

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL CARDOSO THOM

**INCORPORAÇÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS DE EVA E EPS EM CONCRETO  
LEVE SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL: avaliação da mistura dos resíduos e  
influência da pré-hidratação**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2020

DANIEL CARDOSO THOM

**INCORPORAÇÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS DE EVA E EPS EM CONCRETO  
LEVE SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL: avaliação da mistura dos resíduos e  
influência da pré-hidratação**

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

Orientador: Prof. Dr. Thiago Morais de Castro

CAMPO MOURÃO

2020



---

**TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
INTITULADO**

**INCORPORAÇÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS DE EVA E EPS EM CONCRETO LEVE SEM  
FUNÇÃO ESTRUTURAL: avaliação da mistura dos resíduos e influência da pré-hidratação**

**DO DISCENTE**

DANIEL CARDOSO THOM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 02 de dezembro de 2020 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão. O acadêmico foi arguido pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado.

---

Vanessa Medeiros Corneli  
Avaliador 1

---

Fabio Rodrigo Kruger  
Avaliador 2

---

Thiago Morais de Castro  
Orientador(a)

## AGRADECIMENTOS

Não foi fácil, muitas coisas aconteceram, mas finalmente estou aqui, e quero agradecer primeiramente à Deus pelo privilégio e honra de aprender a bela profissão da Engenharia Ambiental e por isso quero também agradecer imensamente a meus pais Eduard e Analucia que sempre me incentivaram em toda a vida, não sendo diferente dentro da universidade, me dando forças quando esta já parecia não existir. Também agradeço a meu irmão Vitor, que sempre contribui com força, ideias, sugestões e curiosidades.

A todos os demais parentes que amo e me apoiaram, porém em especial, dedico este trabalho e agradeço à minha avó Vera Meira Gomes (*in memoriam*), por todo o tempo juntos, e a grandiosa honra de ter vivido bons momentos com ela.

Agradeço a minha amada Sabrina, que sempre esteve ao meu lado, não importando a situação, incentivando e transmitindo tranquilidade no desenvolvimento do presente trabalho e em todos os aspectos da vida. Estendo meus agradecimentos também a seus pais, Silvio e Cirlete, que me receberam de braços abertos e também apoiaram esta jornada.

Aos bons amigos que Deus me deu ao longo desta jornada acadêmica, pois sem eles, dificilmente seria possível, e com certeza não seria tão divertida, como os pastores Silvio Paes e Jonathan Abel, que sempre estiveram prontos em ajudar, e principalmente aos grandes amigos Erickson, Alan, John, Ícaro, Carlos, Erick, Sanderson, Jean, Pedro, Bruno, Lucas, Leo, Denis e Thomas.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Thiago Morais de Castro, orientador deste projeto, que em todos momentos se prontificou a propor métodos e soluções, sempre com o máximo de excelência e paciência, não somente como professor, mas como amigo. Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dra. Vanessa Medeiros Corneli e ao Tecg. Constr. Civil Fábio Rodrigo Krueger, sendo sempre muito solícitos em auxiliar e sanar quaisquer dúvidas e problemas técnicos ao longo deste projeto, bem como também a colegas que se dispuseram em ajudar, doando materiais e conhecimentos para o desenvolvimento deste estudo.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná na figura de seu corpo docente, servidores e a todos que, de alguma maneira, ao longo de todo este período fizeram e fazem parte de minha jornada. Muito obrigado.

*“A conduta define o homem.”*

William Horman, 1519.

## RESUMO

Diversos impactos ambientais são causados devido à extração de recursos naturais, baixos níveis de reaproveitamento de resíduos e o alto índice de descarte irregular dos mesmos. Neste sentido, destacam-se o Acetato de Vinila e Etileno (EVA) e o Poliestireno Expandido (EPS), popularmente conhecido como Isopor®, que apresentam dificuldades e limitações em relação a destinação final adequada, principalmente em função do seu grande volume e baixa densidade. Em compensação, estes resíduos tornam-se alternativas na substituição de agregado graúdo na construção civil para a produção de concreto leve sem função estrutural. Assim, nesse trabalho foram produzidos corpos de prova de concreto moldados a partir da substituição de parte de agregado convencional por agregado leve obtido através de resíduos EPS e EVA misturados conjuntamente nas proporções finais de 60% e 70%. Além disso, foi avaliada a influência da pré-hidratação comparando com a não pré-hidratação. Foi constatado que para os parâmetros de absorção de água e índice de vazios, quanto maior a porcentagem de agregado leve substituído e pré-hidratado, maiores foram seus índices, enquanto ocorreram menores valores para massa específica e resistência à compressão. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão demonstram que a partir da análise estatística por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), conclui-se que o traço volumétrico de 60% de resíduos de EPS e EVA conjuntamente sem hidratação prévia, obteve diferença significativa quando comparado aos outros traços contendo agregado leve, atingindo 6,21 MPa no ensaio de resistência à compressão e resultou no traço volumétrico mais recomendado, entre os avaliados, para uso em liga de concreto leve não estrutural. Recomenda-se estudos de viabilidade econômica do processo, para que o concreto leve produzido a partir do traço recomendado neste estudo possa ser utilizado por exemplo, em calçadas, contrapisos, revestimentos, e isolamento acústico, desde que não possuam funções estruturais.

**Palavras Chave:** Agregado Leve; Incorporação; Concreto.

## ABSTRACT

Several environmental impacts are caused due to the extraction of natural resources, low levels of reuse of waste and the high rate of irregular disposal. In this sense, the highlights are Vinyl and Ethylene Acetate (EVA) and Expanded Polystyrene (EPS), popularly known as Isopor®, which have difficulties and limitations in relation to the proper final destination, mainly due to their large volume and low density. On the other hand, these residues become alternatives in the substitution of coarse aggregate in civil construction for the production of lightweight concrete without a structural function. Thus, in this work, molded concrete specimens were produced from the replacement of part of conventional aggregate with light aggregate obtained through EPS and EVA residues mixed together in the final proportions of 60% and 70%. In addition, the influence of pre-hydration was compared with non-pre-hydration. It was found that for water absorption parameters and voids index, the higher the percentage of light aggregate replaced and pre-hydrated, the higher the indexes, while lower values for specific mass and compressive strength occurred. The results of the compressive strength tests demonstrate that from the statistical analysis using the Tukey test ( $p < 0.05$ ), it is concluded that the 60% volumetric trace of EPS and EVA residues together without prior hydration, obtained a significant difference when compared to other strokes containing light aggregate, reaching 6.21 MPa in the compressive strength test and resulted in the most recommended volumetric trace, among those evaluated, for use in non-structural lightweight concrete alloy. Economic feasibility studies of the process are recommended, so that the lightweight concrete produced from the line recommended in this study can be used, for example, on sidewalks, sub-floors, coatings, and sound insulation, as long as they do not have structural functions.

**Keywords:** light Aggregate; incorporation; concrete.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Aspecto de resíduo de Poliestireno Expandido (Isopor®) proveniente de embalagem. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2: Aspecto de Folhas de Espuma de Acetato de Vinila (EVA).....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3: Foto da produção dos corpos de prova.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 4: Corpos de prova em caixa d'água para tempo de cura .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5: Bancada com balança hidrostática utilizada nos ensaios de absorção de água dos corpos de prova.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6: Prensa Elétrica utilizada no rompimento de corpos de prova para testes de resistência à compressão.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7: Gráfico da trabalhabilidade a partir do teste de abatimento de tronco de cone do concreto produzido com agregado leve.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8: Foto do teste de abatimento de tronco de cone.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 9: Gráfico dos resultados do teste de absorção de água pelos corpos de prova em cada traço volumétrico. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 10: Gráfico do Índice de vazios dos corpos de prova de acordo com seus respectivos traços volumétricos. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11: Gráfico dos resultados de massa específica dos corpos de prova em seus respectivos traços volumétricos. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 12: Resultados dos testes de Resistência à compressão (MPa).....</b>	<b>34</b>



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E CONSUMO .....	14
2.2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND .....	14
2.2.1 Agregado leve em Concreto .....	15
2.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) .....	16
2.4 ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA) .....	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.1 COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EPS E EVA 19	
3.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	19
3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELOS AGREGADOS .....	22
3.4 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA .....	23
3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	23
3.6 ÍNDICE DE VAZIOS .....	24
3.7 MASSA ESPECÍFICA .....	25
3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	25
3.8.1 Teste estatístico de comparação de médias .....	26
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
4.1 ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE .....	28
4.2 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA .....	31
4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	34
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais negativos resultantes do constante processo de urbanização são praticamente imensuráveis, e não podem ser ignorados. No Brasil a construção civil é responsável por gerar cerca de 123.421 toneladas de resíduos de construção civil (RCC) por dia (ABRELPE, 2017). De acordo com Dagnino (2018), somente 0,6% do total de RCC é reaproveitado, e que somente 50% dos municípios brasileiros possuem aterros destinados a recebimento de resíduos de construção civil.

