



FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE FERNANDÓPOLIS
FACULDADES INTEGRADAS DE FERNANDÓPOLIS

BRENO ALEF DE JESUS LAZARETTI
EMERSON CALHAN MARTINS
MIGUEL ALVES PEREIRA NETO

CONCRETO COM A ADIÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

FERNANDÓPOLIS

2020

BRENO ALEF DE JESUS LAZARETTI

EMERSON CALHAN MARTINS

MIGUEL ALVES PEREIRA NETO

CONCRETO COM A ADIÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Fundação Educacional de
Fernandópolis para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Me. Renan
Fernandes Capellette.

FERNANDÓPOLIS

2020

Autorizamos a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE FERNANDÓPOLIS
FACULDADES INTEGRADAS DE FERNANDÓPOLIS

Lazaretti, Breno Alef de Jesus

Martins, Emerson Calhan

Pereira Neto, Miguel Alves

Concreto com adição de poliestireno expandido, Fernandópolis, 2020; orientador: Professor Me. Renan Fernandes Capellette, Fernandópolis, 2020. (p.52)

Monografia (Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração: Ciências Exatas) - Faculdades Integradas de Fernandópolis.

1. Concreto. 2. Poliestireno Expandido (EPS).
3. Resistência à compressão. 4. Peso Próprio.

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRENO ALEF DE JESUS LAZARETTI

EMERSON CALHAN MARTINS

MIGUEL ALVES PEREIRA NETO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Fundação Educacional de
Fernandópolis para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 18/11/2020

Examinadores

Professor Me. Cleiton João Mendes

Instituição: Fundação Educacional de Fernandópolis

Curso: Engenharia Civil

Professor Me. Anna Beatriz Alves de Mello

Instituição: Fundação Educacional de Fernandópolis

Curso: Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus que nos deu saúde e nos possibilitou chegar até aqui, aos nossos pais e amigos que sempre nos deram apoio em busca dessa tão sonhada conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela oportunidade e sabedoria concedida a todos esses anos de batalha para essa sonhada conquista. Aos nossos pais, irmãos e esposa, o maior carinho e agradecimento por estarem ao nosso lado esse tempo, nos incentivando e nos ajudando a lutar para que esse dia chegasse. Agradecemos pelos conselhos que nos deram que só nos fizeram mais fortes para estarmos hoje aqui, pois vocês sempre nos ajudaram a seguir em frente mesmo quando achávamos que tudo daria errado.

Ao nosso orientador Prof. Me. Renan Fernandes Capellette, que ajudou para que todo este trabalho fosse concluindo com muita dedicação. Aos professores que aceitaram nosso convite para compor a banca examinadora, Prof.Me. Anna Beatriz Alves de Mello e Prof. Me. Cleiton João Mendes, o nosso carinho.

Agradecemos também todos que em qualquer momento se colocaram à disposição ou que, de forma direta ou indireta, nos ajudaram na nossa formação e na conclusão deste trabalho. Obrigado.

RESUMO

O Concreto é um material muito utilizado na construção civil, proveniente da mistura entre cimento, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), água e, eventualmente, algum aditivo. O presente trabalho tem como principal objetivo a análise da resistência e da redução do peso próprio do concreto, substituindo parcial ou totalmente o agregado graúdo por poliestireno expandido. Para isso, foram moldados 36 corpos de provas cilíndricos, conforme estabelece a NBR 5738/2015. O procedimento se deu pela moldagem de diversos corpos de prova cilíndricos que permaneceram 25 dias no tanque. Após este período, os mesmos foram retirados do tanque para que perdessem o excesso de água. Posteriormente ao período de vinte e oito dias de cura, foram realizadas compressões axiais simples por meio de uma prensa hidráulica, conforme estabelece as diretrizes da NBR 5739/2018, para verificar a resistência do concreto com e sem adição de poliestireno expandido.

