

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAN DE SOUZA MACHADO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO LEVE COM POLIESTIRENO
EXPANDIDO VISANDO APLICAÇÃO EM PLACAS DE VEDAÇÃO PRÉ-
FABRICADAS**

PATO BRANCO

2022

WILLIAN DE SOUZA MACHADO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO LEVE COM POLIESTIRENO
EXPANDIDO VISANDO APLICAÇÃO EM PLACAS DE VEDAÇÃO PRÉ-
FABRICADAS**

**Study of the properties of lightweight concrete with expanded polystyrene for
application in prefabricated seal plates**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Tobias Jun Shimosaka.

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

WILLIAN DE SOUZA MACHADO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO LEVE COM POLIESTIRENO
EXPANDIDO VISANDO APLICAÇÃO EM PLACAS DE VEDAÇÃO PRÉ-
FABRICADAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/Novembro/2022

Tobias Jun Shimosaka

Mestre em Engenharia de Materiais (UTFPR-PB)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

José Miguel Etchalus

Mestrado em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale (2010)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco

Cleovir José Milani

Doutor em Engenharia - Área de Infraestrutura e Meio Ambiente pela Universidade de
Passo Fundo (2020)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco

PATO BRANCO

2022

Dedico este trabalho em memória ao meu pai.
O primeiro cientista que conheci.

AGRADECIMENTOS

Através deste, venho manifestar a minha gratidão a aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento da minha jornada. Meu muito obrigado ao meu orientador, Professor Tobias Jun Shimosaka, que deu norte à minha busca pelo conhecimento e esclarecimento às minhas dúvidas.

Gratidão à Professora Elizangela Macelo Siliprandi, ao Professor Cleovir Jose Milani, o Professor Jose Miguel Etchalus e a todos os demais professores do departamento de construção civil, não só pelos conhecimentos compartilhados em sala de aula, mas também pelos conselhos e orientações que com certeza levarei para a vida toda.

Agradeço também à Katia Eloisa e Claudia Regina Bernardi por toda paciência e ajuda com a parte prática da execução do trabalho, das quais sem o conhecimento laboratorial o trabalho não seria possível.

Acima de tudo agradeço à minha família, que esteve sempre me apoiando e me incentivando, nos momentos mais difíceis e naqueles em que eu mais precisava.

RESUMO

O crescimento apresentado pelo mercado da construção civil ao longo dos anos, implica em uma constante busca por otimização de processos e melhora do desempenho dos materiais, sempre priorizando qualidade, segurança e velocidade nos serviços. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho consiste em analisar algumas propriedades do concreto leve com substituição parcial do volume de agregado graúdo por pérolas de poliestireno expandido, visando uma possível aplicação dessa substituição no concreto de placas de vedação pré-fabricadas. Para isso, foram dosados e executados três traços de concreto, um sem a presença de Poliestireno Expandido para servir de base, um com substituição de 25% do volume de agregado graúdo e o terceiro com substituição de 50%. Dessa forma, foram feitos os ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e massa específica, nas idades de 7 e 28 dias, para cada traço. Concluiu-se que as propriedades de resistência à compressão e massa específica diminuem com a adição das pérolas de Poliestireno Expandido, e quando analisadas separadamente, não apresentam diferença significativa entre os traços de 25% e 50% de substituição do agregado graúdo, mas os valores desses dois traços diferem significativamente dos valores do traço de base. Por outro lado, a resistência à tração apresentou um decréscimo proporcional ao aumento do teor de EPS.

Palavras-chave: concreto-leve; isopor; vedação; pré-fabricados;

ABSTRACT

The growth shown by the civil construction market over the years implies a constant search for optimization of processes and improvement of the performance of materials, always prioritizing quality, safety and speed in services. In this context, the objective of this work is to analyze some properties of lightweight concrete with partial replacement of the coarse aggregate volume by expanded polystyrene pearls, aiming at a possible application of this replacement in the concrete of prefabricated sealing plates. For this, three mixes of concrete were dosed and executed, one without the presence of Expanded Polystyrene to serve as a base, one with replacement of 25% of the volume of coarse aggregate and the third with replacement of 50%. Thus, axial compression strength, traction strength and specific mass tests were carried out at the ages of 7 and 28 days for each trait. It was concluded that the compressive strength and specific mass properties decrease with the addition of Expanded Polystyrene beads, and when analyzed separately, there is no significant difference between the traits of 25% and 50% of substitution of the coarse aggregate, but the values these two traits differ significantly from the base trait values.. Tensile strength showed a decrease proportional to the increase in EPS content.

Keywords: lightweight-concrete; expanded-polystyrene; fence panel; prefabricated;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma.....	25
Figura 2: Curvas granulométricas da areia e da brita.....	27
Figura 3: Interior dos corpos de prova de cada traço.....	35
Figura 4: Resistência à compressão axial	36
Figura 5: Resistência à tração por compressão diametral	37
Figura 6: Massa específica da amostra seca de concreto.....	38
Figura 7: Fatores de eficiência dos concretos	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno Expandido em português)
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Concreto Simples	16
2.1.1	Cimento	17
2.1.2	Água	17
2.1.3	Agregados	17
2.2	Concreto Leve com EPS	19
2.3	Peças pré-fabricadas	20
2.3.1	Painéis de parede de concreto pré-moldado	21
2.3.2	Forma da seção transversal	21
2.3.3	Uso da edificação	21
2.3.4	Acabamento	22
2.3.5	Comportamento Estrutural	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	Materiais	23
3.2	Método.....	25
3.2.1	Composição granulométrica dos agregados	26
3.2.2	Massa específica da areia	27
3.2.3	Massa específica da brita	28
3.2.4	Massa unitária da areia	28
3.2.5	Massa unitária da brita	29
3.2.6	Dosagem	29
3.2.7	Execução dos traços	30
3.2.8	Trabalhabilidade	32
3.2.9	Concreto – Resistência à compressão axial.....	32
3.2.10	Concreto – Resistência à tração.....	32
3.2.11	Concreto – Massa específica da amostra seca no estado endurecido ..	33

3.2.12	Fator de eficiência do concreto	33
3.2.13	Teste T de Student	34
4	RESULTADOS	35
4.1	Estado Fresco	35
4.1.1	Trabalhabilidade	35
4.2	Estado Endurecido	35
4.2.1	Compressão axial.....	36
4.2.2	Compressão diametral	37
4.2.3	Ensaio de massa específica da amostra seca	38
4.2.4	Fator de eficiência do concreto	39
5	CONCLUSÕES	41

1 INTRODUÇÃO

A construção de edifícios é uma das atividades mais antigas da humanidade, de acordo com Oliveira, Seixas e Faria (pg. 143, 2013), o elemento “casa”, foi o que definiu a transição do modelo nômade de vida para uma organização sedentária, foi o que permitiu a criação dos núcleos urbanos e foi o primeiro elemento civilizacional que o homem construiu. Dessa forma, as primeiras sociedades formadas já buscavam meios de sobreviver construindo locais de abrigo para se proteger do clima e de predadores. De uma forma empírica, os materiais e as técnicas de construção eram testados, levando a um processo de aprendizagem concreta e prática. De acordo com Bauer (1979), a importância dos materiais de construção é tamanha, que no estudo da história, a subdivisão das primeiras eras foi feita de acordo com o material que fora predominantemente empregado, a saber: a Idade da Pedra ou a Idade do Bronze.

Com o tempo, novas tecnologias foram sendo descobertas, novas técnicas foram sendo utilizadas e, como a própria sociedade, a atividade da construção foi aprimorada. De tal modo que, no cenário contemporâneo, não é mais necessário testar empiricamente os materiais nas edificações. Isso porque existem dados que foram coletados de experimentos, estudos que foram feitos, bem como registros das propriedades e das características de cada material, permitindo conhecer o mais adequado ao emprego em cada situação.

Cada vez mais se busca a otimização de materiais e métodos da execução de obras na construção civil. Uma dessas tecnologias inovadoras é a indústria dos pré-fabricados, que proporciona diversas facilidades como agilidade no processo, na organização e na redução de resíduos. De acordo com Serra et al (2005), as peças pré-fabricadas proporcionaram um aumento significativo na qualidade dos canteiros de obras, em função do rigoroso controle da produção, da alta qualidade dos materiais, da seleção de fornecedores e qualificação, assim como no criterioso treinamento da mão de obra.

Nesse contexto, vale mencionar que os pré-fabricados têm diversas aplicações; uma delas é a aplicação de placas de concreto para vedação externa. A forma com que tais placas são produzidas proporciona uma alta velocidade de execução.

Porém, por possuir grandes dimensões, as referidas placas também possuem um peso próprio elevado. Estruturas de concretos normais, de acordo com a NBR6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, têm massa específica de 2000 a 2800 kg/m³. Com efeito, é sempre interessante diminuir as cargas permanentes das estruturas quando possível, nesse caso, isso pode facilitar a execução, exigir menos energia para movimentar as peças, diminuir dimensões através da redução das solicitações de peso próprio e auxiliar na segurança dos profissionais em caso de acidentes. Uma possibilidade de redução no peso dessas peças é a aplicação da tecnologia do Concreto Leve.

