; 1:5 e 1:7	Brita	0%, 60%, 70%, 80% e 100% (em volume)	Resistência à compressão axial; resistência à tração.	28 dias	O traço com 60% de EVA apresentou melhor resultado para a resistência à compressão axial. Para a resistência à tração, o melhor desempenho foi observado para o traço com 70% de EVA.
GARLET (1998)	Concreto Traços: 1:3 e 1:5	Brita	0%, 60%, 70%, 80% e 100% (em volume)	Trabalhabilidade; resistência à compressão axial; resistência à tração na flexão; resistência à tração por compressão diametral; isolamento térmico; absorção; índice de vazios; módulo de elasticidade e retração.	7 e 28 dias	Os traços 1:3 com 60% de EVA e 1:7 com 70% apresentaram os melhores resultados para trabalhabilidade. Todos os teores de substituição apresentaram menor densidade e maior retração por secagem. Para resistência à compressão, o melhor resultado foi para o traço de 60% de EVA. Em relação à resistência à tração na flexão o melhor desempenho foi para o traço 1:3 com 70% e 80% de EVA, e para a resistência à tração por compressão diametral todos os traços apresentaram bom desempenho. O índice de vazios, o módulo de elasticidade e a absorção, aumentam conforme o aumento da quantidade de EVA no traço. Concluiu-se que devido às suas propriedades físicas, o concreto tem um bom desempenho térmico.
PIMENTEL et al.(2004)	Blocos de concreto Traço 1:3 Bloco EVA 1,EVA 2 e EVA 3	Brita	70% (em volume)	Novas dimensões para blocos de concreto com agregado leve com EVA	-	. O Bloco EVA 3 é o que possibilitou a maior produtividade na construção civil, um menor custo, por necessitar menos blocos para construção dos painéis de vedação. Ele possui o mesmo peso do bloco de concreto convencional, o Bloco EVA 1 e EVA 2 são mais pesados, por isso não é viável a sua utilização.
PIMENTEL et al.(2006)	Blocos de concreto traço 1:3	Brita	60%,70% e 80%.(em volume)	Resistência à compressão e desempenho da parede	28 dias	A maior resistência foi de 1,66 Mpa para o bloco 60% de EVA. A parede teve resistência igual a 0,92 MPa, com 80% de EVA.

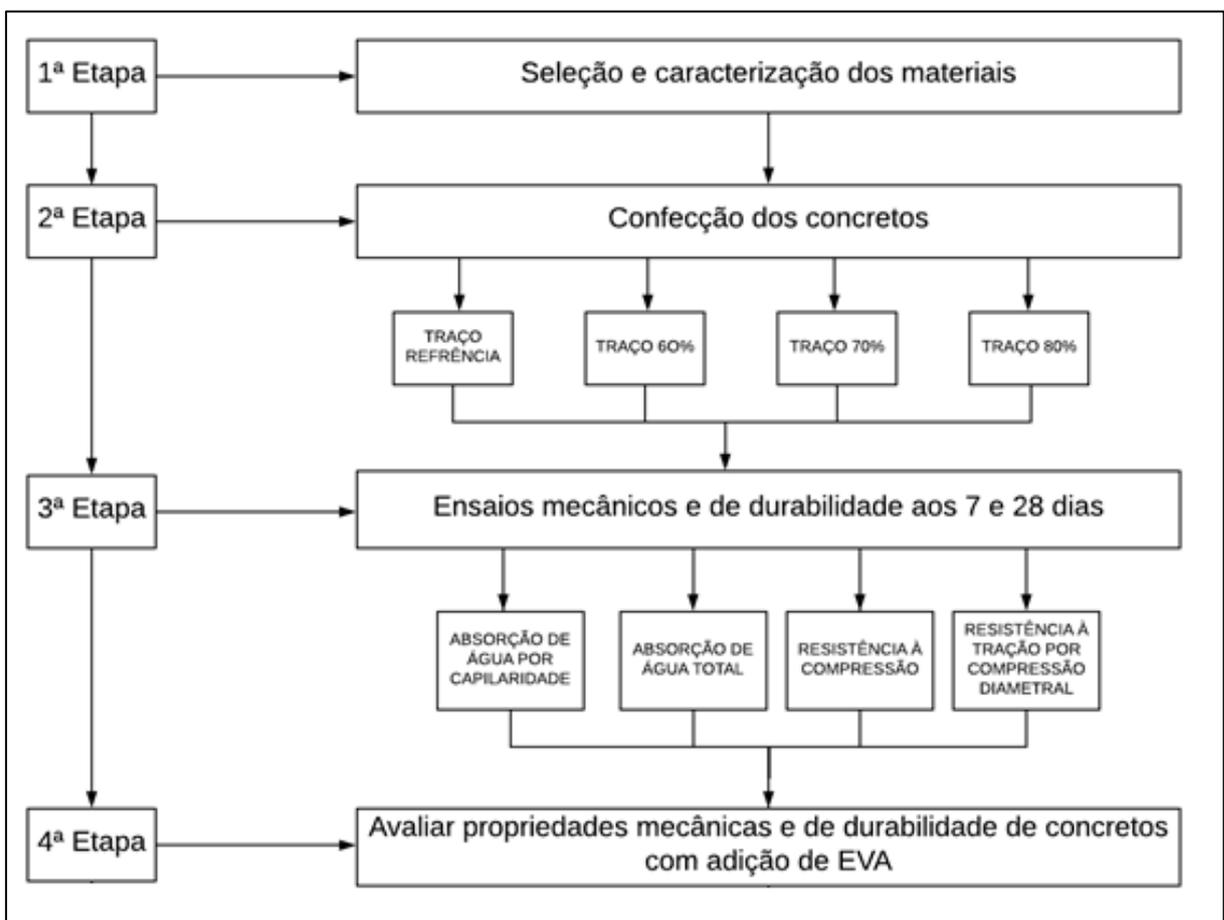
Autor	Produto Final	Material substituído	Teor de EVA no produto	Propriedades avaliadas	Idade de controle	Resultados
POLARI FILHO et.al (2006)	Blocos de concreto Traço 1:3 e 1:5 Bloco EVA 1 EVA 2 e EVANG	Brita	60%,70% e 80%(em volume)	Resistência à compressão, resistência e eficiência dos painéis	28 dias	A maior resistência foi do bloco EVA1 com teor de 60% de EVA e traço 1:3, 3,28 MPa. O painel de melhor resistência também é o composto pelo bloco EVA1 com 1,70 MPa. O painel mais eficiente foi o formado com blocos EVANG, com teor de 80% de EVA, com traço 1:5
FILHO et al.(2011)	Blocos de concreto. Traço 1:5	Areia	60%(em volume)	Comportamento térmico	28 dias	Bloco de EVA apresenta desempenho térmico semelhante aos tijolos cerâmicos, com apenas 1°C de diferença entre as temperaturas registradas.
SILVA et al.(2012)	Blocos de concreto. Traço 1:2:3:0,5 e 1:2:4:0,5	Brita	60% e 80%(em volume)	Comportamento térmico	28 dias	O bloco com 80% foi o que apresentou melhor desempenho térmico, registrando uma maior diferença entre as temperaturas das faces exposta e não exposta ao calor, ele foi o que apresentou melhor capacidade de isolamento térmica.
LACORTE (2013)	Concreto	Brita	60%, 70%, 80% e 100%.(em volume)	Massa específica e absorção de água.	28 dias	Todos os traços apresentaram menor massa específica .A absorção de água variou entre 17% e 58%.
TREIN et.al (2014)	Argamassa	Areia	10%, 20%, 30% e 40%.(em volume)	Resistência à compressão	7 e 28 dias	Esperava-se atingir a resistência mínima de 2,5 MPa, a qual só não foi atingida pelo teor de 40%.
ZUCHETO (2015)	Argamassa	Areia	0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%(em volume)	Massa específica, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, comportamento térmico e acústico	28 dias	A substituição de EVA em todos os teores reduz o peso da estrutura. Auxilia também no comportamento térmico e acústico. Não prejudica a resistência à compressão e à tração. Os melhores resultados foram para os teores 60% e 80% de EVA.