Palavra Chave: Concreto. Poliestireno Expandido (EPS). Resistência à Compressão. Peso Próprio.

ABSTRACT

Concrete is a material widely used in civil construction, coming from the mixture between cement, coarse aggregate (gravel), fine aggregate (sand), water and, eventually, some additive. The present work has as main objective the analysis of the resistance and the reduction of the concrete's own weight, replacing partially or totally the coarse aggregate with expanded polystyrene. For this, 36 cylindrical specimens were molded, as established by NBR 5738/2015. The procedure took place by molding several cylindrical specimens and, after the 25 days of curing period, they were removed from the tank so that they would lose excess water. After the twenty-eight-day curing period, simple axial compressions were performed using a hydraulic press, as established by the guidelines of NBR 5739/2018, to check the strength of concrete with and without the addition of expanded polystyrene.

Keywords: Concrete. Expanded Polystyrene (EPS). Compression resistance. Own weight.

LISTA DE SIGLAS

ABIQUM – Associação Brasileira da Indústria Química

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ASTM - American Society for Testing and Materials

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CP – Corpo de Prova

EPS – Poliestireno Expandido

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Técnica Brasileira

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Cimento Portland	32
Figura 2: Pesagem do agregado miúdo	33
Figura 3: Coleta do agregado miúdo	33
Figura 4: Descarte irregular de isopor (poliestireno expandido)	34
Figura 5: Liquidificador	34
Figura 6: Isopor triturado (poliestireno expandido)	35
Figura 7: Medição da água	35
Figura 8: Betoneira utilizada	36
Figura 9: Raspagem do concreto preso	36
Figura 10: Slump Test – Concreto 100% EPS	36
Figura 11: Corpos de prova 1	39
Figura 12: Corpos de prova 2	39
Figura 13: Corpos de prova 3	40
Figura 14: Cura dos corpos de prova 2	40
Figura 15: Cura dos corpos de prova 2	41
Figura 16: Pesagem do corpo de prova	41
Figura 17: Prensa hidráulica manual utilizada	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil	22
Tabela 2 – Requisitos físicos e mecânicos	23
Tabela 3 – Traço Original (em Kg)	30
Tabela 4 – Traço com redução em 20%	31
Tabela 5 – Traço com redução em 35%	31
Tabela 6 –Traço com redução em 50%	31
Tabela 7 –Traço com redução em 75%	31
Tabela 8 – Traço com redução em 100%	31
Tabela 9 – Resultados da pesagem dos corpos de prova em Kg	42
Tabela 10 – Resultados dos ensaios de compressão de corpos de prova	44
Tabela 11 – Comparação dos resultados	46
Tabela 12 – Relação dos pesos específicos	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Peso x Relação %	42
Gráfico 2: Resultados dos ensaios de compressão de corpos de prova	44

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 JUSTIFICATIVA	16
2 OBJETIVOS	17
3 DESCARTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS	18
4 COMPOSIÇÃO E TIPOS DE CONCRETOS.....	20
4.1 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND.....	21
4.2 TIPOS DE CONCRETO E SUAS APLICABILIDADES.....	23
4.2.1 CONCRETO CONVENCIONAL	25
4.2.2 CONCRETO BOMBEÁVEL.....	25
4.2.3 CONCRETO ARMADO.....	26
4.2.4 CONCRETO PROTENDIDO.....	26
4.2.5 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL.....	26
4.2.6 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA.....	27
5 CONCRETO LEVE	28
6 TRAÇO DO CONCRETO	30
6.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	31
6.1.1 CIMENTO PORTLAND.....	31
6.1.2 AGREGADO MÍUDO.....	32
6.1.3 AGREGADO GRAÚDO.....	33
6.1.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	34
6.1.5 ÁGUA DE AMASSAMENTO.....	35
6.1.6 BETONEIRA.....	36
7 ENSAIOS E RESULTADOS	37
7.1 PROCEDIMENTO DE PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	37
7.2 ENSAIO DE ABATIMENTO DE CONSISTÊNCIA (<i>SLUMP TEST</i>)	37
7.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	38
7.3.1 CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	40
7.3.2 PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	41
7.4 ROMPIMENTO.....	43
8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	46
9 CONCLUSÃO	48
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