Implantar um sistema de gestão ambiental municipal pode contribuir para o uso racional dos recursos naturais por meio de soluções inovadoras, fazendo com que um município assuma a responsabilidade quanto a preservação e conservação ambiental (KARPINSKI et al., 2008) onde segundo Roth e Garcias (2009), a conquista da sustentabilidade é inevitável, pois o desenvolvimento de atividades da construção civil mais adequadas aos princípios da construção sustentável, que não causem tantas ações degradantes, adotando formas de exploração de matéria-prima mais conscientes e alternativas, são de extrema importância.

Tendo em vista a dificuldade enfrentada hoje no Brasil, no que tange a recursos financeiros da população para projetos habitacionais devido ao seu alto custo, torna-se importante e necessário o estudo da viabilidade de materiais alternativos, que são considerados resíduos, em ligas de concreto para construção, como é o caso do Poliestireno Expandido (EPS) e da Espuma Vinílica Acetinada (EVA).

O volume gerado de resíduos de EPS e EVA vem se constituindo em grande preocupação devido seu baixo índice de reciclagem, pois constitui-se de material leve e de grande volume, acarretando na busca de possíveis aplicações deste material em concretos e argamassas, verificando-se as alterações nas propriedades e apresentando possibilidade e utilização como concreto para contrapiso e blocos de argamassa com ou sem função estrutural (OLIVEIRA, 2013).

A reciclagem reduz, de forma importante o impacto sobre o meio ambiente: diminui a extração de matéria-prima da natureza, gera economia de água e energia e reduz a disposição inadequada do lixo. Além disso, é fonte de renda para os catadores (BRASIL, 2012).

Desta maneira, compreendendo a dificuldade de encontrar uma destinação ambientalmente adequada para EPS e EVA e a necessidade de se reaproveitar resíduos das mais diversas fontes, almejando sustentabilidade nos processos construtivos, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de corpos de prova de liga de concreto leve sem função estrutural, quando incorporados com resíduos de EVA e EPS de forma misturada, pré-hidratados e não hidratados.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral foi avaliar o processo de incorporação conjunta de resíduos de EVA e EPS pré-hidratados e não hidratados, como agregados em liga de concreto leve sem função estrutural.

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

- Construir corpos de prova de concreto leve com EVA e EPS conjuntamente, pré-hidratados e não hidratados;
- Verificar análise de espalhamento de tronco de cone de concreto leve durante a sua produção;
- Realizar os ensaios de resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica nos corpos de prova produzidos;
- Avaliar os resultados dos ensaios, comparando os corpos de prova com agregados pré-hidratados e não hidratados;
- Aplicar teste estatístico de comparação de médias dos resultados obtidos para resistência à compressão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A geração de resíduos sólidos vem crescendo com a evolução socioeconômica e com o crescimento populacional das sociedades de consumo. De fato, as características dos resíduos sólidos a serem coletados e, eventualmente, destinados a diferentes formas de tratamento interferem diretamente em cada um dos serviços de limpeza urbana (SCHUELER et al., 2012). Desta forma, podem surgir dificuldades na prestação de serviços de reciclagem, de acordo com a

característica do resíduo, pelas poucas empresas atuantes neste segmento, sendo que as existentes geralmente se encontram distantes da maioria dos centros geradores, possuem grande volume e baixa densidade, o que colabora com maiores custos com transporte destes resíduos.

A reciclagem de plásticos, segundo Barros (2012), é importante uma vez que são derivados de petróleo, demandando tal insumo não renovável para sua fabricação. Pode-se ainda, verificar a eficiência de resíduos além dos já existentes da construção civil em ligas de concretos leves sem função estrutural, por exemplo, o Poliestireno Expandido (EPS) e Acetato de Vinila e Etileno (EVA), numa tentativa de mitigar os problemas de disposição final do lixo urbano, que para Guerra e Cunha (2009), é um dos mais graves problemas enfrentados pelo Poder Público Municipal, responsável pelo destino de toneladas diárias de resíduos sólidos de toda espécie.

Ressalta-se a lucratividade em torno da reciclagem de materiais recicláveis plásticos bem como seu reaproveitamento, entre eles o EPS, que se destaca, pois no ano de 2012, segundo EPSBrasil (2014), as 22 recicladoras de EPS do Brasil faturaram juntas R\$ 85,6 milhões e empregaram 1.413 pessoas. Mesmo tendo em vista a lucratividade em torno da reciclagem de materiais plásticos no Brasil, apenas 8,2% deste material é recuperado (ABRELPE, 2017).

Segundo Zattera et al. (2005) estudos realizados pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico mostra o crescente consumo do EVA, que em 1985 era de 8.142 ton.ano<sup>-1</sup>, passando para 39.103 ton.ano<sup>-1</sup> em 1999 e 45.780 ton.ano<sup>-1</sup> em 2003.

Os aterros sanitários, mesmo controlados, implicam na degradação ambiental de extensas áreas, sendo comuns os vazadouros clandestinos e o descontrole da quantificação de resíduos recebidos pelos aterros sanitários (GUERRA; CUNHA, 2009). Por isso, vale ressaltar a importância do estudo da viabilidade técnica do uso de agregados de concreto advindos de outras fontes que não sejam diretamente oriundas da construção civil, e que ainda não possuem total destinação correta, quer seja para aterros sanitários ou mesmo para reciclagem, como é o caso dos resíduos propostos de EPS e EVA.

Com a finalidade de realizar esta verificação de viabilidade, foram adicionados resíduos de EPS e EVA misturados e como substituto de parte do agregado graúdo (pedra brita), na produção de concreto leve não estrutural. Foram também realizados ensaios, cujos resultados foram comparados com amostras de

corpos de prova com agregados provenientes de resíduos pré-hidratados e não hidratados, na incorporação na liga de produção de concreto leve sem função estrutural. Recomenda-se, segundo Rossignolo (2003), a pré-saturação, para evitar prejuízo da trabalhabilidade do concreto no estado fresco e evitar formação de bolhas de ar ao redor do agregado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E CONSUMO

Diante da deficiência do sistema de disposição final regular de resíduos sólidos em grande parte dos municípios do Brasil, deve-se lembrar dos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), para que se possam ser tomadas soluções adequadas a este problema.

De maneira semelhante, a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A partir deste objetivo, de acordo com Foster, Roberto e Igari (2016), a economia circular propõe o fechamento dos processos produtivos lineares, com a reinserção dos resíduos no ciclo produtivo, minimizando a disposição no ambiente e também a extração de matéria prima.

De acordo com La Serna e Rezende (2013), entre 2001 e 2007 o consumo de brita cresceu 13,85% e a da areia, 14,85% no Brasil. No estado do Paraná, o consumo de areia no ano de 2007 atingiu R\$ 15.005.074,00 com valor de R\$ 23,78 por tonelada, enquanto o consumo de rocha bruta e britada, com valor de R\$ 19,63 por tonelada, atingiu R\$ 66.563.174,00.

Alternativas de não geração, redução e reutilização de resíduos de todas as classes devem ser levadas em conta para um futuro mais sustentável para a construção civil, como na utilização de alguns tipos de resíduos como agregados leves em liga de concreto sem função estrutural.

### 2.2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland é o material de construção mais utilizado em todo o mundo. Isso deve-se, ao menos em parte, ao fato de seus componentes serem produzidos, de modo relativamente fácil, a partir do emprego de matérias-

primas locais, bem como pelo fato de o concreto ter uma aplicação versátil, adaptando-se facilmente às condições existentes (ROSSIGNOLO, 2009).