Autor	Produto Final	Material substituído	Teor de EVA no produto	Propriedades avaliadas	Idade de controle	Resultados
BORGES (2015)	Placas de contra piso de 3 e 5 cm de espessura Traço 1:4	Areia	25%,50% e 75% (em volume).	Densidade aparente, resistência à tração na flexão e à compressão, rigidez dinâmica, frequência ressonância, fluência à compressão e níveis de pressão sonora de impacto.	28 dias	A densidade, a resistência à compressão e à tração na flexão reduzem conforme o aumento do teor de EVA no traço. Já a frequência e rigidez dinâmica aumentam quanto maior o teor de EVA e maior a espessura das placas. Quanto à fluência, as duas espessuras e todos os teores de substituição tiveram valores maiores que o traço de referência. E quanto maior o teor de EVA, maior a redução do ruído de impacto nas placas.
SILVA (2016)	Argamassa (EVA/cimento)	Areia	60%(em volume)	Propriedades acústicas	28 dias	Para frequências baixas o compósito com EVA não apresentou diferença comparado ao convencional. Já para altas frequências, teve um comportamento eficaz.
ANDRADE et.al. (2017)	Argamassa Traços 1:3 e 1:6 a/c 0,63 com 0,5 para o 1:3	Areia	5%, 10% e 15%(em volume).	Densidade, resistência a compressão, resistência a tração por compressão diametral, absorção de água por capilaridade e por imersão total	7,14 e 28 dias	Para todos os traços houve diminuição da densidade da argamassa. A resistência a compressão para o traço 1:3 são maiores que para o 1:6. A resistência a tração por compressão diametral é menor para o teor de 15% de EVA no traço 1:6. A absorção por capilaridade e por imersão total são maiores no traço 1:6 com maiores teores de EVA.
SILVA et.al (2017)	Placas cimentícias	Areia	60%(em volume)	Absorção de água, inflamabilidade, trabalhabilidade e isolamento acústico	28 dias	O traço 1:0,62:0,45 foi o que apresentou melhor trabalhabilidade e cobertura das aparas de EVA, apresentou uma absorção de 20%. Todas os traços apresentam bom desempenho para isolamento acústico, porém não tem capacidade anti-chama.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental dessa pesquisa é apresentado na Figura 1 e está dividido em quatro etapas distintas. A primeira etapa corresponde a caracterização dos materiais utilizados. A segunda etapa, a execução e cura dos concretos e a terceira etapa, aos ensaios mecânicos e de durabilidade. A última etapa corresponde a análise dos resultados. Para a execução das etapas 1 a 3 serão utilizados os equipamentos e o espaço físico do Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete/RS.

Figura 1 Esquema do Programa Experimental



Fonte: Elaboração Própria

3.1 Materiais

Neste tópico estão apresentadas as características dos materiais utilizados na confecção das argamassas de acordo com o programa experimental deste trabalho.

3.1.1 Aglomerante

Como material aglomerante será utilizado cimento Portland CP V-ARI, com especificações da norma brasileira NBR 5733(ABNT,1991). Suas características químicas e físicas fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Composição do cimento CPV ARI

Ensaio Químicos			
Ensaio	Unidade	Resultados	Exigências
Óxido de Magnésio - MgO	%	3,72	≤6,5
Trióxido de Enxofre - SO ₃	%	3,27	≤4,5
Perda ao Fogo	%	3,37	≤4,5
Resíduo Insolúvel	%	0,63	≤1
Ensaio Físicos			
Ensaio	Unidade	Resultados	Exigências
Expansibilidade à quente	mm	0,35	≤5,0 mm
Início de Pega	h:min	03:23	≥60 min
Fim de Pega	h:min	04:08	≤600 min
Água de consistência normal	%	29,5	não aplicável
Área específica (Blaine)	cm ² /g	4.470	≥3.000 cm ² /g
Índice de finura - # 200	%	0,03	≥6,0 %
Resistência à Compressão			
Ensaio	Unidade	Resultados	Exigências
Resistência à Compressão - 1 dia	MPa	22,4	≥14 MPa
Resistência à Compressão - 3 dias	MPa	37,9	≥24 MPa
Resistência à Compressão - 7 dias	MPa	44,9	≥34 MPa
Resistência à Compressão - 28 dias	MPa	53,6	não aplicável

Fonte: Dados fornecidos pela empresa Itambé

3.1.2 Agregados Naturais

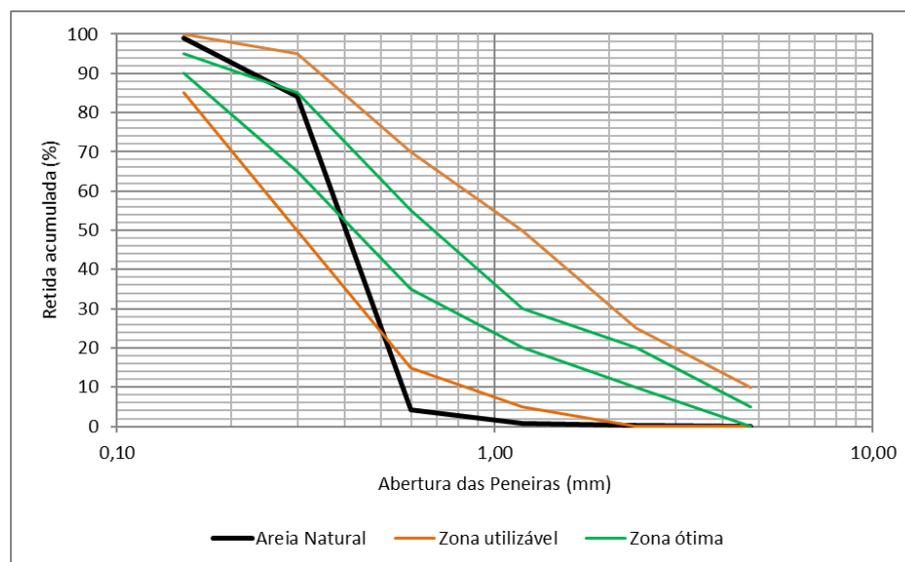
A areia utilizada neste estudo é de origem natural, oriunda do rio Ibicuí/RS. O agregado foi caracterizado de acordo com o procedimento recomendado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a realização do ensaio de massa específica foi seguida as prescrições normativas da NBR NM 52 (ABNT, 2009). A Tabela3 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo e a sua massa específica e a Figura 2 mostra a curva granulométrica e os limites normativos estabelecidos pela NBR 7211(2009).