INTRODUÇÃO

Os seres humanos têm uma capacidade evolutiva de ampliar as mentes e de criar novos projetos e técnicas que possam melhorar cada vez mais a sua qualidade de vida, assim como as próprias moradias. Desde os primórdios, tem-se construído habitações de diferentes maneiras e materiais, como barro, palha, folhas, madeiras, tijolos, etc.

As áreas urbanas são caracterizadas pelas presenças predominantes do concreto e do asfalto e, em contrapartida, pouquíssima preocupação com a utilização de materiais e técnicas sustentáveis e que não cause impacto ao meio ambiente. Portanto, podem-se enumerar alguns fatores que apoiam o crescimento da crise ambiental: o crescimento populacional e, conseqüentemente, o processo de urbanização acelerado; o crescimento da demanda por recursos naturais, que por sua vez está ligado diretamente a um terceiro fator, que é o da quantidade de resíduos gerados e a forma como esses resíduos retornam ao meio ambiente. (ALMEIDA e COSTA, 2014).

Dentre esses resíduos, está o Poliestireno Expandido (EPS), proveniente da própria construção civil, de embalagens de eletrodomésticos, artigos de consumo, dentre outros. Algumas cidades brasileiras como São Paulo - SP e Curitiba - PR, possuem programas de coleta e reciclagem do EPS, o qual é utilizado para substituir parte do agregado graúdo para a produção do concreto leve e solado plástico para calçados (RICCHINI, 2016).

Segundo Ambrozewicz (2012), o concreto leve tem uma densidade que varia de 400 kg/m³ a 1.800 kg/m³. Para estrutura, a sua massa é de grande importância, pois possibilita a construção de elementos mais leves que, com isso, reduz o peso solicitante em sua fundação.

De acordo com Tessari (2006), o uso do Poliestireno Expandido na construção civil reduz prazo, custo e o consumo de energia em projetos arquitetônicos. Por se tratar de um excelente isolante térmico, o material faz com que sua aplicação na execução de projetos construtivos e arquitetônicos proporcione uma redução no consumo de energia que pode chegar a 30%.

O Poliestireno Expandido (EPS) vem sendo utilizado cada vez mais como material para construção civil, devido à sua baixa densidade e

capacidade de isolamento termo-acústico. Sua incorporação permite reduzir a potência de refrigeração dos sistemas de condicionares de ar, buscando maiores condições de conforto aliada à economia nos gastos anuais com energia elétrica. (TESSARI, 2006)

No Brasil, diferente de outros países, não existe ainda uma obrigatoriedade de isolamento térmico ou acústico nas construções, aplicações nas quais o EPS poderia ser usado. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014), no país, o consumo por habitante é de 0,49 kg. De acordo com dados contidos no portal do CREA-DF no Chile, onde há legislação que dita que as construções devam ter isolamento, foram consumidos, em 2012, 1,21kg de EPS por habitante, portanto, o Brasil tem espaço para avançar.

Diante do exposto, o poliestireno expandido em compostos cimentícios pode proporcionar uma redução dos gastos, pois diminui o consumo de insumos tradicionais e contribui com o meio ambiente em relação ao descarte. Aliás, a sua utilização é base de diversos estudos, pois, a sua resistência mecânica e a alta capacidade de reciclagem contribuíram com a leveza de estruturas, além de atender a requisitos de sustentabilidade (FERREIRA e RIBEIRO, 2008). Desta forma, este trabalho apresenta ensaios que possam contribuir para construções sustentáveis.

1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho justifica-se por meio do aumento exponencial das construções pelo mundo, já que a área da construção civil vem buscando meios sustentáveis de aliar custo-benefício a materiais mais ecológicos e que dialoguem harmoniosamente com o meio ambiente.