Quando o cimento se mistura com a água ocorre um processo denominado “hidratação” resultando uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregado, unindo-os num bloco monolítico (TARTUCE; GIOVANETTI, 1990). De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2019), na formação do cimento usam-se como matérias-primas básicas o calcário e a argila para gerar o clínquer, que é o produto intermediário da fabricação do cimento, que juntamente com a gipsita, utilizada como retardador da pega, está presente em todos os cimentos.

Assim como afirma o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2016), o Brasil possui capacidade de produção de 100 milhões de toneladas por ano de cimento, destes, são produzidos de fato 57 milhões de toneladas, gerando por volta de 23 mil empregos diretos.

Um ponto importante do processo de dosagem dos concretos leves é a definição da relação água/cimento efetiva, em função da absorção de água dos agregados. No caso dos agregados leves, deve ser considerada a água absorvida pelos agregados leves, após a preparação do concreto. Esse fenômeno pode ser eliminado com a pré-saturação dos agregados, para evitar prejuízo da trabalhabilidade do concreto no estado fresco e evitar formação de bolhas de ar ao redor do agregado (ROSSIGNOLO, 2003).

### 2.2.1 Agregado leve em Concreto

De acordo com NBR 15116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos define que agregado de resíduo de misto (ARM) é obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

A ampla utilização dos concretos leves estruturais deve-se, especialmente, aos benefícios promovidos pela diminuição da massa específica do concreto à estrutura, como a redução de esforços solicitantes, a economia com formas e

cimbramento bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de edificações pré-fabricadas (ROSSIGNOLO, 2009).

De acordo com Tartuce e Giovanetti (1990) os agregados desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica sobre algumas características importantes como retração e aumento da resistência aos esforços mecânicos. Desta forma, a resistência do concreto, segundo Bortolini (2012), está relacionada com suas próprias características, com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Modificando a proporção de água adicionada ou empregando aditivos, sua plasticidade é alterada, variando a deformação do concreto perante esforços.

A faixa de variação dos valores de abatimento dos concretos leves é, normalmente, menor que a utilizada para os concretos convencionais, tendo a absorção de água dos agregados grande influência na manutenção da trabalhabilidade do concreto após a mistura (ROSSIGNOLO, 2009).

### 2.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O EPS ou o comumente chamado Isopor®, tem como base o petróleo, que corresponde a apenas 2% do produto final e colabora decisivamente para os segmentos automotivo, de embalagens (Figura 1), construção civil, entre outros (ISOPOR®, 2019). Sendo um material plástico na forma de espuma com micro células fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, na cor branca, reciclável, não poluente, fisicamente estável, é sem dúvida um material isolante da melhor qualidade (TESSARI, 2006).

Segundo Ambrosi (2009), no mundo todo são consumidos anualmente cerca de 2,5 milhões de toneladas de EPS. No Brasil, esse consumo subiu de 9 mil toneladas em 1992 para 36,5 mil em 2008, representando um aumento de 300%.

A construção civil é o maior mercado para o EPS reciclado, com cerca de 80% misturado em argamassa, concreto leve, lajotas, telhas termoacústicas, rodapés, e decks de piscinas (EPSBRASIL, 2014).



**Figura 1: Aspecto de resíduo de Poliestireno Expandido (Isopor®) proveniente de embalagem.**



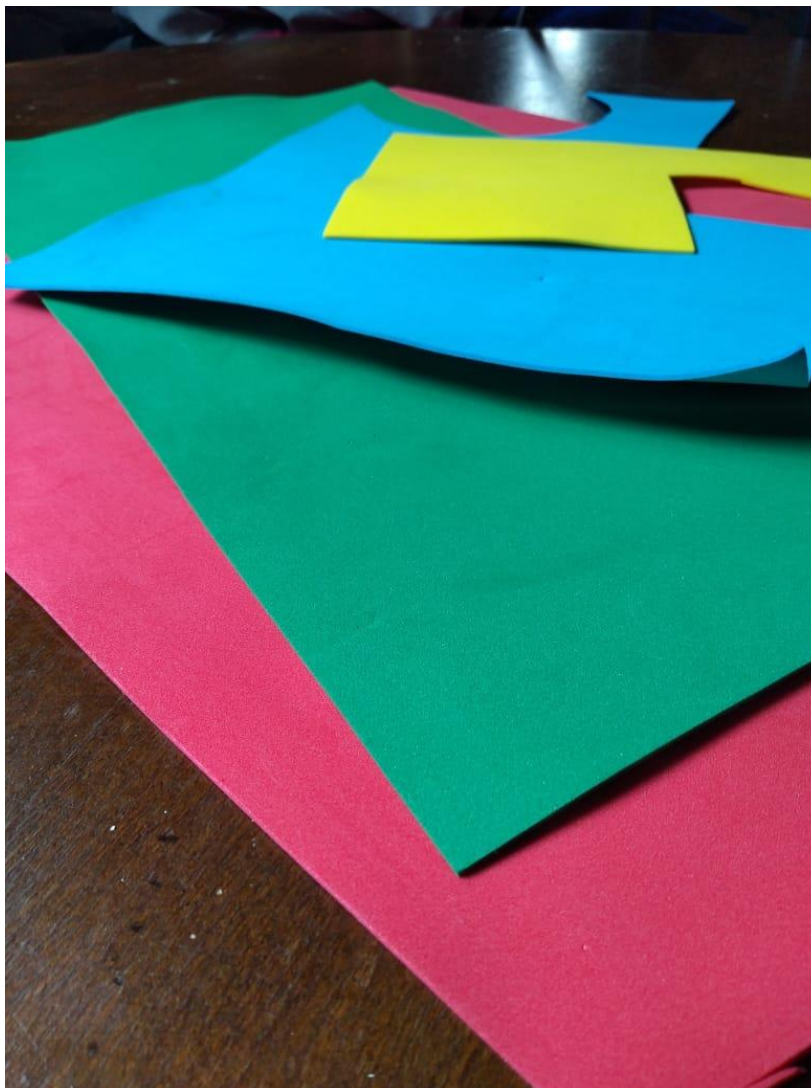
**Fonte:** Autoria Própria. (2019).

## 2.4 ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA)

Produzido para diversas finalidades como peças decorativas, tatames para prática de esportes, e até mesmo calçados, os copolímeros de Etileno e Acetato de Vinila (EVA) ou ainda Espuma de Acetato de Vinila (Figura 2), são termoplásticos produzidos por meio da copolimerização do monômero de Acetato de Vinila e Etileno. Suas características fazem do EVA um produto competitivo em relação a outros termoplásticos e alguns tipos de borrachas, sendo utilizado no segmento de calçados em compostos expansíveis e reticulados transformados por injeção e pressão (BRASKEM, 2018).

Segundo Garlet (1998), a incidência de resíduo varia de 12% a 20% sobre o consumo de EVA das fábricas, dependendo do processo empregado no corte, e que ainda o EVA é obtido por polimerização, via radicais livres e sua elevada homogeneidade na concentração de acetato de Vinila garante estabilidade no processamento, assegurando qualidade ao produto final.

**Figura 2: Aspecto de Folhas de Espuma de Acetato de Vinila (EVA).**



**Fonte:** Autoria Própria. (2019).

O Copolímero de Acetato de Vinila e Etileno é um produto estável, não apresenta perigo em seu estado normal de manuseio e armazenamento, inerte e atóxico, não biodegradável. O calor, faísca e chama podem provocar ignição e explosão em ambientes fechados. Em altas temperaturas de combustão (entre 400°C e 700°C) outros produtos como hidrocarbonetos e aldeídos podem ser formados (BRISCO, 2011).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As normas técnicas utilizadas na produção e nos ensaios dos corpos de prova são apresentadas no Quadro 1. As normas são importantes na manutenção dos padrões técnicos e determinação de resultados consistentes, que nesta pesquisa avaliou a influência da incorporação conjunta de EVA e EPS em liga de concreto leve sem função estrutural.