Baseando-se nesses conceitos, o experimento que será conduzido, consistirá na substituição parcial, em duas diferentes porcentagens, do agregado graúdo de um traço de concreto pelo correspondente quantitativo de Poliestireno Expandido.

A partir disso, este trabalho pretende responder ao seguinte questionamento: A substituição parcial de 25% e 50% do volume de agregado graúdo convencional por Poliestireno Expandido, apresenta diferenças significativas nas propriedades do concreto, de forma que possam melhorar o desempenho das placas de vedação pré-fabricadas?

Para tanto, o trabalho está organizado da seguinte forma: (i) iniciando com a introdução onde são apresentados objetivos e justificativa; (ii) na sequência com o referencial teórico que abordará individualmente os tópicos: Concreto Simples, Poliestireno Expandido, Concreto Leve com EPS e Peças pré-fabricadas; (iii) seguindo com a metodologia que indica os experimentos necessários à resolução dos objetivos colocados; (iv) em seguida são apresentados os resultados e análises dos mesmos; (v) finalizando com as considerações finais e indicações de futuros trabalhos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades mecânicas dos diferentes traços de concreto com substituição parcial do volume de agregado graúdo por Poliestireno Expandido visando a aplicação em placas pré-fabricadas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Executar um traço de base, e duas variações deste com presença de EPS para comparação.
- Medir a trabalhabilidade da mistura (*Slump Test*), segundo a ABNT NBR 16889:2020 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- Obter a massa específica da amostra seca do concreto no estado endurecido baseado na ABNT NBR 9778:2005 (adaptado).
- Determinar a resistência à compressão axial de acordo com a ABNT NBR 5739:2018 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
- - Determinar a resistência à tração, por compressão diametral segundo a ABNT NBR 7222:2011 - Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral.
- Organizar e analisar os resultados dos ensaios.

1.2 Justificativa

Apesar de diminuir o peso da peça, a adição de EPS também reduz sua resistência característica. Segundo Barom e Freitas (2016), a resistência do concreto é comprometida à maneira que se aumenta o teor EPS, o que dificulta muito a obtenção dos requisitos de estados limites dos elementos. Dessa forma, a escolha de um elemento de vedação para o estudo, ao invés de um elemento estrutural se caracteriza como uma tentativa de estipular um objetivo viável de ser alcançado, visto as dificuldades do processo e o tempo disponível para a experimentação.

Apesar de não suportar as cargas da superestrutura, os painéis precisam aguentar o seu peso próprio, e distribuem essa carga para os elementos de vigas, pilares e lajes. Dessa forma, a redução do peso também influencia no dimensionamento da peça e dos demais elementos, podendo gerar economia no uso de material de produção. Além das alterações na massa específica, a adição do poliestireno expandido proporciona uma melhora em características de isolamento térmico e acústico, valorizando ainda mais a iniciativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto Simples

O Concreto de Cimento Portland é, segundo Helene e Andrade (p. 905, 2010), “o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade”. Mesmo sendo um dos materiais de descoberta mais recente entre os aplicados em construção, já se consolidou como um elemento de relevância no desenvolvimento da história da humanidade. Sua aplicação é tão extensiva que é o segundo material mais consumido pelas pessoas no mundo, ficando atrás apenas da água.

De acordo com Neville (2013), em geral, o concreto se configura como qualquer produto ou massa confeccionada a partir do uso de um meio cimentante. Essa cimentação se dá usualmente a partir da reação entre o cimento hidráulico e a água, mas a definição acaba por abranger um número ainda muito grande de produtos diferentes, feitos com o mesmo princípio, porém com diferenças em suas composições, tipos distintos de cimento, adições, agregados e com distinções inclusive no processo produtivo. A pasta de cimento hidratada por si só não é suficiente para suprir as demandas de peças de concreto, é necessária a adição de agregados que possuem um custo por volume menor do que o da massa de cimento e água. Grandes volumes de pasta hidratando tendem a gerar muita retração e muito calor de hidratação, o que pode vir a causar também excessiva fissuração. Então além do aspecto econômico, a adição de agregados na mistura possui várias outras funções para o concreto.

O concreto é proveniente da mistura de proporções adequadas dos ingredientes água, aglomerantes e agregados, bem como pode haver a presença de aditivos e adições, como diz Pinheiro (2016). Quando endurecido, o concreto apresenta boa resistência à compressão, uma baixa resistência à tração e um alto módulo de elasticidade o que implica que ele se rompe facilmente com deformações de pequenas dimensões. Devido a essas particularidades, o concreto se torna uma ótima aplicação quando combinado com outros materiais, como por exemplo o aço. Quando concreto e aço são utilizados em conjunto e a área de armadura é maior do que a mínima exigida por norma, a combinação caracteriza o concreto armado.

2.1.1 Cimento

“A palavra CIMENTO é originada do latim CAEMENTU, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos” (BATTAGIN, 2006).

O Cimento Portland, segundo Bauer (pg. 35, 2008), é um produto que se obtém através do processo de pulverização de uma substância chamada *Clinker*. Essa substância de base apresenta forma granulosa, e é obtida através da calcinação de uma mistura de vários materiais como silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural e eventuais outras substâncias empregadas para alterar suas propriedades. Essa calcinação é proporcionada pela elevação da temperatura até o grau de princípio de fusão.

2.1.2 Água

Bem como o cimento, a água é um dos ingredientes primordiais do concreto. Deve estar presente em quantidade e qualidade adequadas para a hidratação da mistura a fim de que as reações intermoleculares ocorram de maneira satisfatória. “A qualidade da água é importante porque suas impurezas podem interferir na *pega* do cimento” como diz Neville (p. 74, 2013).

Além da influência no tempo de pega, as impurezas também podem afetar de forma negativa a resistência, o acabamento da superfície e ainda gerar meios de avanço para a corrosão das armaduras dentro da estrutura. Ainda segundo Neville, “O que acontece é que, na presença de água, os silicatos e aluminatos do cimento Portland se hidratam, formando compostos hidratados que, com o passar do tempo, produzem uma massa sólida e resistente.”

2.1.3 Agregados

Segundo Neville (2013), 75% do volume de concreto é composto por agregados, sendo assim, a influência de sua qualidade se mostra importante para a obtenção do desempenho e durabilidade do concreto. A princípio eram tidos como materiais de enchimento, não-reativos e que só serviram para aumentar o volume da mistura, porém, hoje a complexidade dos agregados é entendida e considerada nos aspectos químicos e mecânicos dos materiais utilizadas na construção.

Os agregados possuem influência na determinação do custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto, como diz Mehta (1994). Exercendo um papel de preencher os espaços entre a pasta de cimento, que se apresenta como um material mais caro, ao passo que o intertravamento de seus grânulos pode demandar mais energia para o amassamento se estiver presente em quantidade muito elevada.

Se utilizados indevidamente, os agregados podem contribuir para a deterioração da estrutura de concreto. Segundo Valverde (2001), além de possuir propriedades que proporcionem um bom funcionamento do sistema, os agregados também devem possuir características que tornem viáveis alguns processos construtivos que vem antes das solicitações do elemento pelas cargas, como transporte e estocagem, mistura com os outros materiais e lançamento, compactação e cura da mistura de concreto.

2.1.3.1 Agregados Convencionais

De acordo com Bauer (2008) pode-se classificar os agregados de acordo com a sua origem, dimensões das partículas e peso específico aparente. No que diz respeito à origem, podem ser naturais: aqueles que se encontram particulados *in-natura*, ou podem ser industrializados: os quais precisam de algum processo industrial para se obter a particularização.

Bauer também classifica segundo as dimensões como agregado miúdo (areias) e agregado graúdo (cascalhos e britas). Por fim, levando em consideração o peso específico aparente, a classificação é feita em agregados leves, médios e pesados.

De acordo com a NBR 9935:2011, agregado miúdo é aquele cuja granulometria é passante pela peneira com dimensão de abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 μm . Já o agregado graúdo tem seus grãos passantes pela peneira de 75 mm, mas são retidos na abertura de malha de 4,75 mm. Ambos devem atender às especificações constantes na NBR 7211:2009

2.1.3.2 Poliestireno Expandido

A sigla EPS vem da nomenclatura em inglês: *expanded polystyrene*. Segundo BNDES (2002), é uma das três formas pelas quais o Poliestireno é comercializado:

Cristal ou Standard, Poliestireno Expandido (EPS) ou Poliestireno de Alto Impacto (HIPS).

O material consiste em uma sólida espuma que pode ser obtida com a expansão da resina de poliestireno, que ocorre durante sua polimerização com aquecimento. Essa expansão é possível graças a presença de alguns agentes como os hidrocarbonetos criogênicos. Com o aumento da temperatura os gases expandem e tendem a se evadir dos grânulos, fazendo com que esses aumentem de volume e tenham sua densidade diminuída (THENÓRIO, 2017).

O Poliestireno expandido é um produto granular feito à base de petróleo. Segundo Knauf (s.a.) é composto 98% de ar e apenas 2% de plástico. O processo de fabricação do material é pouco agressivo ao meio ambiente, a fabricação não gera resíduos sólidos, não emite gases poluentes, tem baixo consumo de água o produto é inerte e estável, além de ser 100% reciclável.