Dito isso, no concreto leve procura-se reduzir o peso do concreto convencional através da substituição parcial ou total do agregado graúdo pelo poliestireno expandido, proporcionando uma finalidade para um material pouco reutilizável, cujo tempo de decomposição é em torno de 150 anos, segundo dados coletados no site da Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz).

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo verificar e analisar a viabilidade da utilização do poliestireno expandido (EPS) na confecção do concreto, por meio da substituição parcial ou total do agregado graúdo por EPS.

Apresentar, dentre os de quesitos sustentabilidade e preservação do meio ambiente, um novo olhar para a implantação do material e a sua aplicabilidade na construção civil.

3 DESCARTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, essa Lei suscita a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado). Institui, também, a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo.

Segundo o WORLD WILDLIFE FUND (2008), se o Brasil não diminuir o consumo ou elaborar soluções para o descarte de resíduos, em 2030 não terá mais espaço o suficiente para ser sustentáveis, pois não haverá espaço para descartes de resíduos sólidos.

A Construção Civil, segundo Oliveira (2012), é caracterizada como atividade produtiva da construção que envolve a instalação, reparação, equipamentos e edificações de acordo com as obras a serem realizadas. O Código 45 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE, 2002) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relaciona as atividades da construção civil como as atividades de preparação do terreno, as obras de edificações e de engenharia civil, as instalações de materiais e equipamentos necessários ao funcionamento dos imóveis e as obras de acabamento, contemplando tanto as construções novas, como as grandes reformas, as restaurações de imóveis e a manutenção corrente. (OLIVEIRA, 2012.)

Outra questão importante que tem sido muito discutida nos últimos anos é a relação dos problemas ambientais causados pela elevada produção de lixo, o qual está associado ao crescimento da industrialização e da população mundial, vinculado ao consumismo exagerado. Se não houver um planejamento urbano, será

inevitável o surgimento de inúmeros problemas para a população em decorrência dos impactos da urbanização sobre o meio ambiente (PORTO, 1995).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos 2018/2019, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no Brasil, 2018, foram geradas 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Desse montante, 92% foram coletados, porém, 6,3 milhões de toneladas de resíduos ficaram sem ser recolhidos nas cidades brasileiras. Ainda de acordo com o a ABRELPE, boa parte dos resíduos de construção e demolição pode ser reciclada.

Os serviços de limpeza dos municípios coletaram, em 2018, 122.012 toneladas desse tipo de resíduo por dia, um pequeno recuo ante 2017. A queda, registrada em todas as regiões, foi mais acentuada no Centro-Oeste (2,35%) – justamente onde o volume por habitante é maior (0,824 quilo por dia). Destaca-se que tais dados referem-se à quantidade coletada pelos municípios. Como nessa área o responsável por recolher os resíduos é o gestor da obra, os números aqui apresentados refletem, em sua maioria, apenas aquilo que foi abandonado em vias e logradouros públicos. (ABRELPE, 2019).

Diante a esses problemas, começou a incorporar resíduos que eram consideráveis inutilizáveis ou sem aproveitamento em suas construções, para diminuir seus impactos ambientais (OLIVEIRA, 2012; BARBOSA et al, 2002).

Fica evidente que os profissionais da área de construção civil devem direcionar estudos e esforços na criação de mecanismos que possam reduzir o impacto desses descartes, uma vez que o setor é responsável, no Brasil, por cerca de 60% de todos os resíduos sólidos, e dessa totalidade, pelo menos 60% dava para ser reciclado, segundo Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2011).

A Construção Civil apresenta uma capacidade enorme de absorver os resíduos de EPS, proveniente de descartes de embalagens de produtos eletroeletrônicos, dentre outros, contudo as aplicações ficam restritas por falta de informações e de pesquisas que possam comprovar a viabilidade dessa aplicação. (TESSARI, 2006)

Tendo em vista os fatos acima mencionados, a falta de reaproveitamento destes materiais pode ocasionar um grande impacto ambiental no futuro.