**Quadro 1:** Normas utilizadas na produção e ensaios dos corpos de prova.

<b>NORMA ABNT</b>	<b>TÍTULO</b>
NBR NM 67:1998	Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone
NBR 9778:2005	Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
NBR 12.655:2015	Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento
NBR 5738:2015	Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova
NBR 5739:2018	Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

#### 3.1 COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EPS E EVA

Os resíduos de EPS foram adquiridos por meio de sobras de embalagens de eletrodomésticos e utensílios em geral ou até mesmo da construção civil. Os resíduos de EVA procederam de doações de sobras de trabalhos de artesanato e resíduos de tatame. Os outros materiais utilizados estavam disponíveis na UTFPR, entre eles, areia, e agregado graúdo (brita 0) e cimento Portland.

#### 3.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A partir do balanço volumétrico proposto por Garlet (1998), com testes de concretos produzidos com substituição de 60% e 70% do volume de agregado graúdo convencional (brita 0) por agregado leve. Neste estudo foram adotadas as proporções de volume de substituição de agregado graúdo conforme apresentado na Tabela 1. Foram produzidos um total de 40 corpos de prova, divididos em cinco traços volumétricos (Quadro 2) contendo: corpos de prova de traço de concreto

convencional sem substituição do agregado graúdo e corpos com substituição do agregado graúdo convencional (brita 0) pelo agregado leve aos níveis 60% e 70% (Tabela 1). Dois dos traços (um de 60% e um de 70%) foram produzidos a partir de agregado leve pré-hidratado por 24 horas antes de serem inseridos à liga de concreto leve.

**Tabela 1:** Composição dos Corpos de Prova em proporção de cimento, areia, brita 0, EPS e EVA.

Tipo de Concreto	Traço Volumétrico
Convencional	1:2:3 (cimento:areia:brita 0)
30% EPS + 30% EVA (Hidratado)	1:2:1,2:0,9:0,9 (cimento:areia:brita 0:EPS:EVA)
30% EPS + 30% EVA (Não-Hidratado)	1:2:1,2:0,9:0,9 (cimento:areia:brita 0:EPS:EVA)
35% EPS + 35% EVA (Hidratado)	1:2:0,9:1,05 (cimento:areia:brita 0:EPS:EVA)
35% EPS + 35% EVA (Não-Hidratado)	1:2:0,9:1,05 (cimento:areia:brita 0:EPS:EVA)

**Fonte:** Autoria Própria. (2019).

**Quadro 2:** Relação do número de corpos de prova, a partir das diferenciações pré tratamento de agregados e suas porcentagens.

Número de Corpos de Prova	Agregados	Substituição Volumétrica do agregado graúdo (%)
8	Não hidratado	0% agregado leve (convencional)
8	Pré-Hidratado	30% de EPS + 30% de EVA
8	Pré-Hidratado	35% de EPS + 35% de EVA
8	Não hidratado	30% de EPS + 30% de EVA
8	Não hidratado	35% de EPS + 35% de EVA

**Fonte:** Autoria Própria. (2019).

Os corpos de prova foram produzidos (Figura 3) de acordo com a normativa ABNT:NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Campo Mourão, utilizando as dimensões máximas nominais dos agregados, entre 4,75 mm e 9,5 mm, sendo o EPS e o EVA previamente cortado e posteriormente peneirado, seguindo as práticas recomendadas pela norma ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

**Figura 3: Foto da produção dos corpos de prova**



**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

A incorporação de agregados na liga de concreto seguiu os melhores padrões volumétricos sugeridos por Garlet (1998), de 60% e 70% e a partir disto, houve a substituição de agregado graúdo com proporções iguais de EPS e EVA.

Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico com dimensões de 100 mm x 200 mm com tolerância de 2% das dimensões e nunca maior do que 2 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). O número de

golpes para o adensamento foi de 12 até que fosse preenchido metade do molde do corpo de prova, sendo mais 12 com o molde cheio de concreto, totalizando 24 golpes, que são necessários para o adensamento de todos os corpos de prova, que tiveram tempo de cura (Figura 4) estabelecido em 28 dias, seguindo a norma ABNT:NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

**Figura 4: Corpos de prova em caixa d'água para tempo de cura**



**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

### 3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELOS AGREGADOS

A pré-hidratação ocorreu a partir da total imersão do volume necessário de resíduos de EPS e EVA em recipiente plástico de 20 litros. Desta forma, os agregados de EVA e de EPS foram submersos em água por 24 horas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) antes da preparação e moldagem dos corpos de prova, na busca pela melhoria da trabalhabilidade do concreto.

Foi realizada a pré-hidratação, de metade do volume dos resíduos para que pudessem ser produzidos os corpos de prova para os ensaios com corpos de prova pré-hidratados, e para posterior comparação entre os traços volumétricos com os não hidratados.

### 3.4 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

O ensaio de consistência foi realizado pelo método de Abatimento de Tronco de Cone segundo a norma ABNT NBR NM 67:1998 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), tendo 200 mm de diâmetro da base inferior, 100 mm de diâmetro da base superior e altura de 300 mm, todas as medidas com um máximo de erro de 2 mm para mais ou para menos.

### 3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os ensaios de absorção de água (Figura 5) ocorreram de acordo com ABNT NBR 9778:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que prescreve o modo pelo qual deve ser executado o ensaio para determinação da absorção de água (Eq. 1), através da imersão.

$$A = \left( \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que,

- $m_{sat}$  = Massa do corpo de prova saturado;
- $m_s$  = Massa do corpo de prova seco em estufa;
- $A$  = Absorção de água (%).

**Figura 5: Bancada com balança hidrostática utilizada nos ensaios de absorção de água dos corpos de prova.**



**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

### 3.6 ÍNDICE DE VAZIOS

O índice de vazios, de acordo com a ABNT NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), diz respeito à relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, e o mesmo foi obtido a partir da Equação 2, onde a saturação do corpo de prova pôde ser feita em imersão em água.

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

- $Iv$  = Índice de Vazios (%);
- $m_{sat}$  = Massa do corpo de prova saturado;
- $m_s$  = Massa do corpo de prova seco em estufa;
- $m_i$  = Massa Inicial;



### 3.7 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica foi encontrada a partir da relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra (Equação 3), incluindo os poros permeáveis e impermeáveis, massa específica da amostra saturada sendo a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis e por fim a massa específica real que é a relação entre a massa do material seco e o seu volume, desta vez excluindo os poros da amostra segundo a normativa ABNT NBR 9778:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

$$Me = \frac{m_{sat}}{m_{sat}-m_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

- $Me$  = Massa específica;
- $m_{sat}$  = Massa do corpo de prova saturado;
- $m_i$  = Massa inicial

### 3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A norma ABNT NBR 5739:2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018) foi utilizada no método de ensaio para a determinação da resistência à compressão (Eq. 4) (Figura 6) de corpos de prova cilíndricos de concreto moldados conforme a referida norma.

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

Em que:

- $f_c$  = Resistência à compressão (MPa);
- $F$  = Força máxima alcançada (N);
- $D$  = Diâmetro do cilindro (mm);

**Figura 6: Prensa Elétrica utilizada no rompimento de corpos de prova para testes de resistência à compressão.**



**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

### 3.8.1 Teste estatístico de comparação de médias

Para o entendimento estatístico do comportamento dos resultados de resistência à compressão, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC). O DIC foi utilizado, pois é recomendado quando a variabilidade entre as unidades experimentais for pequena e a sua utilização deve ser em locais com condições bem controladas, ou seja, homogêneas.

A Análise de Variância ou ANOVA é um procedimento usado para comparar a distribuição de três ou mais grupos em amostras independentes. A análise de variância é também uma forma de resumir um modelo de regressão linear por meio da decomposição da soma dos quadrados para cada fonte de variação no modelo e, utilizando o teste F, testar a hipótese de que qualquer fonte de variação no modelo é igual a zero.

Assim, foi aplicado teste estatístico em relação aos valores de resistência à compressão, que teve por objetivo avaliar a padronização e a eficiência do concreto

leve à base de agregados de EVA e EPS, pelo método do Teste de Tukey ao nível de significância de 5% tendo por objetivo, de acordo com Mucelin (2003), verificar se havia diferenças significativas entre as médias dos tratamentos em estudo, conferindo a viabilidade técnica dos procedimentos de incorporação de EVA e EPS em liga de concreto sem função estrutural.