O EPS pode ser dividido em dois grandes grupos, o tipo Recortado e o tipo Moldado. Os recortados são aqueles disponibilizados em formato de placa, e possuem densidade que varia entre 10 e 35 kg/m³. Já os moldados são aqueles que já são produzidos com um formato definido para uma aplicação específica (capacetes, caixas e garrafas térmicas, etc.), e o intervalo de sua densidade é de 16,5 a 90 kg/m³.

Dentro do grupo dos recortados ainda, é possível encontrar mais algumas classificações, de acordo com densidade, resistência à temperatura, propagação de chamas e pressão. A classe F, por exemplo, possui a característica de retardamento de fogo, já a classe T não contém essa propriedade. Além dessas, ainda existe o tipo C.P.

Fora dos dois grandes grupos, existe também a possibilidade de utilização do Poliestireno Expandido no formato de pérolas individuais pré-expandidas, que será o tipo utilizado neste trabalho.

2.2 Concreto Leve com EPS

Os concretos leves, de acordo com Neville (2013) são os concretos cuja massa específica não excede os 1840 kg/m³. Além disso, o concreto leve para alvenaria possui massa específica usualmente compreendida entre 500 e 800 kg/m³,

bem como resistência entre 7 e 14 MPa. Já a definição trazida pela NBR 12655:2022 diz que o concreto leve é aquele que possui massa específica seca que não ultrapassa os 2000 kg/m³.

O termo Concreto Leve é designado na identificação de concretos com estrutura porosa, usualmente sendo compostos por ligantes hidráulicos, tendo massa específica inferior à convencional e podendo ser obtidos através da utilização de agregados leves, como diz Carvalho (2019). Devido à baixa massa específica, o concreto possibilita a redução das armaduras e da energia necessária nos processos de transporte e construção das obras. Ainda quando utilizado nas peças de vedação externas, o concreto leve também apresenta uma vantagem econômica, uma vez que causa uma diminuição na energia necessária para o condicionamento da temperatura dos ambientes internos da edificação.

Existem diferentes tipos de concreto leve, segundo Neville (p. 338, 2013), pode-se classificar os concretos leves de acordo com seus métodos de produção. O “Concreto com Agregados Leves”, como o nome diz, possui a inserção de agregados com massa específica menor que 2,6 g/cm³. O “Concreto Aerado”, Celular ou Espumoso se caracteriza pela inserção de vazios de grandes dimensões na mistura (maiores que os vazios da técnica do ar incorporado). Já o “Concreto Sem Finos” tem sua origem na exclusão dos agregados miúdos da mistura.

2.3 Peças pré-fabricadas

Segundo Vasconcelos (2002), a técnica da pré-moldagem é anterior até mesmo à moldagem *in-loco*. O princípio do concreto armado se deu com a aplicação de elementos produzidos fora de seu local de utilização, vindo a concretagem local a ser utilizada somente um tempo depois.

A NBR 9062 (2017) define um elemento pré-fabricado como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim[...]”. Ao passo que, elemento pré-moldado é definido no mesmo documento como “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura[...]”.

Algumas diferenças entre os elementos pré-moldados e os moldados *in-loco* são salientadas por El Debs (2017), os elementos pré-moldados são produzidos em

um local diferente do de sua utilização definitiva, dessa forma estão sujeitos à esforços singulares durante o seu transporte e manuseio. O controle de qualidade, em geral, é maior no caso dos pré-moldados quando comparado ao das estruturas usuais, porém nessas se faz necessário considerar as resistências iniciais do concreto, uma vez que o próprio mercado exige uma produtividade e velocidade na produção dos elementos.

2.3.1 Painéis de parede de concreto pré-moldado

A NBR 16475:2017 traz cinco possíveis classificações quanto aos painéis de parede pré-moldados. São elas com relação ao formato da seção transversal, quanto ao uso, quanto ao acabamento e quanto à função estrutural.

2.3.2 Forma da seção transversal

Segundo a seção transversal, os painéis em questão podem ser classificados como:

- Maciços: São aqueles em que a seção é predominantemente retangular.
- Alveolares: Os painéis que possuem a presença de nervuras de concreto e volumes internos vazados na seção, com geometria definida.
- Reticulado Misto: Composto por nervuras de concreto e volumes internos preenchidos com material inerte.
- Sanduíche: Possuem dois elementos maciços de placa de concreto, com um elemento de placa de material inerte entre eles.
- Nervurado: São painéis que possuem nervuras que extravasam a seção maciça do elemento para aumentar a sua rigidez.
- De parede dupla: Dois elementos de placa maciços conectados por nervuras de concreto ou treliças metálicas.

2.3.3 Uso da edificação

A classificação feita com relação ao uso dos painéis pode ser de natureza:

- Residencial
- Comercial
- Industrial

2.3.4 Acabamento

A classificação conforme o acabamento divide os painéis de parede em dois grupos: os Brutos e os Arquitetônicos, sendo o primeiro necessitado de algum procedimento de acabamento como pintura, gesso ou argamassa, enquanto o segundo já apresenta sua forma final de revestimento assim que é posicionado.

2.3.5 Comportamento Estrutural

Segundo o comportamento estrutural os painéis de parede pré-moldados também são classificados em dois grupos. Os painéis com função estrutural compõem a estrutura do edifício, atuam no suporte de esforços locais e globais e podem também exercer função de vedação.

Já os painéis sem função estrutural atuam apenas como elementos de vedação, selando e protegendo os ambientes internos da edificação contra as intempéries, e também podendo servir para o posicionamento dos elementos das instalações hidrossanitárias prediais. A aplicação visada no trabalho tem como alvo os painéis sem função estrutural.

3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002) pesquisa exploratória é aquela que visa estabelecer um maior conhecimento sobre um problema, de maneira que se possa facilitar sua compreensão e possibilitar o levantamento de hipóteses sobre, portanto, é nessa categoria que este trabalho se encaixa uma vez que busca esses objetivos sobre o concreto leve em pré-fabricados.

A classificação quanto ao procedimento técnico, se caracteriza como experimental, quando prima pela determinação de um objeto de estudo, a seleção das variáveis relevantes e a definição das formas de controle e observação da influência as variáveis no objeto. Como neste trabalho serão realizados experimentos a fim de determinar propriedades do concreto que dependem da variação no teor de EPS, a caracterização experimental é a que melhor lhe descreve.

A pesquisa pode ainda ser classificada como aplicada, visando agregar novos conhecimentos para o meio científico, e como sendo quantitativa, uma vez que a execução depende do registro dos valores discretos correspondentes às características dos traços (Richardson, 2012). A apresentação da abordagem é feita a seguir com o levantamento dos materiais e uma breve descrição de cada ensaio a ser realizado.

3.1 Materiais

É um fato conseqüente que a qualidade presente em um produto depende diretamente do material do qual ele é composto, e com o concreto não é diferente. Segundo Bauer (2008) diferentes materiais corresponderão à diferentes qualidades e aparências no resultado da execução, e cabe ao responsável técnico ter o conhecimento tecnológico de modo a obter a melhor aparência e a maior durabilidade possível.

Além desses fatores, deve-se considerar na hora da escolha dos materiais a viabilidade da execução, visando tornar possível e produtivo o processo de aplicação prática. Dessa forma, a escolha dos materiais que serão utilizados levará em consideração as variáveis aqui citadas.

O cimento utilizado foi o CII-F-32, uma vez que não foi possível o acesso ao CPV-ARI.

A areia média é classificada por Bauer (2008) como aquela que possui faixa granulométrica entre 0,6 e 2,4 mm, e é aquela que será utilizada neste trabalho por ter uma boa disponibilidade no mercado e ser frequentemente utilizada nas construções.

Brita 0 é uma classificação comercial que caracteriza os agregados graúdos que têm diâmetros nominais compreendidos entre 4,8 mm e 9,5 mm (MARQUES, 2019). Essa categoria está compreendida dentro da menor zona granulométrica permitida pela ABNT NBR 7211:2009 - Agregados para concreto - Especificação, porém essa granulometria de pequenas dimensões é interessante uma vez que se precisa de uma boa fluência do concreto para a moldagem do elemento de placa.

As principais características do EPS já foram citadas anteriormente no referencial teórico, porém há algumas particularidades a serem aplicadas que são importantes de serem ressaltadas. Foram utilizadas pérolas de poliestireno expandido devido à maior facilidade de produção do concreto leve em relação à utilização do material proveniente de peças trituradas. As pérolas possuem tamanho que varia de 2 a 10 milímetros, em média.

Ao contrário da argila expandida, o concreto leve produzido com EPS não demanda uma quantidade extra de água, porém a baixa densidade do material faz com que haja uma tendência de segregação, onde o poliestireno tende a ficar na superfície e os demais materiais descem. Para contornar essa dificuldade é necessário um concreto com uma boa coesão.