4 COMPOSIÇÃO E TIPOS DE CONCRETO

Os concretos, com suas peculiaridades e aditivos químicos são aplicáveis às mais variadas finalidades. Ao se produzir uma mistura de concreto, especialmente de alto desempenho, a primeira escolha a ser feita é quanto ao tipo de cimento a ser empregado, isto porque seu desempenho em termos de reologia e de comportamento mecânico torna-se um item crítico à medida que a resistência à compressão desejada aumenta (GODFREY, 2000).

O cimento é constituído de um pó fino com propriedades aglomerantes que ao ser misturado com água, desencadeia uma reação química capaz de promover seu endurecimento, permanecendo estável mesmo quando submetido novamente à ação da água, por este motivo é classificado como um aglomerante hidráulico (AMBROZEWICZ, 2012).

Segundo a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2011), o concreto é um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas:

O aglomerante é o cimento em presença de água;
O agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição; se as partículas de agregado são maiores do que 4,75mm, o agregado é dito graúdo; caso contrário, o agregado é miúdo;
Os aditivos e adições são substâncias químicas adicionadas ao concreto em seu estado fresco que lhe alteram algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas (ASTM, 2011).

O Cimento Portland, é um dos materiais mais consumidos no segmento da construção civil nacional em função de suas propriedades aglomerantes, que, combinadas com os chamados “agregados” são capazes de proporcionar maior resistência a elementos construtivos além de outras características, como impermeabilidade e proteção da estrutura (ECIVIL, 1998).

Como afirma Seibt (2012), o cimento Portland é um produto de baixo custo quando comparado a outros tipos de cimento que exigem matéria-prima de alta pureza e por ser produzido a partir de grandes jazidas de argila e calcário. Além disso, ao ser processado em grandes quantidades, há grande chance de se ocorrer

mudanças significativas na composição utilizada por uma indústria. Para o autor supracitado, com o alto controle de qualidade estabelecidos pelas indústrias do ramo, a produção consegue atingir níveis mínimos de variabilidade na composição química do produto final.

4.1 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2020), são oito tipos de cimentos disponíveis no mercado para as suas mais diversas aplicabilidades. Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições, tais como escórias, pozolanas e fíler calcário, acrescentadas no processo de moagem. Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca, entre outras características e apresentações.

O Instituto Brasileiro do Concreto (2011) organizou, como demonstram as Tabelas 1 e 2 a seguir, os tipos de cimento Portland normalizados no Brasil, bem como suas siglas, classes, conteúdos, componentes e exigências físico-mecânicas dos cimentos segundo as normas brasileiras.

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil

Designação normalizada		Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozzolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum		CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
		CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno		CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozzolânico		CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático		CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno		CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozzolânico		CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V ^a	ARI		90 – 100	0	0	0 – 10
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 – 100	–	–	0 – 25
	Não estrutural		–		50 – 74	–	–	26 – 50

(*) No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozzolânicos.

Fonte:(NBR 16697: 2018)

Tabela 2- Requisitos físicos e mecânicos

Sigla ^a	Classe	Finura	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de brancura –
		Resíduo na peneira 75 μ m %			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I	25	$\leq 12,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	–
CP I-S									
CP II-E	32	$\leq 12,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	
CP II-F									
CP II-Z	40	$\leq 10,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$	
CP III	25	$\leq 8,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	–
CP IV	32	$\leq 8,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	–
	40	$\leq 8,0$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 12,0$	$\geq 23,0$	$\geq 40,0$	–
CP V	ARI	$\leq 6,0$	≥ 60	≤ 5	$\geq 14,0$	$\geq 24,0$	$\geq 34,0$	–	–
CPB Estrutural	25	$\leq 12^b$	≥ 60	≤ 5		$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	≥ 78
	32	$\leq 12^b$	≥ 60	≤ 5		$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	
	40	$\leq 12^b$	≥ 60	≤ 5		$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$	
CPB Não estrutural	–	$\leq 12,0^b$	≥ 60	≤ 5	–	$\geq 5,0$	$\geq 7,0$	$\geq 10,0$	≥ 82

(1) Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

(2) Resíduo na peneira 45 μ m.