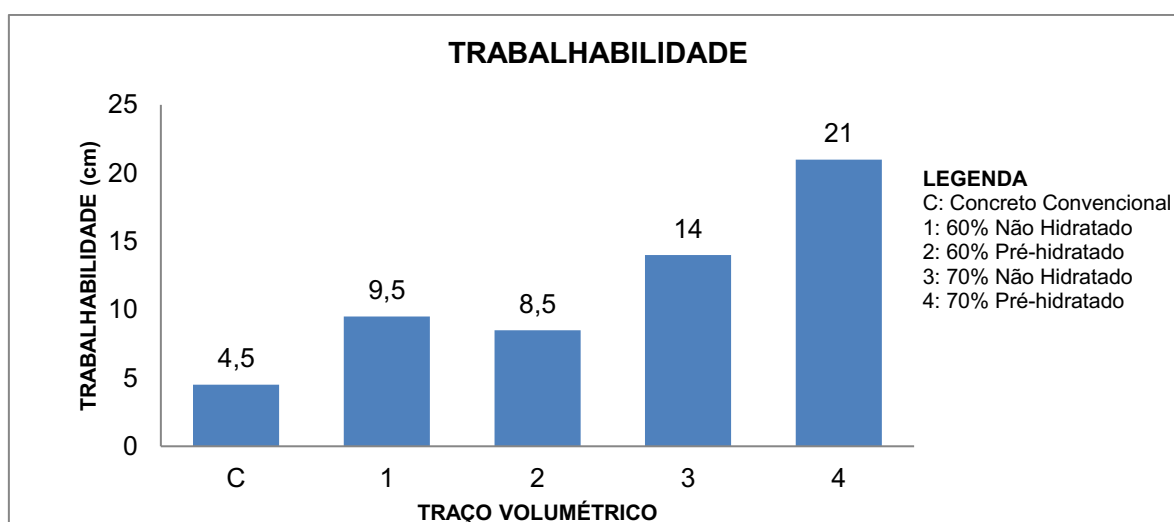
Os ensaios foram realizados somente para o parâmetro resistência à compressão, em função de não haver norma técnica que especifica o limite mínimo de resistência à compressão para concreto leve, então o objetivo foi avaliar se havia diferença mínima significativa entre os resultados. Para a análise estatística foi utilizado o *software* estatístico R, versão 4.0.2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

A partir dos resultados de abatimento de tronco de cone (Figura 7) pode-se notar a grande variação na trabalhabilidade do concreto nos ensaios, principalmente no traço volumétrico com 70% de agregado leve, pois de acordo com Rossignolo (2009), a absorção de água pelos agregados possui grande influência na manutenção da trabalhabilidade do concreto após a mistura, onde se pode atribuir a diferença a partir da umidade elevada presente principalmente no concreto onde o agregado leve havia sido pré-hidratado por 24 horas antes da produção do concreto, e também às porcentagens de agregado leve substituído.

**Figura 7: Gráfico da trabalhabilidade a partir do teste de abatimento de tronco de cone do concreto produzido com agregado leve**



Fonte: Autoria Própria. (2020).

É importante ressaltar que os ensaios foram realizados com as mesmas quantidades de água para a produção dos corpos de prova em todos os traços volumétricos, e ainda assim o traço de 70% hidratado apresentou trabalhabilidade 50% maior que o 70% não hidratado. Os valores do traço de 70% pré-hidratado chegam a 121% maiores em relação ao traço 60% pré-hidratado. Estas diferenças podem ser atribuídas ao alto índice de mistura de agregado leve (35% EPS + 35% EVA) somado ao fator do traço ser pré-hidratado, ou seja, alto índice de agregado

leve, levou a alto índice de absorção de água, que por sua vez interfere diretamente na trabalhabilidade do concreto.

Segundo Victor (2020) existem três formas de abatimento: o abatimento verdadeiro, quando o concreto se abate uniforme e simetricamente, o segundo é conhecido como abatimento cortante, no qual uma das metades do cone de concreto desliza em relação a outra, segundo um plano inclinado, e o terceiro é conhecido como abatimento com desagregação. Geralmente, os abatimentos cortantes e com desagregação decorrem de concretos muito úmidos e pobres.

Para Garlet (1998), o principal fator que afeta as condições de trabalhabilidade da mistura é a porcentagem de agregado e de fato, entre os corpos de prova com traço de 60% e 70% de agregado leve, a trabalhabilidade foi 94,4% superior em média nos corpos de prova de 70% de inserção de agregado leve. Este traço pode ter obtido níveis elevados de trabalhabilidade devido a massa específica, que pode o ter tornado menos denso e por isso mais propensos a trabalhabilidade quando exposto ao ensaio de abatimento de tronco de cone.

Segundo Rossignolo (2009), concretos leves com abatimento de até 8 cm, podem apresentar trabalhabilidade similar à dos concretos convencionais, o que não foi o caso em nenhum dos traços testados, sendo que os mais próximos foram os de 60% de agregado leve, com sua parte do traço pré-hidratada (Figura 8) atingindo 8,5 cm, ou seja, 6,25% maior que os 8 cm sugeridos, e o traço com agregado leve não hidratado se abateu 9,5 cm sendo portanto 11,76% acima do sugerido, tendo abatimento do tipo verdadeiro de acordo com Victor (2020), ou seja, quando o concreto se abate uniforme e simetricamente.

**Figura 8: Foto do teste de abatimento de tronco de cone.**



**Fonte:** Autoria Própria. (2020).

O traço volumétrico de 70% de agregado leve com pré-hidratação sofreu desmoronamento sucessivo, cedendo 21 cm no teste e portanto, segundo a norma ABNT NBR NM 67:1998 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), de base do teste, este traço de concreto segundo Victor (2020) não é necessariamente plástico e coeso para a aplicação do ensaio de abatimento, devido sua intensa umidade somada a liga de concreto leve que confere menos consistência, sendo portanto, um abatimento do tipo com desagregação.

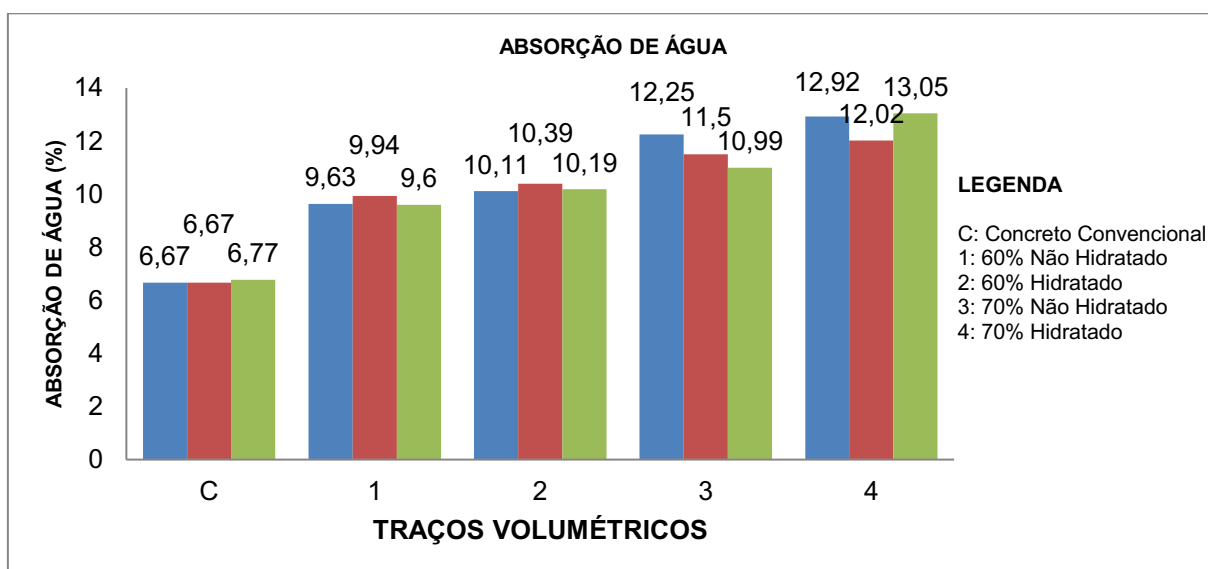
Os corpos de prova produzidos com incorporação de 70% de agregado leve não hidratado, no teste de abatimento de tronco de cone cederam em média, 14 cm, valor 211,11% superior ao valor de 4,5 cm do concreto convencional e 75% acima do valor máximo de 8 cm recomendado por Rossignolo (2009). Assim, podendo ser classificado como abatimento cortante, de acordo com a visualização do teste como abatimento cortante, no qual uma das metades do cone de concreto desliza uma em relação a outra segundo um plano inclinado (VICTOR, 2020), porém este tipo de resultado do teste de abatimento de tronco de cone não impede o uso destes teores de agregado em determinadas situações (que não sejam funções estruturais), pois

segundo Garlet (1998), em seu estudo, constatou o bom envolvimento do agregado de EVA pela pasta de cimento, o que pode garantir a união das partículas no estado endurecido.