Tabela 3 Caracterização do Agregado Miúdo

Abertura das peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	0,06	0,06
2,36	0,15	0,21
1,18	0,63	0,84
0,6	3,37	4,21
0,3	79,94	84,14
0,15	14,93	99,07
Fundo	0,93	100
Total	100	-
Diâmetro máximo (mm)		0,60 mm
Módulo de Finura		1,89
Massa específica (g/cm ³)		2,63

Fonte: Elaboração Própria

Figura 2 Curva Granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaboração Própria

O material (Figura 2) excede parcialmente os limites da zona utilizável estabelecidos em norma nas peneiras 1,18 e 0,6 mm. De acordo com a NBR 7211(2009) o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. O agregado ensaiado apresentou um módulo de finura de 1,89, caracterizando-se como areia fina. O agregado será utilizado na produção dos concretos por ser o único material disponível na região.

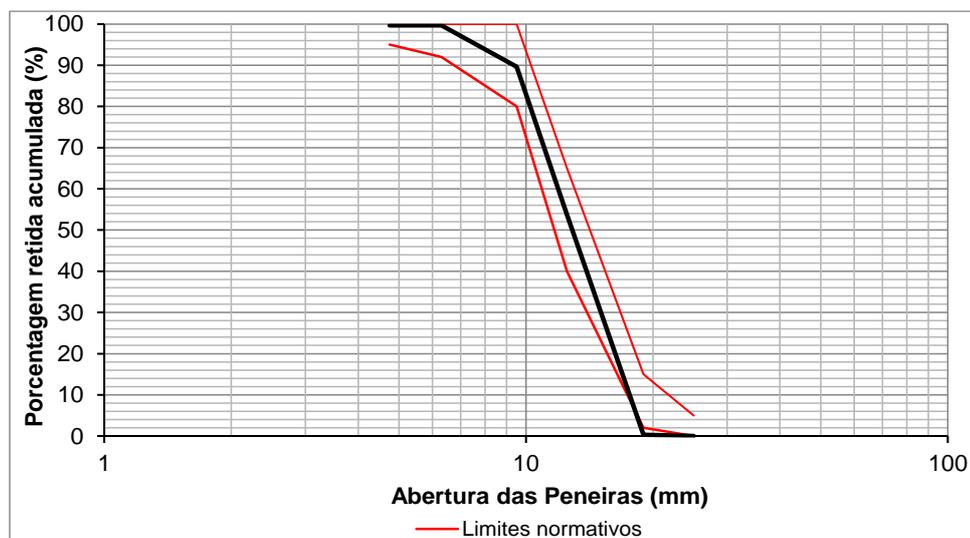
Como agregado graúdo será utilizado brita basáltica de jazida da região de Alegrete/RS, com diâmetro máximo de 19 mm e módulo de finura de 7,35. A tabela 4

apresenta a composição granulométrica do agregado graúdo e sua massa específica, e a Figura 3 a curva granulométrica, realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) .

Tabela 4 Caracterização do Agregado Graúdo

Abertura das peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
25	0	0
19	0,31	0,31
12,5	53,38	53,69
9,5	35,96	89,65
4,75	10,04	99,69
Fundo	0,31	100
Total	100	-
Diâmetro máximo (mm)		19,1 mm
Módulo de Finura		7,35

Figura 3 Curva Granulométrica do agregado graúdo



A composição granulométrica do agregado graúdo (Figura 3) mostra que o material atende os limites normativos de granulometria

3.1.3 Agregado Artificial - EVA

O etileno acetato de vinila (EVA) que será utilizado nessa pesquisa é proveniente da empresa Mundo da Borracha, da cidade de Novo Hamburgo, RS e será utilizado em substituição parcial (nos teores de 60%, 70% e 80%) ao agregado

gráúdo natural. As Figuras 4 e 5 apresentam o aspecto do Etileno Acetato de Vinila e a sua distribuição granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), respectivamente. E a tabela 5 apresenta sua composição granulométrica.

Figura 4 Etileno Acetato de Vinila (EVA) utilizado como agregado graúdo

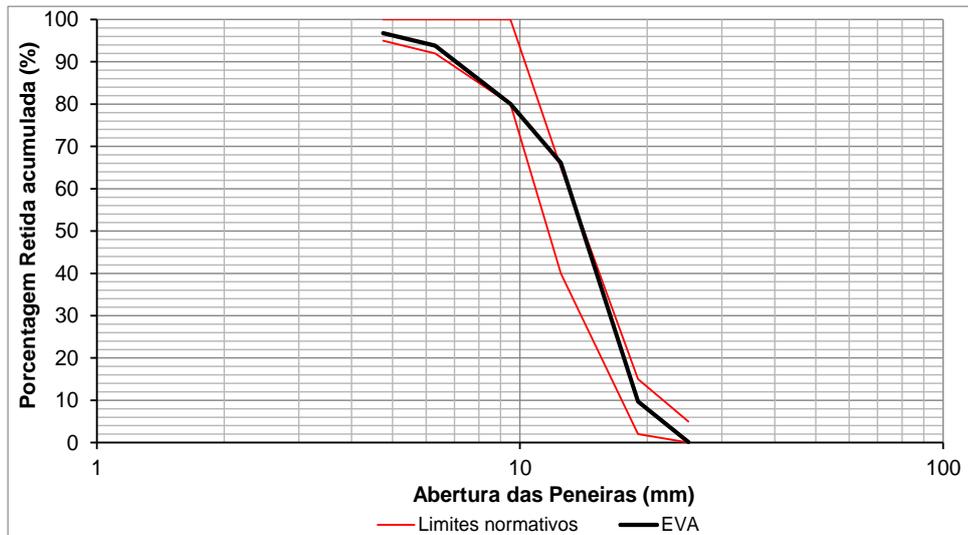


Fonte: Elaboração Própria

Tabela 5 Caracterização Etil Acetato de Vinila (EVA)

Abertura das peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
25	0,11	0,11
19	9,57	9,69
12,5	56,43	66,11
9,5	13,92	80,03
4,75	2,94	96,74
Fundo	3,26	100
Total	100	-
Diâmetro máximo (mm)		25 mm
Módulo de Finura		7,35

Figura 5 Curva Granulométrica do Etil Acetato de Vinila (EVA)



Fonte: Elaboração Própria

A composição granulométrica do EVA se enquadrou dentro dos limites normativos, indicando que a granulometria do material é adequada para o uso em concretos. O diâmetro máximo do EVA ficou estabelecido em 25mm e o módulo de finura em 7,35. A absorção do EVA teve valor de 34%.