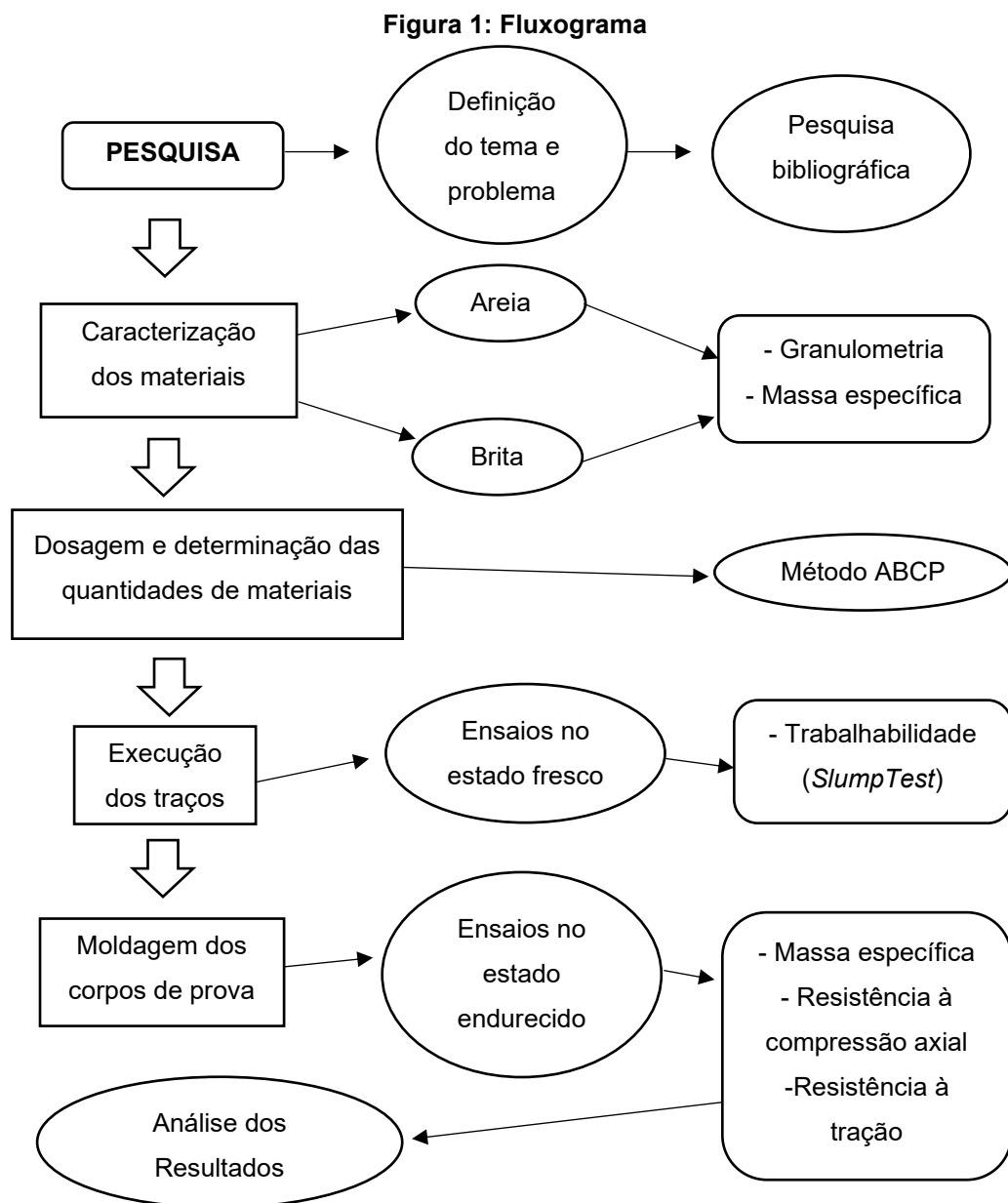
A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento público, que também é usualmente aplicada pelas empresas nos procedimentos de produção de concreto. Foi devidamente medida nas quantidades necessárias a cada traço. Ainda, a fim de se poder diminuir a relação água/materiais secos, foi aplicada uma dose de aditivo superplastificante em alguns traços (0% e 25% de EPS), para se uma melhor trabalhabilidade na mistura.

Também foi aplicada uma dose de cola branca escolar nos traços, proporcional à quantidade de EPS presente. O Poliestireno Expandido é um material impermeável, dessa forma, a conexão Agregado-Pasta que se dá através da infiltração nos poros dos agregados não é possível neste caso. Tendo isso em vista,

a cola branca atua para permitir a lidação das pérolas de EPS com os demais elementos da mistura.

3.2 Método

Nesta seção, serão brevemente descritos os ensaios que foram realizados em cada etapa do trabalho, e com quais materiais, de acordo com as respectivas normas ou metodologias. A seguir há um fluxograma organizacional (Figura 1) para facilitar a visualização dos procedimentos.



Fonte: Autor

No esquema consta a primeira fase da pesquisa, que se caracteriza como as considerações iniciais de tema e problema, seguidas do início da pesquisa bibliográfica. Na fase de caracterização dos materiais, foram realizados os ensaios de granulometria e massa específica para os agregados graúdo e miúdo.

Foram dosados e executados três traços diferentes, sendo um de referência e os outros dois com variações na porcentagem de EPS. Para o concreto fresco, o ensaio feito foi o de verificação da trabalhabilidade, e no estado endurecido foram feitos os ensaios de massa específica, resistência à compressão e resistência à tração. Cada experimento é descrito a seguir.

3.2.1 Composição granulométrica dos agregados

3.2.1.1 Granulometria da areia

O ensaio para a determinação da composição granulométrica é regido pela ABNT NBR 17054:2022. Foi colhida uma amostra do agregado de acordo com a NBR 16915:2021, e depois de umedecida e misturada com cuidado, separou-se em duas amostras para o ensaio, cada uma com massa mínima especificada na norma. As duas amostras foram secas em estufa, depois esfriadas até a temperatura ambiente e então tomadas as medidas das massas m_1 e m_2 .

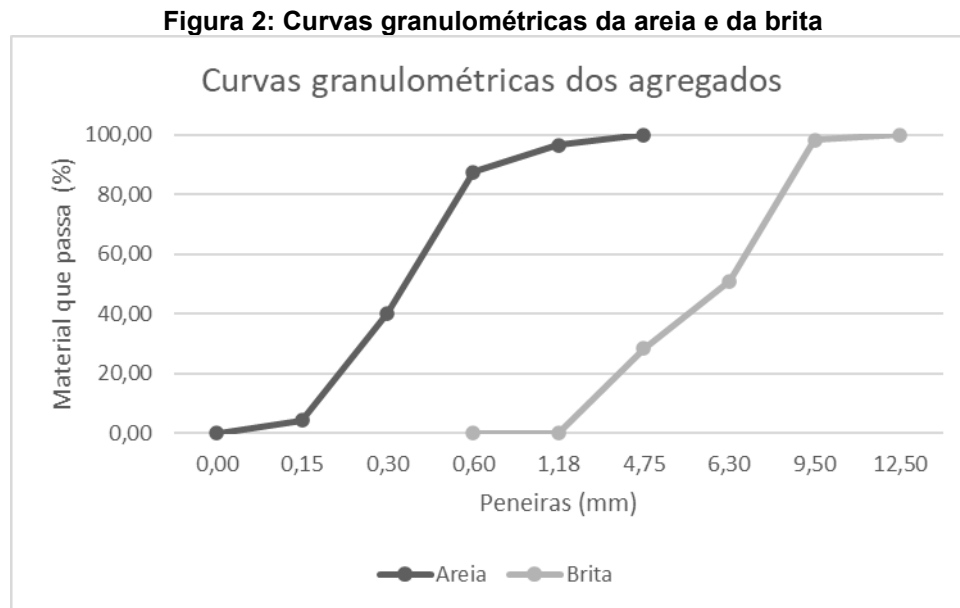
Procedeu-se conforme o item 5.2.10 da NM248:2001, agitando cada peneira individualmente e seguindo-se os itens de 5.2.6 a 5.2.9. Tomou-se nota então, dos pesos retidos em cada peneira.

O mesmo procedimento descrito foi realizado para a segunda amostra. Verificando-se que as duas amostras apresentaram a mesma dimensão máxima característica de 4,75 mm, e como a diferença de massa não ultrapassou os 4% nas outras aberturas de peneiras, concluiu-se que as amostras eram satisfatoriamente representativas. O módulo de finura registrado foi de 2,71.

3.2.1.2 Granulometria da brita

O procedimento para a determinação da composição granulométrica da brita segue os mesmos é análogo ao da areia, uma vez que segue a mesma norma. A dimensão máxima característica encontrada foi de 9,5 mm.

A curvas granulométricas dos agregados são apresentadas na Figura 2.