#### 4.2 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

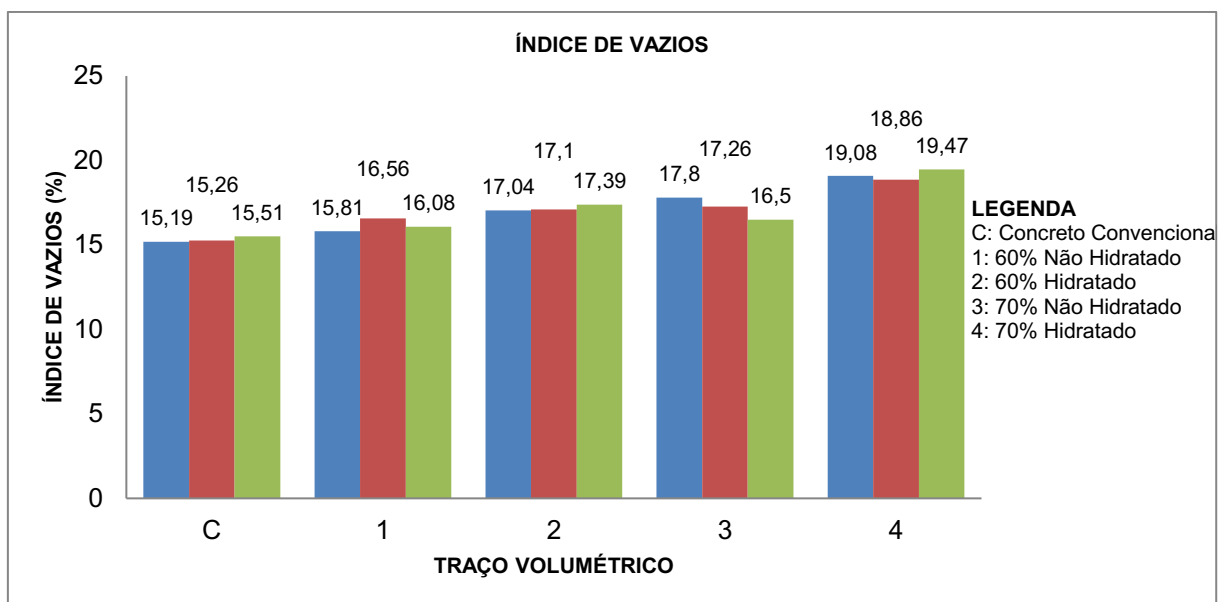
Após as pesagens dos corpos de prova secos, imersos em água e saturados, foram obtidos os resultados para absorção de água (Figura 9), índice de vazios (Figura 10) e massa específica (Figura 11).

**Figura 9: Gráfico dos resultados do teste de absorção de água pelos corpos de prova em cada traço volumétrico.**



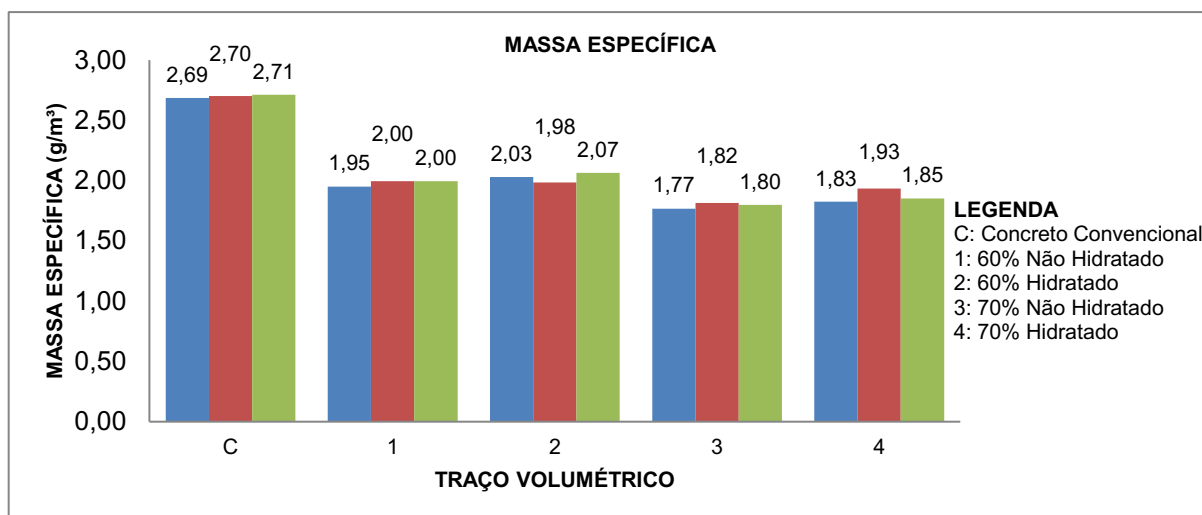
Fonte: Autoria Própria. (2020).

**Figura 10: Gráfico do Índice de vazios dos corpos de prova de acordo com seus respectivos traços volumétricos.**



Fonte: Autoria Própria. (2020).

**Figura 11: Gráfico dos resultados de massa específica dos corpos de prova em seus respectivos traços volumétricos.**



Fonte: Autoria Própria. (2020).

Os resultados dos testes de absorção de água (Figura 7) apresentaram variações em relação ao traço volumétrico do concreto convencional quando comparados aos outros traços, sendo que estes apresentaram resultados crescentes de acordo com o aumento da quantidade de agregado leve e umidade adicionados aos traços.



De acordo com Rossignolo (2009), a substituição de agregados convencionais por agregados leves promove alterações consideráveis nas propriedades dos concretos, que dependem, essencialmente, das características desses novos agregados. De acordo com Oliveira et al. (2006) a absorção de água tende a aumentar na medida em que é incorporado agregado leve nas amostras. O concreto leve apresenta-se mais suscetível a absorver água devido a porosidade do agregado e pode influenciar a durabilidade do concreto (SCOBAR, 2016).

Nota-se na Figura 8, que os índices de vazios no traço do concreto convencional obtiveram média de 15,32% de índice de vazios, enquanto o traço de 70% pré-hidratado atingiu média de 19,13%. Pôde-se notar a variabilidade dos níveis de índice de vazios conforme houve aumento da concentração de agregado leve e de absorção de água dos traços estudados. Em resumo, quanto maior foi a quantidade de agregado leve incorporado, maiores foram os valores de índices de vazios e absorção de água pelos corpos de prova.

Como os agregados usualmente representam mais de 50% do volume dos concretos convencionais, sua substituição por agregados leves promove alterações consideráveis nas propriedades dos concretos, que dependem, essencialmente, das características desses novos agregados (ROSSIGNOLO, 2009), não sendo diferente nos resultados dos cálculos de massa específica (Figura 9).

Verificou-se nos resultados de massa específica (Figura 9), que o concreto convencional apresentou média de 2,7 g/m<sup>3</sup> de massa específica, enquanto que para os traços volumétricos constituintes de agregado leve, todos os traços com inclusão de agregado leve se encontram abaixo de 2 g/m<sup>3</sup>, com média de 1,91 g/m<sup>3</sup> quando se comparam todos os traços volumétricos.