3.1.4 Água

A água que será utilizada para a confecção dos concretos será proveniente da rede pública de distribuição de água potável do município de Alegrete, fornecida pela CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento.

3.2 Procedimento de dosagem, mistura e moldagem dos concretos

Para o desenvolvimento do programa experimental foi estabelecido um traço de referência sem EVA, para permitir a comparação deste com os concretos com substituição parcial do agregado graúdo por EVA.

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

teores de substituição foram escolhidos a partir de trabalhos realizados por pesquisadores como Garlet (1997), Garlet (1998), Lacorte (2013) e Zuchetto (2015).

Os traços e a nomenclatura que será utilizada para a identificação dos concretos estão apresentados na Tabela 6

Tabela 6 Traços utilizados para produção dos concretos

Traço em massa	Cimento	Areia	Brita	a/c
		1	3,08	3,92

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

REF - concreto de referência (sem EVA);

60EVA - concreto com substituição em volume de 60% do agregado graúdo por EVA;

70EVA - concreto com substituição em volume de 70% do agregado graúdo por EVA;

80EVA - concreto com substituição em volume de 80% do agregado graúdo por EVA.

Fonte: Elaboração Própria

3.2.1 Produção dos concretos

O preparo dos concretos foi executado em betoneira de eixo inclinado, ilustrado na Figura 6a e 6b, conforme as prescrições da NBR 12655 (ABNT, 2015). O cimento, o agregado graúdo, o agregado miúdo natural e a água foram determinados em massa, enquanto que o agregado graúdo de EVA foi medido em volume, com dispositivo dosador (Figura 6c). O EVA foi saturado antes da produção dos concretos. Os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova seguiram as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 6 Produção dos concretos



Fonte: Elaboração Própria

A trabalhabilidade do concreto fresco foi determinada pelo ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test), conforme as recomendações da NM 67 (ABNT, 1998). O parâmetro de controle para a trabalhabilidade dos concretos de referência foi estabelecido em 8 2 cm.

Para a realização dos ensaios previstos nos concretos endurecidos foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 x 20cm, nos quantitativos apresentados na Tabela 7 e mantidos em cura submersa, ilustrada na Figura 7.

Tabela 7 Quantitativo de corpos de prova (CPs) por tipo de ensaio

Descrição do Ensaio	Idade de ensaio - 7 dias	Idade de ensaio - 28 dias
	Nº de CPs por traço	Nº de CPs por traço
Resistência à compressão axial	3	3
Resistência à tração por compressão diametral	3	3
Absorção de Água por capilaridade	3	3
Absorção de Água por imersão total	2	2

Fonte: Elaboração própria

Figura 7 Processo de cura submersa dos concretos



Fonte: Elaboração Própria

3.3 Propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos no estado endurecido

Nesta seção, nos itens 3.3.1 ao 3.3.2 apresenta os ensaios de controle dos concretos no estado endurecido.

3.3.1 Resistência à compressão axial

O ensaio para a determinação da resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos seguiu as prescrições da NBR 5739 (ABNT 2007). Nas idades especificadas (7 e 28 dias) os concretos foram retirados da cura, tiveram suas bases retificadas, conforme NBR 5738 (ABNT 2015) e posteriormente foram ensaiados. A retificação garantirá a planicidade das amostras permitindo que o carregamento seja aplicado uniformemente sobre a superfície.

3.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

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

3.3.3 Absorção de água por capilaridade e imersão total

O ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade em concretos endurecidos seguiu as prescrições da NBR 9779 (ABNT 1995). Nas idades de 7 e 28 dias os corpos de prova foram retirados da cura e permaneceram na estufa por 24 horas. Após a estabilização da massa dos concretos e do seu resfriamento em temperatura ambiente, fez-se as marcas de 5 cm em uma das faces dos corpos de prova antes de acondicioná-los em água. Foram realizadas leituras de suas massas no tempo de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, após o início do ensaio.

O ensaio para determinação da absorção de água por imersão total em concretos endurecidos seguiu as prescrições da NBR 9778 (ABNT 1987). Nas idades de 28 dias os corpos foram retirados da cura, permanecerão 72 horas em estufa para estabilização de suas massas, após foi realizada a saturação desses em água à 23°C por 72 horas e por último foram colocados em recipiente com água que foi elevada progressivamente até a ebulição por 5 horas.

3.3.4 Massa específica dos concretos no estado fresco

A massa específica foi determinada dividindo-se o valor das massas das amostras por seus respectivos volumes. O ensaio seguiu as prescrições da NBR 9833 (ABNT 1987). A determinação das massas específicas dos concretos no estado fresco foram obtidas de duas amostras distintas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo refere-se à apresentação e discussão dos resultados dos concretos experimentais, e está dividido em três etapas principais: Propriedade física; Propriedades mecânicas e Propriedades de durabilidade.

4.1 Propriedade física

A propriedade física analisada nesse experimento foi a massa específica dos concretos no estado fresco, cujos resultados são apresentados no item 4.1.1.

4.1.1 Massa específica

A massa específica dos concretos no estado fresco (Tabela 8) foi obtida a partir da média de dois corpos-de-prova por tipo de traço.

Tabela 8 Massa específica dos concretos no estado fresco

Traço	Massa específica (Kg/m³)
Ref	2388,54
T-60%	1885,35
T-70%	1878,98
T-80%	1773,89

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 mostra um decréscimo nos valores de massa específica dos concretos à medida em que o teor de EVA foi aumentado nas misturas. Os resultados se justificam pelo fato de que a adição de EVA no concreto diminuiu sua massa específica, por tratar-se de um agregado leve. Os traços T-60 e T-70 apresentaram uma redução de massa específica de aproximadamente 21% em relação à mistura de referência. Para o traço T-80, essa redução foi de 26%.