Fonte: Autor

3.2.2 Massa específica da areia

O procedimento para a determinação da massa específica do agregado miúdo foi feito de acordo com o Processo do Picnômetro, descrito na apostila de Materiais de Construção Civil - ECV – 5330 (p. 25) da Universidade Federal de Santa Catarina. Primeiramente foram tomadas três amostras de areia com cerca de 50 g cada, que foram previamente secas em estufa por 24h. Para cada uma, registrou-se sua massa m . Após isso, o picnômetro foi enchido com água até seu limite e aferiu-se a massa do conjunto picnômetro-água m_{H_2O} . Finalmente, retirou-se parte da água do frasco e a amostra de areia foi colocada dentro, medindo então a massa final do conjunto picnômetro-água-areia, m_{H_2O+a} . A massa específica da areia para cada amostra foi dada pela Equação 01:

$$\rho = \frac{m}{m_{H_2O} - (m_{H_2O+a} - m)} \quad (01)$$

A média dos valores registrados nos experimentos foram:

-m: 51,35 g;

- m_{H_2O} : 607,95 g;

- m_{H_2O+a} : 639,7 g;

Assim a equação 01 fica:

$$\rho = \frac{51,35}{607,95 - (639,7 - 51,35)}$$

$$\rho = 2,62 \text{ g/cm}^3$$

3.2.3 Massa específica da brita

Para a determinação da massa específica do agregado graúdo o procedimento a ser seguido é descrito na apostila de Materiais de Construção Civil - ECV – 5330 (p. 23) da Universidade Federal de Santa Catarina. A princípio, tomou-se 3 amostras de brita com cerca de 500 g cada, que foram previamente secas em estufa por 24h. Para cada uma, tomou-se as suas massas m . Com o auxílio de uma proveta plástica graduada, foi preenchido um certo volume de água $V1$ que foi registrado. Logo após, adicionou-se a amostra de brita à proveta e aferiu-se o novo volume $V2$ apresentado. A massa específica da brita em cada amostra é dada pela Equação 02:

$$\rho = \frac{m}{V2 - V1} \quad (02)$$

A média dos valores registrados nos experimentos foram:

- m : 505,4 g;

- $V1$: 500,0 ml;

- $V2$: 675,5 ml;

Assim, a equação 02 fica:

$$\rho = \frac{505,4}{675,5 - 500}$$

$$\rho = 2,88 \text{ g/cm}^3$$

3.2.4 Massa unitária da areia

Para encontrar a massa unitária da areia foi tomado um recipiente cilíndrico de 17 cm de diâmetro e 19 cm de altura, o qual foi preenchido completamente com o material. Com cuidado, regularizou-se a superfície superior do recipiente e foi registrada a massa correspondente à quantidade de areia contida no volume determinado, que foi igual a 6,00 kg. Assim, a massa unitária da areia é dada através da Equação 03:

$$\rho_{un} = \frac{m * 4 * 10^3}{\pi * d^2 * h} \quad (03)$$

Onde 'm' é a massa de areia contida no volume do recipiente em quilogramas, 'd' é o diâmetro do recipiente em centímetros e 'h' é a altura do recipiente em centímetros. Substituindo os valores, a Equação 03 fica:

$$\rho_{un} = \frac{6,00 * 4 * 10^3}{\pi * 17,0^2 * 19,0}$$

$$\rho_{un} = 1,39 \text{ kg/dm}^3$$

3.2.5 Massa unitária da brita

Para encontrar a massa unitária da brita foi tomado um recipiente cilíndrico de 17 cm de diâmetro e 19 cm de altura, o qual foi preenchido completamente com o material. Com cuidado, regularizou-se a superfície superior do recipiente e foi registrada a massa correspondente à quantidade de brita contida no volume determinado, que foi igual a 6,25 kg. Assim, a massa unitária da brita é dada através da Equação 04:

$$\rho_{un} = \frac{m * 4 * 10^3}{\pi * d^2 * h} \quad (04)$$

Onde 'm' é a massa de brita contida no volume do recipiente em quilogramas, 'd' é o diâmetro do recipiente em centímetros e 'h' é a altura do recipiente em centímetros. Substituindo os valores, a Equação 03 fica:

$$\rho_{un} = \frac{6,25 * 4 * 10^3}{\pi * 17,0^2 * 19,0}$$

$$\rho_{un} = 1,45 \text{ kg/dm}^3$$

3.2.6 Dosagem

A dosagem foi realizada seguindo-se o método ABCP. Levando-se em conta:

- A massa específica média do cimento de 3,0 kg/m³;
- A massa específica do agregado graúdo de 2,88 kg/m³, sua massa unitária de 1,45 kg/m³ e sua dimensão máxima característica de 9,5 mm;
- A massa específica do agregado miúdo de 2,62 kg/m³, sua massa unitária de 1,39 e o módulo de finura igual a 2,71;
- Desvio padrão de 4,0 MPa, considerando um controle rigoroso de produção;
- Para um fck = 25 MPa;

- Teor de argamassa de 55%;

A proporção de volume de material encontrada por metro cúbico de concreto foi de 0,143 m³ de cimento, 0,274 m³ de brita, 0,358 m³ de areia e 0,225 m³ de água. O consumo de cimento encontrado foi de 461,69 kg/m³. O consumo de água, de brita e de areia encontrados foram de 235 kg/m³, 790 kg/m³ e 895,19 kg/m³, respectivamente. Assim, o traço inicial de base para a confecção dos concretos foi de 1 : 1,71 : 1,94 : 0,51 (cimento, brita, areia, água).

Todos os concretos foram produzidos no canteiro de obras da UTFPR, em local coberto e protegido das intempéries, o registro da situação climática no momento da produção dos concretos é feita apenas para considerar uma possível influência da umidade do ar na velocidade de perda de água por evaporação das misturas, o que pode vir a refletir nos valores de trabalhabilidade de cada traço.

3.2.7 Execução dos traços

3.2.7.1 Traço Base

Considerando o volume de cada corpo de prova (10 cm de diâmetro/20 cm de altura) como aproximadamente 1,57 litros, um coeficiente de 1,15 para compensar as perdas, para 20 corpos de prova têm-se um volume de cerca de 36 litros. Com esses dados foi possível determinar a quantidade de materiais para a confecção do traço base, que incluiu 16,62 kg de cimento, 28,42 kg de brita, 32,24 kg de areia e 8,47 kg de água.

As condições climáticas no dia da produção do concreto com o traço de BASE (28/09) eram de tempo nublado. Apresentando uma baixa trabalhabilidade, optou-se por aplicar uma quantidade de 19,12 g de aditivo superplastificante, correspondendo a aproximadamente 0,1% da massa de cimento utilizada.

3.2.7.2 Traço com 25% de substituição

Para estipular o traço com substituição de 25%, o volume de EPS foi encontrado tomando-se $\frac{1}{4}$ do valor do volume de brita por metro cúbico de concreto, o novo volume de brita então corresponde aos $\frac{3}{4}$ restantes do volume original, multiplicando-se esses $\frac{3}{4}$ pela massa unitária da brita é possível obter o valor em

quilogramas. Já o volume de cola branca foi tomado como 5% do volume calculado de EPS. Essa relação foi feita para um metro cúbico de concreto, depois com uma regra de três foi possível determinar a quantidade necessária para executar os 36 litros previstos.

As condições climáticas no dia da produção do concreto com o traço com substituição de 25% (29/09) eram de tempo chuvoso. Todos os materiais foram medidos em massa para a confecção do traço, exceto o EPS, a cola branca e o superplastificante. Assim, o traço com 25% de substituição demandou inicialmente as quantidades de 16,62 kg de cimento, 21,34 kg de brita, 32,24 kg de areia, 8,47 kg de água, 0,02 kg de superplastificante, 4,90 litros de EPS e 0,24 litros e cola branca.

Porém, durante a execução do traço, ao adicionar cerca de 62% da quantidade planejada de superplastificante (11,9 g) a mistura apresentou uma fluidez excessiva, impossibilitando inclusive a execução do ensaio de trabalhabilidade. Frente a isso, foi calculado um adicional dos outros materiais, de maneira que a quantidade de aditivo adicionada correspondesse à 0,05% da massa de cimento da mistura.

As quantidades adicionais de material foram de 7,4 kg de cimento, 10,4 kg de brita, 12,2 kg de areia, 3,6 kg de água e 2,4 litros de EPS. Não foi feito um adicional de cola branca, visto que o EPS já apresentava uma boa interação com a mistura. Dessa maneira, o concreto demonstrou uma ótima trabalhabilidade, juntamente com uma boa coesão.

3.2.7.3 Traço com 50% de substituição

Para se obter o traço com 50% de substituição, o volume de EPS, bem como o volume de brita que foi utilizado neste traço, foram tomados como $\frac{1}{2}$ do volume inicial de brita calculado no traço de base, por metro cúbico de concreto. Analogamente ao traço anterior, multiplicando pela massa unitária do agregado graúdo e com o auxílio de uma regra de três foi possível determinar as quantidades dos dois materiais necessárias para se executar o traço.

Devido à boa trabalhabilidade apresentada pela mistura na hora da rotação do traço, optou-se por não adicionar o superplastificante no concreto com 50% de substituição de volume de brita por EPS.

3.2.8 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade foi medida de acordo com a ABNT NBR 16889:2020 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O ensaio consiste na moldagem do corpo experimental colocando-se o concreto no molde com as características pré-determinadas em norma. A moldagem é feita em 3 camadas, intercalando 25 golpes com a haste metálica. A superfície superior é então regularizada com auxílio de colher e o molde metálico é cuidadosamente retirado de forma que a massa possa ter seu assentamento de maneira mais uniforme possível. É medida, em cm, então a diferença de altura entre o suporte metálico e o ponto médio do topo da massa.