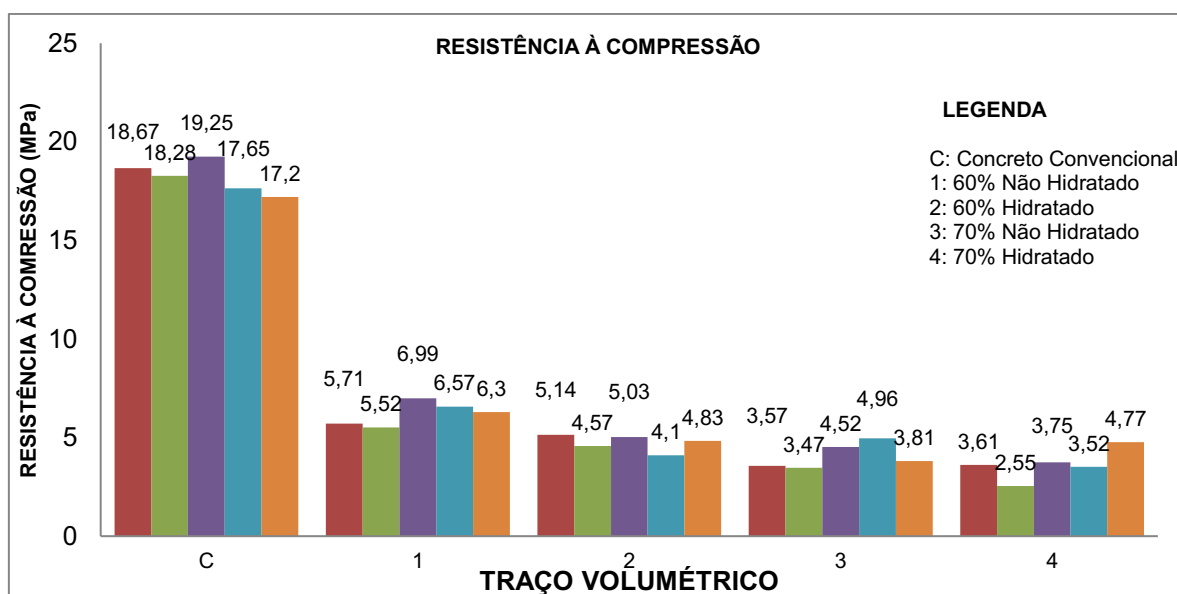
A redução de massa específica é a principal característica para que o concreto com agregado leve seja um material viável para utilização em construções (SCOBAR, 2016), e por isso, nos concretos leves estruturais, a dimensão e a granulometria dos agregados têm mais influência nos valores da massa específica e da resistência à compressão do que, comparativamente, nos concretos convencionais, pois os valores da massa específica e da resistência à compressão dos agregados leves, geralmente são inversamente proporcionais a sua quantidade incorporada (ROSSIGNOLO, 2009). Corroborando com o presente estudo e com Garlet (1998) que em seu trabalho mostra que a massa específica é inversamente proporcional à quantidade de agregado leve, ou seja, quanto mais agregado leve é

incorporado à liga de concreto, maiores serão os índices de absorção de água e menores serão os índices de massa específica do mesmo, atuando diretamente nos resultados de resistência à compressão.

### 4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova estão apresentados na Figura 12. Pode-se destacar valores de até 175% maiores de resistência à compressão do concreto convencional em relação aos constituintes de traço volumétrico com substituição do agregado graúdo convencional pelos agregados leves de EPS e EVA. Percebe-se a diminuição dos valores de resistência à compressão conforme há o aumento do índice de agregado leve e água em todos os traços volumétricos.

**Figura 12: Resultados dos testes de Resistência à compressão (MPa).**



Fonte: Autoria Própria. (2020).

Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com 60% de agregado leve obtiveram média de 6,21 MPa à compressão enquanto Bacarini (2019) em seu trabalho obteve ao nível de 60% de EPS como agregado leve, o valor médio de 4,19 MPa, ou seja, com a mistura de 30% de EPS com 30% de EVA (60% no total de resíduos), houve incremento de 48,2% no valor da resistência à compressão. Nos corpos de prova contendo 70% de agregado leve, onde os ensaios chegaram a uma média de 4,06 MPa e o maior índice de Bacarini

(2019) alcançou 3,53 MPa com EVA como agregado leve, resultando em um aumento de 15,01% da resistência à compressão quando comparado com a incorporação de agregado leve de 70% (35% de EPS e 35% de EVA).

Alguns fatores podem ter contribuído para a diferença da resistência à compressão entre os trabalhos, como a interferência direta da quantidade de agregado leve adicionado e a quantidade de água absorvida pelos mesmos, após o término do período de 28 dias de cura, que segundo Rossignolo (2009), é quando os concretos leves apresentam baixa elevação dos valores de resistência à compressão, em comparação com os concretos convencionais, assim concordando com Garlet (1998), que a resistência à compressão e o teor de agregado leve são grandezas inversamente proporcionais com uma relação praticamente linear, onde a influência do agregado leve na resistência à compressão é mais pronunciada quando aumenta o consumo de cimento por traço volumétrico e corpo de prova.

Garlet (1998) em seu experimento alcançou valores de resistência à compressão de 3,4 MPa com 60% de agregado leve, e seus resultados de resistência à compressão encontrados para o concreto produzido a partir de agregado de EVA somente possibilitaram o seu emprego em funções não estruturais, que também são as funções recomendadas para os agregados leves de EVA e EPS tais como isolamento térmico, enchimento em lajes e contrapisos e elementos pré-moldados não portantes (blocos e painéis de fechamento).

Com relação a análise estatística que se referiu ao Teste Tukey, considerando um intervalo de confiança de 95% foi realizado a Análise de Variância (ANOVA) (Tabela 2) que objetivou encontrar diferença significativa entre os tratamentos (traços volumétricos). Foi obtido um p-valor menor que 0,05 e, portanto, rejeita-se hipótese nula, e pode-se concluir que pelo menos um tratamento avaliado apresenta diferença na resistência à compressão, ou seja, existe diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 2:** Análise de Variância dos traços volumétricos analisados.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	p-valor
Tratamento	4	754,77	a	404,05	$8,0993 \times 10^{-19}$
Resíduo	20	9,34	0,467		
Total	24	764,11			

Fonte: Autoria Própria. (2020).

Foi realizado o teste de normalidade Shappiro-Wilk para testar a hipótese nula que avalia se uma amostra retirada de uma população, apresenta distribuição normal, e obteve p-valor igual a 0,7550798, e de acordo com este teste, a 5% de nível de significância, os resíduos podem ser considerados normais. O teste de homogeneidade de variâncias, obteve p-valor de 0,6890108 e a um nível de significância de 5%, os resíduos podem ser considerados homocedásticos, ou seja, as variabilidades das repetições são semelhantes entre si.

Com base nos resultados do teste de Tukey para comparação das médias de resistência à compressão (Quadro 3), não houve diferença significativa entre os resultados dos tratamentos 60% de agregado leve pré-hidratado e 70% de agregado leve (pré-hidratado ou não), ou seja, estes traços possuem, estatisticamente, a mesma tendência de resistência à compressão, enquanto o tratamento com 60% de agregado leve não hidratado obteve diferença significativa em relação aos outros tratamentos, apresentando o maior valor de resistência à compressão entre os tratamentos de traços volumétricos contendo agregado leve em sua composição e por isso, se torna o traço mais recomendado como concreto leve, dentre os levados em consideração neste estudo.

**Quadro 3:** Grupos de tratamento e resultados do Teste de Tukey com 5% de significância de resistência à compressão.

<b>TRAÇO VOLUMÉTRICO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA</b>	<b>Grupo</b>
<b>CONVENCIONAL</b>	C	18,22	a
<b>60% NÃO HIDRATADO</b>	1	6,22	b
<b>60% PRÉ-HIDRATADO</b>	2	4,72	c
<b>70% NÃO HIDRATADO</b>	3	4,08	c
<b>70% PRÉ-HIDRATADO</b>	4	3,62	c

**Fonte:** Aatoria Própria. (2020).

Em resumo, de acordo com o Quadro 3 conclui-se que com 5% de significância conclui-se que a média da resistência à compressão do concreto convencional é diferente para todos os tratamentos, assim como a média da resistência à compressão do tratamento com 60% de agregado leve não hidratado também é diferente. E por fim, conclui-se que com 5% de significância as médias de resistência à compressão dos tratamentos com 60% de agregado leve pré-hidratado e com 70 % de agregado leve, pré-hidratado ou não, podem ser considerados iguais

em termos de resistência à compressão, ou seja, caso fossem aplicados, apresentando na prática o mesmo efeito em sua aplicação por serem estatisticamente iguais em resistência à compressão.