A NBR NM 35 apresenta valores de massa específica para valores mínimos de resistência a compressão axial para classificar os concretos em concretos leves. Como apresentado na Tabela 9, são classificados como concretos leves aqueles que apresentam a massa específica entre 1680 a 1840 Kg/m³. Segundo a ACI 213R-03(2003), concretos leves são os que apresentam massa específica entre 1120 a 1920 Kg/m³. Ou seja, são classificados como concretos leves, aqueles que apresentarem massa específica inferior a 2000 Kg/m³.

Tabela 9 Massas específicas de concretos leves

Referência	Massa específica aparente (kg/m ³)
NBR NM 35 (1995)	1680 < γ < 1840
ACI 213R-03 (2003)	1120 < γ < 1920

Fonte: Elaboração própria

Os resultados da massa específica dos concretos, apresentados na Tabela 9, indicam que os concretos com incorporação de EVA podem ser classificados como concretos leves, pois possuem valores de massa específica inferior a 2000 kg/m³.

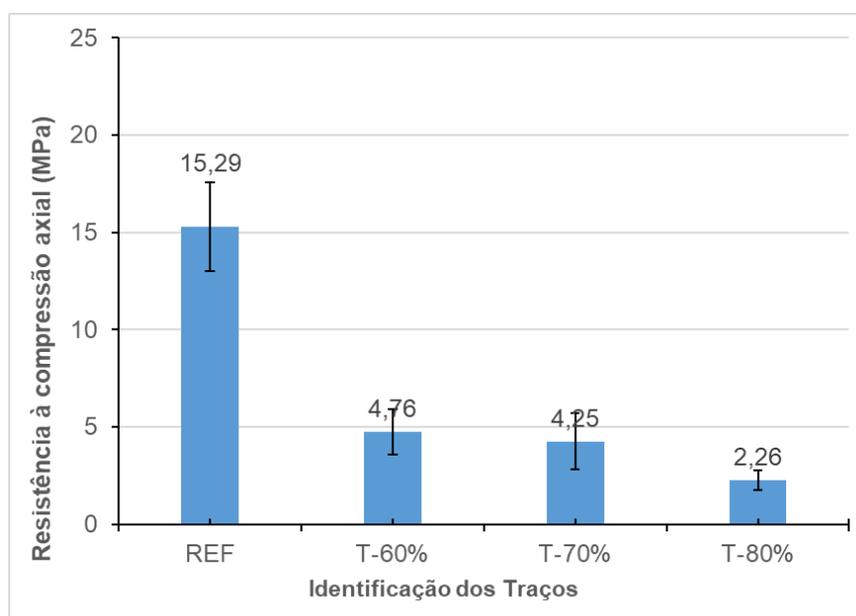
4.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos concretos produzidos nesta pesquisa são apresentadas e discutidas nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.2.1 Resistência à compressão diametral

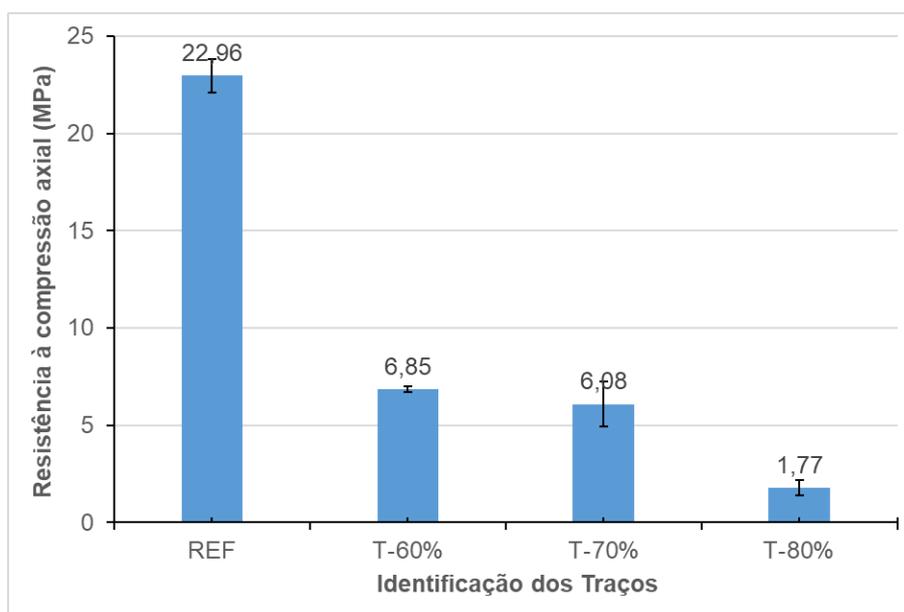
Os resultados de resistência à compressão axial dos concretos investigados (com os seus respectivos desvios padrão) para as idades de controle de 7 e 28 dias são apresentados nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 Resistência à compressão axial dos concretos aos 7 dias



Fonte: Elaboração própria

Figura 9 Resistência à compressão axial dos concretos aos 28 dias



Fonte: Elaboração própria

O aumento do teor de EVA nos traços teve como consequência uma redução da resistência à compressão axial dos concretos, tanto aos 7, quanto aos 28 dias (Figuras 8 e 9). Esse comportamento também foi observado por outros autores em suas pesquisas (Garlet *et al.* (1997), Pimentel *et al.* (2006), Polari Filho *et al.* (2006) e Borges (2015)).

Tomando como base o traço de referência, observa-se que a redução da resistência dos concretos com EVA, aos 28 dias, foi de 70%, 73% e 90%, respectivamente para os traços T-60, T-70 e T-80. As Figuras 8 e 9 também mostram que não houve um ganho expressivo de resistência dos concretos com EVA dos 7 para os 28 dias. O aumento de resistência para os traços T-60 e T-70 foi de aproximadamente 30%. Para o traço T-80 o crescimento da resistência girou em torno de 24%. Entre os traços com adição de EVA, o traço com teor de substituição igual a 60% foi o que apresentou melhor desempenho mecânico.