3.2.9 Concreto – Resistência à compressão axial

A determinação da resistência à compressão axial é feita de acordo com a ABNT NBR 5739:2018 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Os corpos de prova devem estar de acordo com a NBR 5738:2015, o diâmetro a ser utilizado para o cálculo da área da seção transversal deve ser obtido através da média dos dois diâmetros medidos ortogonalmente no ponto médio do comprimento da altura do corpo de prova. A altura foi determinada medindo-se sobre o eixo longitudinal, incluindo o capeamento.

Antes do ensaio as superfícies de contato da máquina e do corpo de prova devem ser limpas e secas, e os eixos devidamente alinhados. O carregamento aplicado durante o ensaio se manteve contínuo e com velocidade de aplicação constante de 0,46 +/- 15 MPa/s. Parou-se o carregamento quando o registro apresentou queda na força, indicando a ruptura. A resistência à compressão axial é dada pela Equação 05:

$$f_c = \frac{4 * F}{\pi * d^2} \quad (05)$$

Onde 'fc' é a resistência à compressão em MPa, 'F' é força máxima atingida no ensaio, em Newtons, e 'd' é o diâmetro do corpo de prova em milímetros.

3.2.10 Concreto – Resistência à tração

A resistência à tração pode ser estimada de acordo com o ensaio da ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. O procedimento de

determinação do diâmetro e da altura dos corpos a serem utilizados nos cálculos é análogo ao do ensaio anteriormente citado de compressão de corpos cilíndricos. Para a execução do ensaio traçou-se duas retas diametraais, uma em cada face circular do corpo de prova, de maneira que se configurem no mesmo plano axial. O posicionamento do corpo na máquina foi feito de forma que as linhas marcadas coincidam paralelamente com o eixo de atuação da carga aplicada.

O conjunto foi ajustado de maneira que a compressão dos pratos com os outros elementos garantisse o posicionamento correto do corpo de prova. A aplicação da carga foi contínua e sem choques, com velocidade constante de aproximadamente 0,05 (+/-2) MPa/s até a ruptura. A resistência à tração pode ser obtida utilizando a Equação 06:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 * F}{\pi * d * l} \quad (06)$$

Onde 'F' é a força máxima encontrada no ensaio, em Newtons, 'd' e 'l' são o diâmetro e o comprimento do corpo medido em mm, respectivamente.

3.2.11 Concreto – Massa específica da amostra seca no estado endurecido

O ensaio para determinação da massa específica da amostra seca foi baseado nos conceitos da ABNT NRB 9778:2005. Foram deixados dois corpos de prova de cada traço, durante 48 h em estufa à 100°, e então tomadas as medidas de massa em quilogramas de cada um. Também foram tomadas duas medidas de planos ortogonais de diâmetro que tem como intersecção o eixo axial do corpo, e duas medidas de altura para cada amostra. Dessa forma, a massa específica da amostra seca foi dada pela Equação 04:

$$\rho_s = \frac{4 * m_s}{\pi * d^2 * h} \quad (04)$$

Onde 'ρ_s' é a massa específica da amostra seca, 'm_s' é o valor da massa da amostra seca em quilogramas, 'd' é a média dos dois valores de diâmetros medidos, e 'h' é a média dos dois valores de altura medidos.

3.2.12 Fator de eficiência do concreto

O fator de eficiência é definido como a relação entre a resistência à compressão axial e a massa específica do concreto. O valor pode ser obtido através da Equação 05:

$$FE = \frac{f_c}{\rho_s} \quad (05)$$

Onde 'FE' corresponde ao valor do fator de eficiência (MPa.dm³/kg), 'f_c' é a resistência à compressão axial (MPa) e 'ρ_s' é a massa específica da amostra seca (kg/dm³).

3.2.13 Teste T de Student

Um teste estatístico que verifica a validade da diferença nos valores das propriedades de duas amostras. Segundo WALPOLE (2009), suas aplicações podem ser com relação a inferências sobre a média populacional ou sobre a diferença entre duas médias populacionais, que é o caso em questão.

Foi executado com o auxílio do software Microsoft Excel, que também dispõe da função Teste F, necessário para verificar se as variâncias das amostras testadas devem ser consideradas iguais ou diferentes. Foi utilizado um nível de confiança de 95%, sem pareamento, em modelo bicaudal e com variação homoscedástica (amostras com variância igual), uma vez que foi o indicado por todos os testes F realizados.

4 RESULTADOS

4.1 Estado Fresco

4.1.1 Trabalhabilidade

Realizando-se o ensaio de trabalhabilidade de acordo com a NBR 16889:2020, foram obtidos os valores, em cm, de 7 para o traço de base, 20 para o traço de 25% e 11 para o traço de 50%. Vale ressaltar, que no traço de base foi utilizada uma quantidade de plastificante correspondente à 0,1% da massa de cimento, no traço com 25% de EPS foi utilizada 0,05% e no traço de 50% não foi utilizada dose alguma de aditivo superplastificante.

Comparando o traço de base com os traços que tiveram a presença de Poliestireno Expandido, percebe-se que a adição de EPS juntamente com a cola branca proporcionou um aumento na trabalhabilidade da mistura, sem comprometer sua coesão entre partículas. Não houve segregação, o que pode ser observado analisando o interior dos corpos de prova que foram rompidos por compressão diametral, como mostra a Figura 3.



Fonte: Autor

As demais características do concreto no estado fresco não tiveram alterações significativas entre os traços.

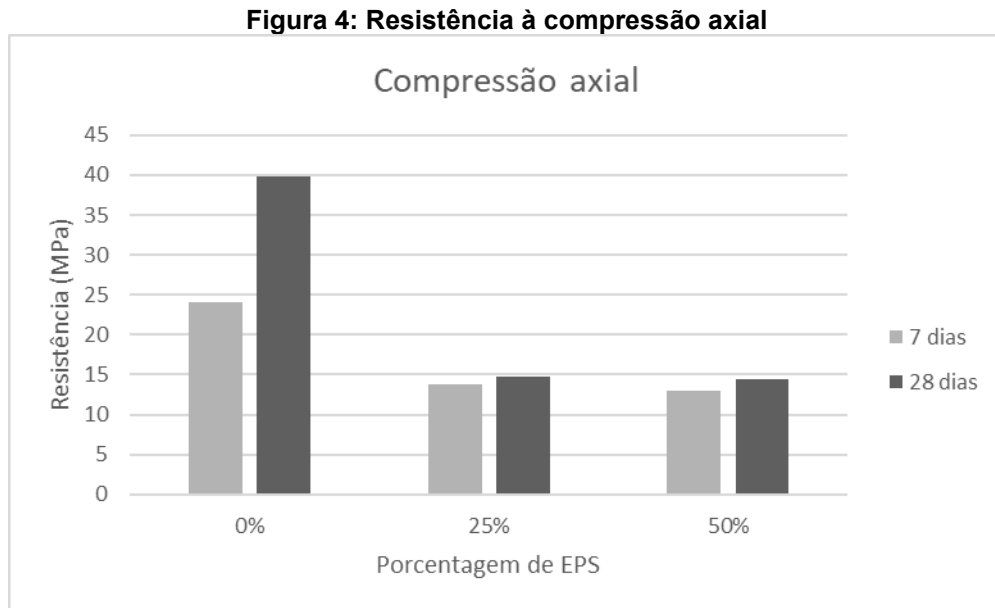
4.2 Estado Endurecido

Visando preservar a representatividade dos dados, foi estabelecido como regra o descarte do valor mais discrepante dentre as três amostras dos ensaios de

resistência (Tração e Compressão), para aquele traço que apresentar desvio padrão com valor superior a 1,0 MPa.

4.2.1 Compressão axial

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial estão representados na Figura 4.



Fonte: Autor

Foram encontrados os valores médios de resistência à compressão axial aos 7 dias de 20,35 MPa para o traço de base, 13,84 MPa para o traço com substituição de 25% de EPS e 13,00 MPa para o traço com substituição de 50% de EPS. O desvio padrão populacional encontrado para cada traço, em MPa, foi de 5,24 para o traço de base, 0,45 para o traço com 25% de EPS e 0,28 para o traço com 50% de EPS. Dessa forma, como o valor do desvio padrão para o traço de base foi superior a 1,0 MPa, foi descartado o valor mais discrepante dentre as três amostras e a resistência média à compressão foi recalculada para o traço, obtendo o valor de 24,03 MPa.