## 5 CONCLUSÃO

Com a dificuldade de se encontrar destinação ambientalmente adequada ao EPS e ao EVA e a crescente demanda da construção civil por materiais alternativos economicamente acessíveis e eficientes, o presente estudo procurou identificar uma solução tecnicamente viável para estes resíduos, na busca pela substituição de agregado convencional graúdo (brita 0) por EPS e EVA de maneira conjunta, atuando na função de agregado leve para liga de concreto leve sem função estrutural, de acordo com as normas vigentes relacionadas a este tipo de concreto.

Os traços volumétricos (tratamentos) estudados foram de 60% e 70% de agregado leve, com e sem pré-hidratação, e os resultados mostraram avanços em relação a utilização de agregados leves em liga de concreto leve, principalmente no traço volumétrico de 60% de agregado leve (30% de EPS + 30% de EVA) sem pré hidratação.

A absorção de água apresentou resultados progressivos ao longo das amostras em todos os traços volumétricos, de maneira esperada, chegando a atingir 13,05% de absorção, mostrando que quanto o maior nível de agregado leve e água inseridos, menores são os resultados de resistência à compressão. De maneira similar, os índices de vazios dos corpos de prova com 70% de agregado leve obtiveram média de 19,13% enquanto o concreto convencional obteve média de 15,32%. Esta variação se deve também às variações de conteúdo de agregado leve e a absorção de água em cada traço volumétrico.

Em relação a massa específica verificou-se que o concreto convencional chegou a média de 2,7 g/m<sup>3</sup> enquanto a média de todos os traços volumétricos juntos atingiu 1,91 g/m<sup>3</sup> e dessa forma, atingindo média satisfatória para aplicações.

Nos ensaios de resistência à compressão, todos os traços desenvolveram resultados satisfatórios tendo em vista a porcentagem de agregado leve adicionado e a umidade dos corpos de prova. Dentre os traços com agregado leve, o contendo 60% sem pré-hidratação atingiu média estatisticamente diferente quando comparado aos outros traços com adição de agregado leve, apresentando maior resultado médio, de 6,22 MPa. Dessa forma, recomenda-se o seu uso para função não estrutural, tais como calçadas, revestimentos não estruturais, enchimento de lajes e contrapisos e elementos pré-fabricados desde que não possuam nenhum tipo de função estrutural.

Além disso, recomenda-se que sejam realizados outros estudos nas mesmas porcentagens de agregado leve, com o objetivo de aprimorar seu desempenho e avaliar a viabilidade econômica do concreto leve a partir de agregados leves de EPS e EVA conjuntamente.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. S.l., 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Do que é feito o Cimento Portland?** S.l., 2019. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/do-que-e-feito-o-cimento-portland/>. Acesso em: 03 out. 2019.

AMBROSI, Tuilara Vanzo. **Logística Reversa de Embalagens de Isopor**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 12 p. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24677/000746302.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 set. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt nbr nm 248**: Determinação da composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt nbr 9778**: Argamassa e concreto endurecidos, determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt nbr 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt nbr 15116**: Concreto de cimento Portland – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Abnt nbr 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

BACARINI, Aline. **Aproveitamento de resíduos de eps e eva como agregados em concreto leve**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.



BORTOLINI, Rafaela. **Concreto: Ensaio do abatimento (Slump Test)**. S.l: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=956>. Acesso em: 05 out. 2019.

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

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Como e porquê separar o lixo?** Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porquê-separar-o-lixo>. Acesso em: 25 set. 2019.

BRASKEM. **EVA Copolímero Etileno Acetato de Vinila: Ethylene Vinyl Acetate Copolymer**. S.l: Braskem, 2018. Disponível em: [https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=19&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwji2u3Qhe3kAhVaH7kGHVX0B0YQFjASegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.braskem.com.br%2Fcms%2FPrincipal%2FCatalogo%2FDownload%3FCodigoCatalogo%3D10&usg=AOvVaw1krqR\\_aNYLpbLrBdUx01yn](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=19&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwji2u3Qhe3kAhVaH7kGHVX0B0YQFjASegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.braskem.com.br%2Fcms%2FPrincipal%2FCatalogo%2FDownload%3FCodigoCatalogo%3D10&usg=AOvVaw1krqR_aNYLpbLrBdUx01yn). Acesso em: 25 set. 2019.

BRISCO. **ficha de informações de segurança de produto químico**. Guarulhos: Brisco, 2011. Disponível em: <http://www.brisco.com.br/fispq/copolimero-de-eva.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

DAGNINO, Giovanna Bueno. **Brasil recicla apenas 0,6% de entulho**. São Paulo, DCI, 2018. Disponível em: <https://www.dci.com.br/impresso/brasil-recicla-apenas-0-6-de-entulho-1.768517>. Acesso em: 10 nov. 2019.

EPSBRASIL. **Brasil recicla 34,5% do EPS pós-consumo**. S.l: Epsbrasil, 2014. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/18/brasil-recicla-345-do-eps-pos-consumo.html>. Acesso em: 23 out. 2019.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. São Paulo: **Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, 2016. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

FRANCO, Augusto de. **Porque precisamos de Desenvolvimento Local Integrado e Sustentável**. 2. ed. Brasília: Instituto de Política Millenium, 2000. 54 p.

GARLET, Givanildo. **Aproveitamento de resíduos de e.v.a. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Orientador: Hélio Adão Greven, 1998. 162 f. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2009.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil** S.I., 2012.

Disponível em:

[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911\\_relatorio\\_construcao\\_civil.pdf?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.com](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)

Acesso em: 10 nov. 2019.

ISOPOR ®. Isopor®, o EPS que tem nome. Disponível em: <https://www.isopor.com.br/#eps> Acesso em: 25 de set. de 2019.

KARPINSKI, Luisete Andreis; PANDOLFO, Adalberto; REINEHR, Renata; GUIMARÃES, Janusa; PANDOLFO, Luciana; KUREK, Juliana; ROJAS, José W. Jiménez. Gestão de resíduos da construção civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo-RS. **Estudos Tecnológicos**, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 69-87, mai./ago. 2008.

LA SERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para Construção Civil.** S.I: Dnmp, 2013. (Estatística e Economia Mineral). Disponível em: <http://www.dnmp.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MUCELIN, Carlos Alberto. **Estatística elementar e experimental aplicada às tecnologias.** Medianeira: Gráfica e Editora Valério, 2003.

D. F. Oliveira, V. S. Santos, H. L. Lira, A. B. Melo, G. A. Neves. **Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil.** Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2006.

OLIVEIRA, Bruno. **Como interpretar uma análise de variância (anova)?** S.L: Oper Data, 2019. Disponível em: <https://operdata.com.br/blog/como-interpretar-analise-de-variancia-anova/>. Acesso em: 12 nov. 2020.

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

PAIVA, Paulo Antonio de; RIBEIRO, Maisa de Souza. A reciclagem na construção civil: como economia de custos. **Revista Eletrônica de Administração**, S.I., v. 4, n. 1, p.7-8, dez. 2005. Disponível em: <http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/viewFile/185/37>. Acesso em: 11 nov. 2019.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto Leve Estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo: Editora Pini, 2009. P.15.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto Leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos-dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. Orientador: Marcos V. C. Agnesini. 2003. 220 f. Tese de Doutorado – Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-25102005-104002/publico/teserossignolo.pdf>. Acesso em 25 out. 2019.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Ijuí: Editora Unijuí, 2009. 1 p.

SCHUELER, Adriana Soares; MAHLER, Claudio Fernando; SOARES, Erika; ALVES, Ingrid Roberta de França Soares; ALMEIDA, Julia Righi; ANDRADE, Julio César da Matta e; OLIVEIRA, Luciano Basto de; ROSA, Luiz Pinguelli; JUNIOR, Roberto Guião; FONSECA, Zilton Sá. **Lixo Urbano: O que você precisa saber sobre o assunto**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2012.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. **Dados do Setor**. S.I., 2016. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em: 03 out. 2019.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANETTI, Edio. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Editora Pini, 1990.

TESSARI, Janaina. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TESSARI, Janaina. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. 102 f. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VICTOR, João. **Abatimento de Tronco de Cone (Slump Test)**. S.L: Guia da Engenharia, 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/abatimento-slump-test/>. Acesso em: 22 out. 2020.

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