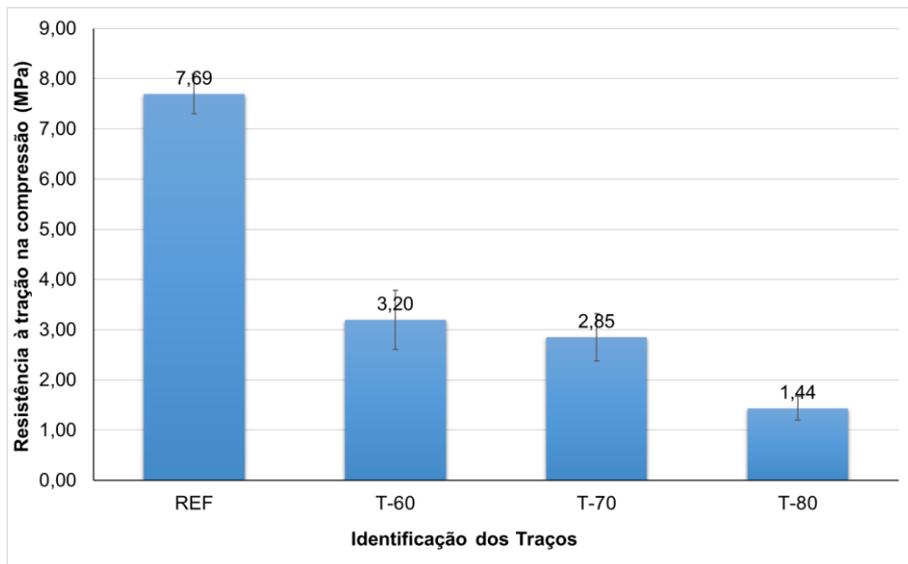
Pimentel *et al.* (2006) estudou a resistência a compressão de blocos de concretos com incorporação de EVA nos teores de 60%, 70% e 80%. Obteve resistência de 0,82 MPa para traço de concreto com 80% de EVA. Polari Filho *et al.* (2006) também estudou blocos de concreto com incorporação de EVA, buscando estabelecer uma resistência mínima aceitável para estes, obteve em seus resultados uma resistência de 3,28 MPa para concretos com teor de EVA de 60%.

Os resultados desta pesquisa comprovam que os concretos produzidos com adição de EVA podem ser utilizados como concretos de preenchimento para fins não estruturais. Segundo NEVILLE (1997), concretos com agregados leves classificam-se em: concretos com baixa massa específica, concreto com moderada resistência e concreto estrutural leve. Sendo os com baixa massa específica aqueles que apresentam resistência a compressão variando entre 0,7 MPa a 7 MPa, podendo ser utilizados para fins não estruturais.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

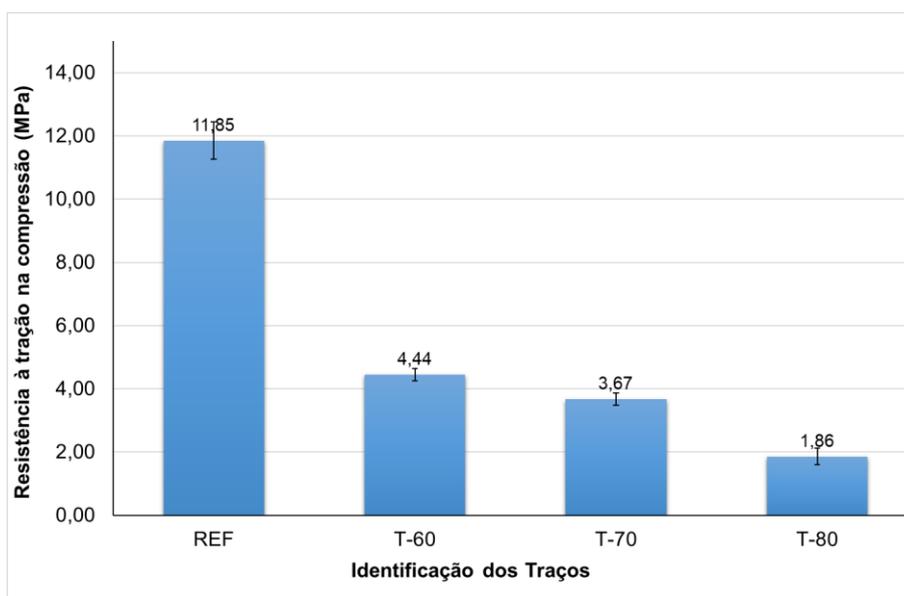
Os resultados de resistência à tração por compressão diametral dos concretos nas idades de controle de 7 e 28 dias, com os seus respectivos desvios padrão, são apresentados nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 7 dias



Fonte: Elaboração própria

Figura 11 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias



Fonte: Elaboração própria

Semelhantemente aos resultados de resistência à compressão axial, o aumento do teor de EVA nos traços promoveu um decréscimo na resistência à tração por compressão diametral dos concretos, tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Observa-se também, que não houve um ganho expressivo de resistência dos concretos com EVA dos 7 para os 28 dias. O aumento de resistência dos 7 para os 28 dias, para os traços T-60 e T-70 foi de aproximadamente 39%. Para o traço T-80 o crescimento da resistência ficou em torno de 28%.

Alguns autores como Borges (2015) e Garlet (1998), também observaram nos seus estudos que o aumento de EVA nos concretos investigados promoveu uma queda de resistência à tração por compressão diametral.

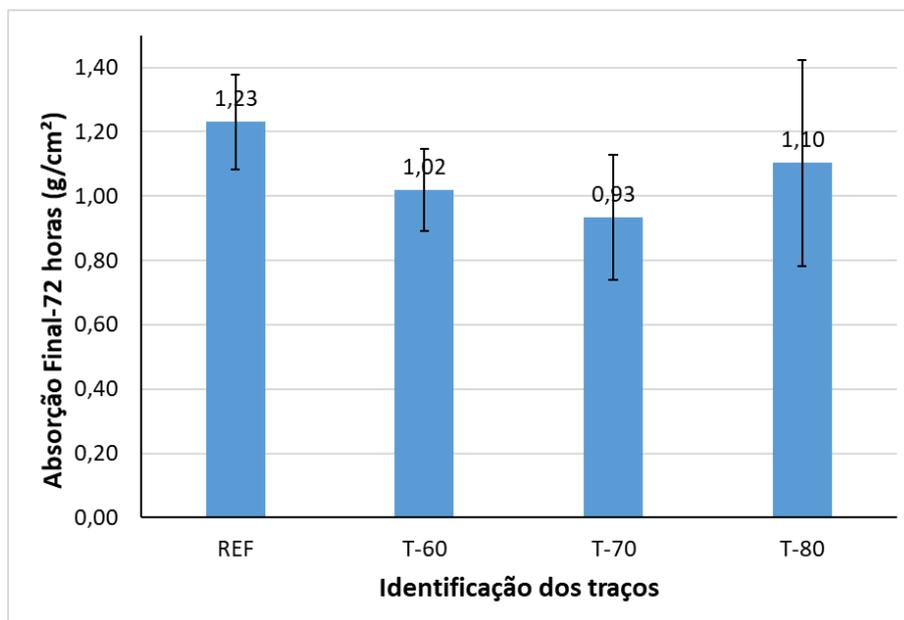
4.3 Propriedades de durabilidade

Nos itens 4.3.1 e 4.3.2 são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade e de absorção total de água.

4.3.1 Absorção de água por capilaridade

Os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade na idade de controle de 28 dias, são apresentados na Figura 12.

Figura 12 Absorção de água por capilaridade dos concretos



Fonte: Elaboração Própria.

A Figura 10 mostra que, em relação à mistura de referência (sem EVA), a substituição do agregado graúdo pelo agregado leve de EVA promoveu a redução da absorção por capilaridade; sendo essa redução de 17%, 24% e 11% para os traços T-60, T-70 e T-80, respectivamente.