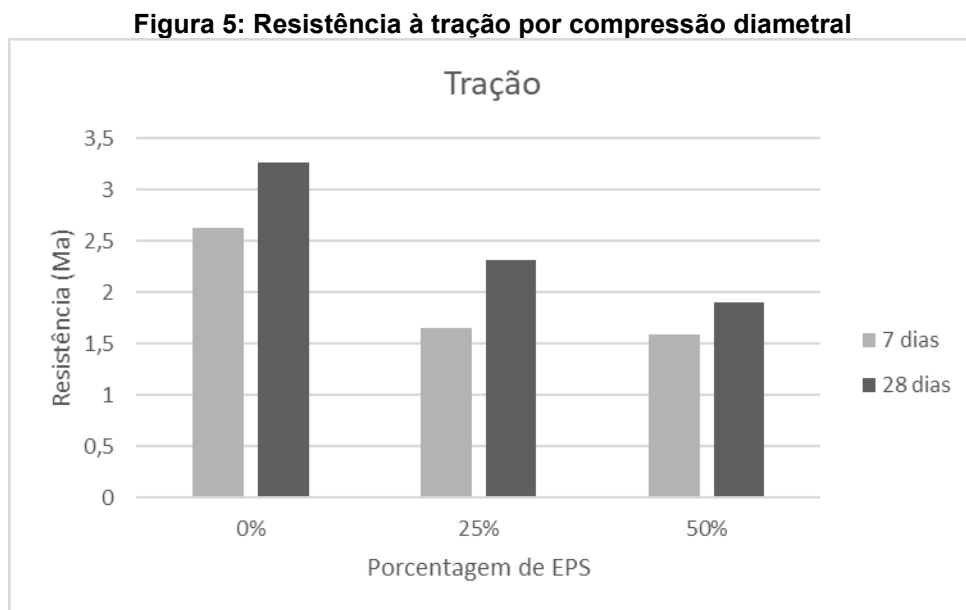
Aos 28 dias, foram encontrados os valores médios de resistência à compressão axial, em MPa, de 32,48 para o traço de base, 14,68 para o traço com 25% de EPS e 13,23 para o traço com 50% de EPS. O desvio padrão populacional encontrado para cada traço, em MPa foi de 10,35 para o traço de base, 0,17 para o traço com 25% de EPS e 1,83 para o traço com 50% de EPS. Assim sendo, foram descartadas as amostras com valores mais discrepantes dos traços de base e de 50%

de EPS. Dessa forma, as novas médias, em MPa, foram de 39,80 para o traço de base e 14,40 para o traço com 50% de EPS.

Nos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial foi aplicado o teste t de Student entre valores de dois traços por vez. Dessa forma, os testes feitos entre o traço base e 25%, e entre traço base e 50% apontaram que as resistências à compressão axial desses traços apresentam de fato uma diferença significativa. Por outro lado, o mesmo não aconteceu com o teste entre 25% e 50%, o qual aceitou a hipótese nula de igualdade entre as resistências. Em suma, tanto aos 7 quanto aos 28 dias as resistências à compressão dos traços de 25% e 50% são estatisticamente iguais.

4.2.2 Compressão diametral

Os resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral estão representados na Figura 5.



Fonte: Autor

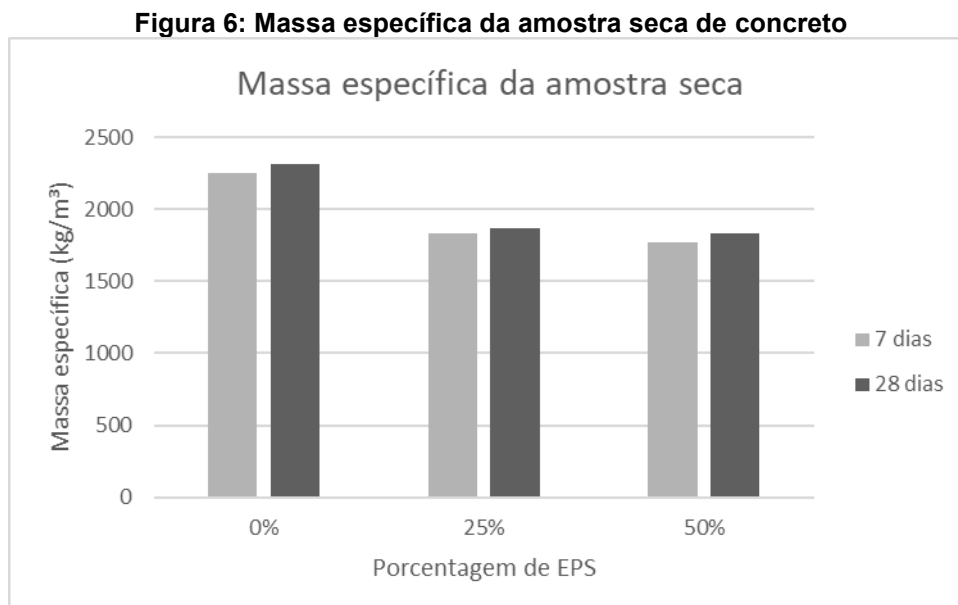
Foram encontrados os valores médios de resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias de 2,62 MPa para o traço de base, 1,65 MPa para o traço com substituição de 25% de EPS e 1,59 MPa para o traço com substituição de 50% de EPS. O desvio padrão populacional encontrado para cada traço, em MPa, foi de 0,34 para o traço de base, 0,34 para o traço com 25% de EPS e 0,12 para o traço com 50% de EPS. Dessa forma, como não houve valores de desvio padrão superiores à 1 MPa, todas as amostras foram consideradas.

Foram encontrados os valores médios de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de 3,26 MPa para o traço de base, 2,32 MPa para o traço com substituição de 25% de EPS e 1,90 MPa para o traço com substituição de 50% de EPS. O desvio padrão populacional encontrado para cada traço, em MPa, foi de 0,34 para o traço de base, 0,39 para o traço com 25% de EPS e 0,08 para o traço com 50% de EPS. Como não houve valores de desvio padrão superiores à 1 MPa, todas as amostras foram consideradas.

Para o ensaio de tração feito por compressão diametral, percebe-se que a influência da variação da quantidade de EPS adicionada foi mais significativa nos resultados. Aplicando o teste t nesses valores, da mesma maneira que se procedeu nos dados do ensaio de compressão axial, concluiu-se que há diferença significativa apenas quando se compara o traço de base com o traço de 50%. O teste entre o traço base e o traço de 25%, e o do traço de 25% com o de 50% não apresentaram diferença estatisticamente significante entre os valores de resistência à tração.

4.2.3 Ensaio de massa específica da amostra seca

Os resultados obtidos nos ensaios de massa específica estão representados na Figura 6.



Fonte: Autor

Aos 7 dias foram encontrados os valores médios de massa específica, em kg/m³, da amostra seca de 2249,27 para o traço de base, 1836,31 para o traço com 25% de EPS e 1769,23 para o traço com 50% de EPS. Dessa forma, os traços com a

presença de EPS aos 7 dias se encaixam na classificação de concreto leve, tanto na definição de Neville (2013) quanto da NBR 12655 (2022).

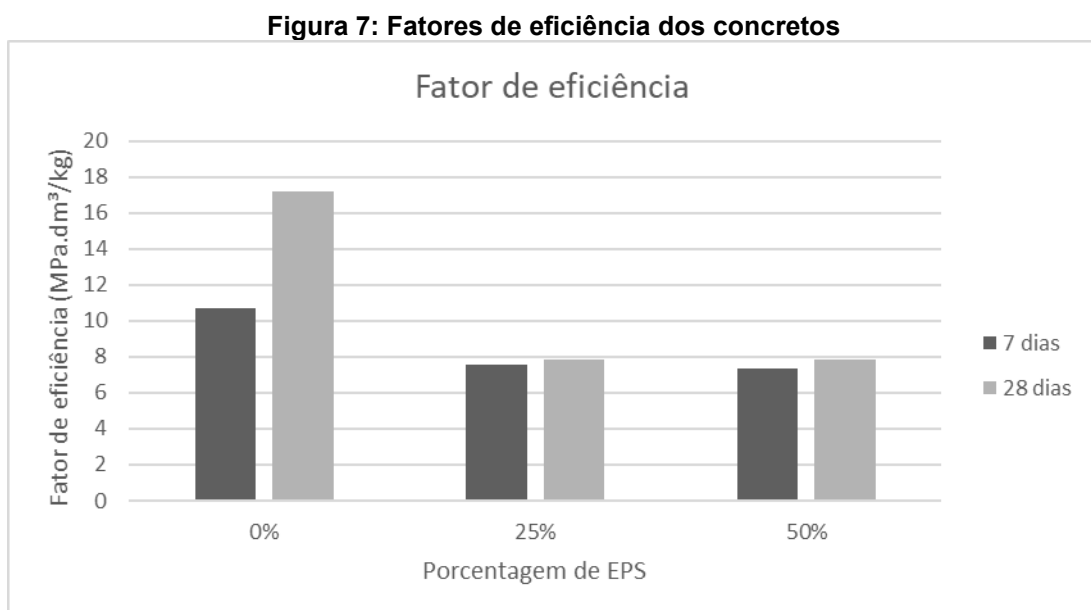
Para a idade de 28 dias foram encontrados os valores de massa específica, em kg/m^3 , de 2311,35 para o traço de base, 1874,06 para o traço com 25% de EPS e 1829,90 para o traço com 50% de EPS. Dessa forma, aos 28 dias os dois traços que possuem a presença de Poliestireno Expandido em sua composição podem ser classificados como concreto leve segundo a NBR 12655 (2022). Já para a definição de Neville (2013), apenas o traço de 50% estaria nessa classificação.

A massa específica das amostras, analogamente à resistência à compressão axial evidenciou a semelhança entre os traços de 25% e 50% de EPS, e a diferença desses para com o traço de base. Enquanto a diferença média, considerando as duas idades, entre os traços de 25% e 50% foi cerca de 56 kg/m^3 , a diferença do traço de base para o traço de 25% foi de aproximadamente 425 kg/m^3 .