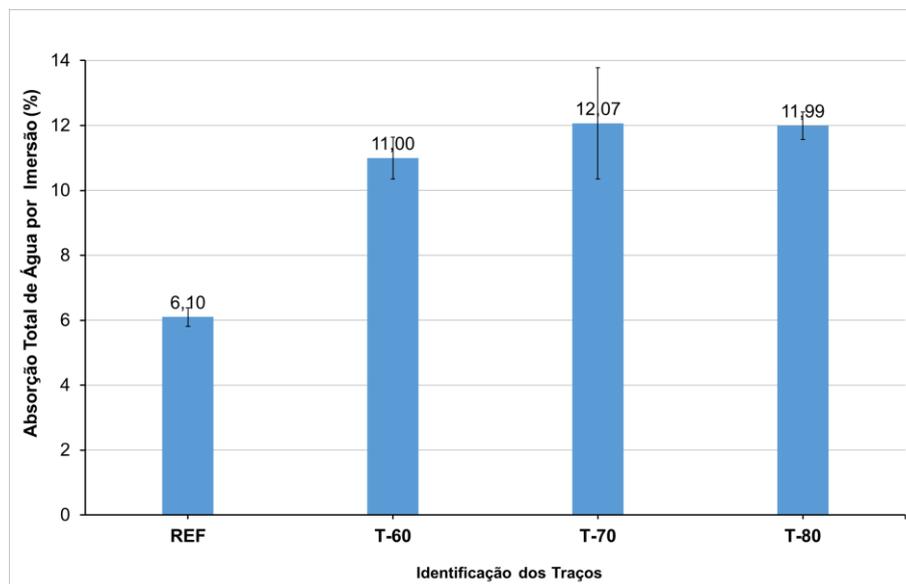
Entre os traços com incorporação de EVA, observa-se uma queda da absorção até o teor de substituição de 70%, e um aumento desta propriedade para os traços com maiores teores de EVA (T-80). Observa-se ainda que para essa propriedade, a variação do teor de EVA nas misturas (T-60%, T-70%) não promoveu diferenças expressivas na absorção final (72 horas) – variação inferior a 9%.

Observa-se que os concretos que apresentaram menores resistência apresentaram menores taxas de absorção por capilaridade. O fato dos traços com EVA apresentarem absorção por capilaridade menor que o traço de referência, deve-se à capacidade de o agregado formar uma matriz mais compactada e com menor número de vazios, o que dificultará a absorção de água por capilaridade. (SILVA *et al.* 2005).

4.3.2 Absorção de água por imersão total

Os resultados dos ensaios de absorção total de água na idade de controle de 28 dias, são apresentados na Figura 13.

Figura 13 Absorção por imersão total dos concretos



Fonte: Elaboração Própria.

Os traços com EVA (Figura 11) apresentaram maior taxa de absorção total que o traço referência. Sendo que, quanto maior o teor de substituição do traço, maior a absorção de água por imersão total. A variação das taxas de absorção total, para os traços com substituição de EVA em relação ao traço referência, foram de 44% para o T-60%, 49% para o T-70% e de 49,5% para o T-80%.

O fato do agregado de EVA tratar-se de um material poroso, ele absorve mais facilmente a água comparados a agregados convencionais, fazendo com que a taxa de absorção total seja maior nesses concretos. Garlet (1998) observou em seus estudos que a absorção de água por imersão total era diretamente proporcional ao teor de EVA no traço. Lacorte (2013), observou que concretos com EVA possuem elevada absorção de água, com valor em torno de 17%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a NBR NM 35, somente o traço com 80% de EVA classificou-se como concreto leve, pois tem sua massa específica inferior ao limite estabelecido na norma de 1840 kg/m³. E segundo a norma ACI 213R-03, os concretos estudados foram classificados como em concretos leves; por apresentarem massa específica abaixo de 1920 kg/m³. Os resultados referentes à massa específica dos concretos demonstraram que a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado leve de EVA, promoveu uma redução da massa específica para todos os teores de substituição.

Com relação à resistência a compressão axial, observou-se uma tendência de redução dessa propriedade com o aumento do teor de EVA nos traços. Entre as misturas com EVA, o traço com 60% de substituição apresentou o melhor desempenho mecânico, porém com indicações de aplicação para fins não estruturais. Ainda sobre a resistência a compressão axial, os traços com EVA estabilizaram suas resistências de forma mais rápida que o traço de referência, ou seja, há um pequeno aumento de resistência dos 7 para os 28 dias nos traços com EVA comparado ao de referência. Essa característica é própria de concretos leves, segundo Angelin (2014).

Para a resistência a tração por compressão diametral, todos os traços com EVA apresentaram resistências inferiores ao traço de referência. Mantendo a mesma tendência de comportamento da propriedade de resistência à compressão axial - de redução da propriedade com o aumento do teor de EVA nas misturas. Entre as misturas com EVA, o traço de 60% foi o que apresentou melhor desempenho para essa propriedade.

Os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade indicaram que a substituição do agregado natural pelo agregado de EVA promoveram uma redução da absorção de água em relação à mistura de referência. Observando-se que o traço T-80 é o que possui maior absorção de água por capilaridade entre os traços com EVA e o traço T-70 a menor absorção.

Quanto à absorção por imersão total, a presença do EVA apresentou interferência nos resultados por ser um material mais poroso; aumentando o valor de absorção para os traços com EVA em comparação ao traço de referência.

A pesquisa objetivou encontrar uma finalidade para o resíduo de EVA, para reduzir impactos gerados pelo material ao ambiente. Esse objetivo foi alcançado de forma satisfatória, pois, com a análise dos resultados obtidos, foi possível concluir que a substituição do agregado graúdo natural pelo EVA produziu um concreto o qual pode ser utilizado para fins não estruturais.

Por fim, ressalta-se a importância de novos estudos, onde possam ser analisadas demais propriedades dos concretos leves com EVA e assim buscar novas alternativas para o uso desse concreto na construção civil.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros:

Durante o desenvolvimento da pesquisa e com a análise dos resultados, ressaltou-se a importância do desenvolvimento de novos estudos sobre o concreto leve com agregado leve de EVA. Desse modo, apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo de propriedades acústicas e térmicas de concretos leves com agregado de EVA, uma vez que esse material apresenta bom comportamento para essas propriedades.
- Estudo de dosagem que proporcione melhor trabalhabilidade, pois os concretos produzidos nessa pesquisa apresentaram dificuldade para mistura.
- Estudos de outros teores de EVA para que o concreto leve produzido por esse possa ser utilizado para outros fins com melhores propriedades mecânicas dos concretos.

6- REFERÊNCIAS

_____ **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica:** Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____ **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1191.