Realizando o teste t, com os mesmos critérios utilizados nos experimentos anteriores pôde-se concluir que como na resistência à compressão axial, os traços de 25% e 50% de EPS não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si, mas a diferença existe quando ambos são comparados com o traço de base.

4.2.4 Fator de eficiência do concreto

As relações dos fatores de eficiência de cada traço, por idade, estão representadas na Figura 7.



Fonte: Autor

Para os 7 dias, foram encontrados os valores de fator de eficiência, em MPa.dm³/kg, de 10,69 para o traço de base, 7,54 para o traço de 25% e 7,35 para o traço de 50%. Já para a idade de 28 dias foram os valores foram de 17,21 para o traço de base, 7,84 para o traço de 25% e 7,87 para o traço de 50%.

5 CONCLUSÕES

Os valores de resistência obtidos nos ensaios do estado endurecido feitos neste trabalho apresentam uma significativa diferença quando comparados aos obtidos por GONÇALVES (2018). Essas diferenças podem ser devidas às diferentes porcentagens de EPS utilizadas, as condições do processo produtivo dos concretos, critérios diferentes de dosagem no método ABCP ou materiais distintos entre os dois trabalhos. Como algumas dessas informações não estavam presentes no trabalho de GONÇALVES (2018), não foi possível replicar com precisão seu método afim de se obter uma comparação equilibrada, mas de maneira geral, pode-se fazer uma análise considerando o comportamento dos dados entre os diferentes traços nos dois trabalhos.

GONÇALVES (2018), em seu trabalho obteve os valores médios de resistência à compressão axial aos 7 dias de 8,99 MPa para o traço de base, 6,31 MPa para o traço com substituição de 20% de EPS, e 4,73 MPa para o traço com substituição de 40% de EPS. Aos 28 dias, obteve 32,33 MPa para o traço de base, 18,82 MPa para o traço com 20% e 13,46 MPa para o traço com 40% de substituição. Percebe-se que apesar da diferença entre os valores, eles apresentam a mesma progressão esperada, de diminuição de resistência conforme o aumento da quantidade de EPS adicionada.

Enquanto o traço base com adição de superplastificante na medida de 0,1% da massa de cimento atingiu um *Slump* de 7 cm, com metade dessa quantidade o traço de 25% de adição de EPS obteve mais que o dobro do valor do abatimento (20 cm), e sem precisar de aditivo o traço de 50% atingiu a medida de 11 cm. O aumento de trabalhabilidade proporcionado pela adição do EPS indica que esse tipo de concreto leve possui uma boa capacidade de preenchimento de fôrmas, o que é muito importante para uma produção de elementos pré-fabricados de qualidade, sem segregação de materiais e sem “bicheiras”.

Em geral, comparando os traços 25% e 50% entre si, a substituição do volume agregado graúdo por EPS não alterou significativamente a resistência à compressão axial, a resistência à tração e nem a massa específica do concreto, nas duas idades testadas. Porém houve diferença nessas propriedades quando se comparou esses dois traços com o traço de base, com exceção da tração aos 28 dias.

Aos 28 dias a resistência à tração demonstrou igualdade estatística na comparação entre os traços, exceto para aquela feita entre o traço de base e o com 50% de substituição.

Com relação ao traço de base, em ambos traços com presença de EPS houve um decréscimo nos valores médios da resistência à compressão axial, resistência à tração e massa específica, nas duas idades registradas, como esperado;

Analisando o Fator de Eficiência, percebe-se que entre a idade de 7 e 28 dias, o traço de base teve um aumento de 6,53 MPa.dm³/kg, o traço com 25% aumentou 0,30 MPa.dm³/kg. e o traço com 50% de substituição teve um aumento de 0,52 MPa.dm³/kg. Essa diferença se deve ao fato de que os traços com a presença de EPS não apresentaram um ganho significativo de resistências entre os 7 e os 28 dias, o que vai de encontro à análise estatística do teste T realizado, que indicou que as resistências à compressão e as massas específicas na mesma idade não apresentaram diferença significativa entre os traços de 25% e 50% de substituição.

Os traços com presença de EPS testados neste trabalho se apresentam com boas propriedades para a aplicação prevista, nos painéis de parede de concreto pré-moldado sem fins estruturais, podendo reduzir a massa específica das peças.

Uma recomendação para trabalhos futuros é fazer a moldagem dos elementos de placa propriamente, e testar os diferentes traços com relação ao desempenho térmico e acústico, a fim de se determinar os possíveis benefícios envolvidos com essas propriedades.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, p. 5. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16475**: Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, p. 61. 2017.

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, p. 4. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, p. 9. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, p. 9. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, p. 9. 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, p. 86. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, p. 12. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 6. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados: Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 5. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16915**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, p. 8. 2021.

BAROM, Natália. DE FREITAS, Gabriel Sousa. Poliestireno expandido (EPS) utilizado na fabricação de concreto. In: **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 5., 2016, Bento Gonçalves – RS. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Freitas-20/publication/348192556_Poliestireno_expandido_EPS_utilizado_na_fabricacao_de_concreto/links/5ff358e9299bf140886ff361/Poliestireno-expandido-EPS-utilizado-na-fabricacao-de-concreto.pdf>

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**, 1. 5^a ed. americana. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

WALPOLE, Ronald E. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**, 1. 5^a ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Aspectos Gerais do Poliestireno**. Rio de Janeiro, 2002. Publicação disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2350>>. Acesso em: 16 mai. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 35 – Trabalho em altura**. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-35-nr-35>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

CARVALHO, Carlos H. R. MOTTA, L. A. C. Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado. **Revista Ibracom de Estruturas e Materiais**. Uberlândia, Volume 12, número 6, p 1390 – 1407. Dezembro de 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/riem/a/FhVTDyJnL6tkCkJnznyPCFH/?lang=en>>. Acesso em: 26 mai 2022.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=7Ls6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=info:Rf9Wp-w9GxsJ:scholar.google.com&ots=A86vQEMy3m&sig=EaQMcuOIE0b-o2GI9y-OosYSfq4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 29 mai 2022.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, Alex. **Desempenho do Concreto Leve com Adição de EPS**. Orientador: Kamille da Costa Tomim. 2018. 9 folhas. Trabalho Final de Curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Paranaense - Câmpus de Toledo/PR. 2018. Disponível em: <https://tcc.unipar.br/pt-br/pages/tcc_home/page:13>. Acesso em: 14 de março de 2022.

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. IBRACON. 2010

KNAUF. ISOPOR. STYROCORTE. **EPS Isopor: Da produção ao descarte**. *E-book*. s.a. Disponível em: <<https://mkt.mundoisopor.com.br/ebook-eps-isopor-da-producao-ao-descarte-conversao>>. Acesso em: 16 mai 2022.

MARQUES. Gabriel M. **Tipos de BRITAS e diferenças da 0, 1, 2 e 3, 4, 5, pedrisco...** *site* Meia Colher. 2019. Acesso em: 12 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.meiacolher.com/2019/02/tipos-de-britas-e-diferencas-da-0-1-2-e.html>>.

MEHTA, Povindar Kumar. MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Avelino; SEIXAS, Paulo Castro; FARIA, Luís Pinto. **A Casa e as suas Casas**. 2013.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2012.

SERRA, S.M.B, FERREIRA M. de A. e PIGOZZO, B.N. Evolução dos Pré-fabricados de Concreto. In: **Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado**, 1., 2005, São Carlos.

SILVEIRA, Cristiane Aparecida. ROBAZZI, Maria Lúcia do Carmo Cruz. WALTER, Elisabeth Valle. MARZIALE, Maria Helena Palucci. Acidentes de trabalho na construção civil identificados através de prontuários hospitalares. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 58(1), p.39-44, jan. mar. 2005.

THENÓRIO, Iberê. COMO É FEITO O EPS ISOPOR?. Manual do Mundo. **Youtube**, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=hClxJhJaMfc>>. Acesso em: 22 mai 2022.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para construção civil**. Balanço mineral brasileiro, v. 2001, 2001.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Np--KOO5KtgC&oi=fnd&pg=PA9&dq=VASCONCELOS,+A.+C.+\(2002\).+O+Concreto+no+Brasil:+pr%C3%A9-fabrica%C3%A7%C3%A3o,+monumentos,+funda%C3%A7%C3%B5es.+Volume+III.+Studio+Nobel.+S%C3%A3o+Paulo.&ots=dSKLr84vpR&sig=pFXRkR1Ciy6PDSkcuUhhWZdZX38#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Np--KOO5KtgC&oi=fnd&pg=PA9&dq=VASCONCELOS,+A.+C.+(2002).+O+Concreto+no+Brasil:+pr%C3%A9-fabrica%C3%A7%C3%A3o,+monumentos,+funda%C3%A7%C3%B5es.+Volume+III.+Studio+Nobel.+S%C3%A3o+Paulo.&ots=dSKLr84vpR&sig=pFXRkR1Ciy6PDSkcuUhhWZdZX38#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 30 mai 2022.

SIMM, Eduardo Bolicenha. teste t de student Excel. Eduardo Bolicenha Simm. **Youtube**, 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rhvUngTk7bs>>. Acesso em: 22 out 2022.