_____ **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

_____ **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____ **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____ **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** RiodeJaneiro, 2012.

_____ **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** RiodeJaneiro, 2009.

_____ **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** RiodeJaneiro, 2009.

ANDRADE, E.S; GUIMARÃES, C.C. **Propriedades de argamassas com EVA em substituição parcial ao agregado.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil. v.13; n.1; p.174-192.2017.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia, área de concentração em Tecnologia e Inovação) – Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ÂNGULO,S.C; ZORDAN, S.E; JOHN,V.M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. São Paulo, 2011

ANDRADE, E.S; GUIMARÃES, C.C. **Propriedades de argamassas com EVA (EthyleneVinylAcetate) em substituição parcial do agregado.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.13; n1, p. 174 -192. 2017

ARAUJO, G. S. **Concreto leve estrutural com argila expandida e incorporação de poliestireno expandido.**Dissertação (Mestrado em Tecnologia, área de ciências dos materiais) – Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2017.

RIOS, A. **Incorporação de resíduos de calçados (SBR) na produção de compósitos leves.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

BORGES, J.G.K. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados.** Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo NBR 6118:2014.** 4ª. ed. São Carlos: EduFSCar, 2015. 415 p.

CINTRA, A.M.**Estudo do desempenho térmico de concretos com ar incorporado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

DANTAS, A.B.L; SOUZA, A.L.A.P; QUEIROGA, M.S; DIAS, T.K.A; DIAS, R.A.L. **Reaproveitamento de resíduos da construção civil.** III Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (CONAPESC). Campina Grande – PB. 2018

DIAS, A.M; SILVA, T.J.V; POGGIALI, F.S.J. **O concreto sustentável brasileiro.** Revista Construindo, v. 8, 1º Ed., p. 84 – 97, Belo Horizonte, 2017.

FILHO, M. L; SILVA, E; MELO, A.B. **Avaliação do desempenho térmico de componentes (blocos de eva) em paredes.** XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios – RJ. 2011.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. **Concreto leve usando resíduos de E.V.A da indústria calçadista.** Associação de Tecnologia do Ambiente Construído – I Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis – Canela - RS, 1997.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A como agregado para concreto leve.** Dissertação (Mestrado em Engenharia, área de construção civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

KUNZLER, L; VIER, L. C; BUENO, B. G; HUPPES, F. A. H; SILVA, J. M. **Utilização de EVA na fabricação de concreto.** VI Fórum de Sustentabilidade Corede Alto Jacuí. 2017.

LACÔRTE, P.M.R. **Aproveitamento de resíduos na construção civil**. Monografia (Curso Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

LIMA, C.I.V; COUTINHO, C.O.D; AZEVEDO, G.G.C; BARROS T.Y.G; TAUBER, T.C; LIMA, S.F. **Concreto e suas inovações**. Universidade Tiradentes. v.1; n.1; p. 1-40. Maceió, 2014.

LUCAS, D; BENATTI, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente. v.1, n.3, p. 405-418. 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties and Materials**. 3d. Berkeley: McGraw-Hill, 2006.

NEVILLE, A.M. (1997) – **Propriedades do Concreto**, Editora PINI, 2ª Edição, Cap6: Concretos com propriedades Especiais.

OLIVEIRA, K,R,S. **Aderência da armadura ao concreto leve com adição de resíduos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil em Tecnologia da Construção) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2006.

PAULA, S.L. **Utilização de resíduos de EVA como agregado graúdo em concretos**. Monografia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

PEREIRA, M.R. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**. Dissertação (Programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2008.

PIMENTEL, U.H.O; MELO, A.B; FILHO, R.S.P; ROCHA, F.M.D; FEITOSA, M.M. **Pré-moldados leves alternativos à base de cimento portland com aproveitamento de resíduos da indústria de calçados: desenvolvimento em bloco EVA**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável - Universidade Federal de São Paulo. São Paulo – SP, 2004.

PIMENTEL, U.H.O; ROCHA, F.M.D; MELO, A.B. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas dimensões – leveza e produtividade**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis – SC. 2006.

FILHO, R.S.P; MELO, A.B; BARBOSA, N.P. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho**. II Encontro Temático Meio Ambiente e Educação Ambiental – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB, 2003.

FILHO, R.S.P; MELO, A.B; FEITOZA, M.M; FILHO, M.R.F.L. **Avaliação de desempenho mecânico de blocos de E.V.A – Uma alternativa às alvenarias das construções**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis – SC, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A; OLIVEIRA, I.L. **Concreto leve estrutural com metacaulim**. Minerva. v. 3; n.2; p. 177-187. 2006

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

SANTOS, J.L.; ANDREGHETTO, D.H. **Análise das características mecânicas do concreto com adição de fibras de borracha.** Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves – RS. 2017

SILVA, E.P; CAHINO, J.E, M; MELO, A.B. **Avaliação do desempenho térmico de blocos de EVA.** XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora – MG, 2012

SILVA, H.R.T; CAVALCANT, B.M.M; MARQUES, D.V; EGERT, P; MAGNAGO, R.F; CONSONI, D.R; ZANCO, J.J. **Placas ecoeficientes: aproveitamento de resíduo em EVA em compósitos usados para isolamento acústico.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2017

SILVA, H.T.R; CAVALCANTE, B.M.M.; HOFFMANN, J.V.J; EGERT, P.; MAGNAGO, R.F. **Estudo sobre a produção de placas de isolamento acústico com incorporação de aparas de EVA.** 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade do Sul de Santa Catarina -Unidade das Ciências da Produção, Construção e Agroindústria. Palhoça– SC. 2016.

SILVA, K.D.S; COSTA, F.M; LOPES, R.K; RIBEIRO, L.M.B; PIOVESAN, J.C. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concreto sustentável.** Diálogos: Economia e Sociedade. v. 2, n. 1, p. 176 – 190.Porto Velho, 2018.

SILVA, V. S.; LIBÓRIO, J. B. L. **Avaliação do Efeito da Sílica Extraída da Casca de Arroz na Aderência de Argamassas e Chapiscos.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, Florianópolis, 2005.

SOUZA, C.V.M; VIEIRA, T.S. **Concreto celular e seu uso na construção civil.** Centro Universitário de Mineiros – Unifimes. 2017.

TREIN, M.V.F; VARGAS, A.S; RODRIGUES, M.A.S. **Análise da viabilidade técnica do processamento de resíduos sólidos de acetato de etil-vinila e poliuretano e sua utilização como agregado leve em argamassas álcali-ativadas.** 5º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos – UNISINOS. São Leopoldo – RS. 2014

ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P.; NUNES, M. F. O.; TUTIKIAN, B.F. **Estudo de contrapisos leves a base de EVA para desempenho acústico e reduzidas cargas permanentes.** XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção – CONPAT. Lisboa, 2015.