Fonte:(NBR 16697: 2018)

O cimento Portland resistente a sulfatos deve atender aos requisitos químicos, físicos e mecânicos estabelecidos conforme seu tipo e classe originais e apresentar expansão menor ou igual a 0,03 %.

4.2 TIPOS DE CONCRETO E SUAS APLICABILIDADES

Segundo o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON, 2011), o concreto é um material compósito, constituído de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes origens.

O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de aditivos, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (BATTAGIN, 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (1994) e Neville (1997), as características dos agregados graúdos e miúdos afetam principalmente a estabilidade dimensional, resistência, durabilidade e trabalhabilidade dos concretos de cimento Portland, justificando o cuidado com sua escolha.

Muitas destas características dependem inteiramente das propriedades da rocha matriz, como por exemplo, composição química e mineralógica, características petrográficas, massa específica, dureza, resistência, estabilidade química e física e estrutura de poros. Por outro lado, existem características que, dentre outros fatores, dependem do tipo de britagem empregado, sendo elas: forma e textura superficial das partículas, absorção, tamanho e composição granulométrica do agregado. Todas estas propriedades podem ter influências na qualidade e desempenho do concreto, tanto no estado fresco como endurecido, e precisam ser estudadas. Os concretos, com suas peculiaridades e aditivos químicos são aplicáveis às mais variadas finalidades. A primeira escolha a ser feita para produzir uma mistura de concreto de alto desempenho é o cimento a ser utilizado, sendo devido isto ao seu desempenho em termos de reação e de seu comportamento mecânico, tornando se crítico à medida que a resistência a compressão desejada aumenta (GODFREY, 2000).

De acordo com a ABNT NBR 7211/2009 (Versão Corrigida: 2019), os agregados para concreto dividem-se da seguinte maneira:

Agregado Miúdo - Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 2, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1;

Agregado Graúdo – Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 6, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1

Série Normal E Série Intermediária De Peneiras - Conjunto de peneiras sucessivas, que atendem à ABNT NBR NM ISO 3310-1, com as aberturas estabelecidas;

Dimensão Máxima Característica - Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou

intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa;
 Módulo De Finura - Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100;

Agregado Total – Agregado resultante da britagem de rochas cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada, possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto a ser preparado com esse material. Os limites desta norma referentes ao agregado total devem atender aos critérios de ponderabilidade em massa entre os agregados graúdos e miúdos que o compõem. (ABNT NBR 72/12009 - Versão Corrigida: 2019).

Para tanto, os tipos de concretos resultantes das misturas citadas são: convencional, bombeável, armado, protendido, auto adensável, de alta resistência, pesado e, por último, o concreto leve que será explanado no Capítulo 5, sendo o principal objeto de estudo em questão.

4.2.1 CONCRETO CONVENCIONAL

De acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 12655/2015, a resistência do concreto convencional varia de 5,0 em 5,0 MPa, a partir de 10,0 até 40,0 MPa e seu abatimento (*Slump*) varia de 40 a 70 mm. O concreto simples é usado na fabricação de blocos de concreto; na construção de brocas de fundação; na construção de tubulações; no cimento de pisos etc. (BOTELHO, 2006).

4.2.2 CONCRETO BOMBEÁVEL

Bauer (2010) define que, para um concreto ser bombeável, deve possuir índice de abatimento de cone de Abrams situado entre 60mm e 160mm, incorporando fatores que influenciam a bombeabilidade do concreto, como tipo e granulometria dos agregados, quantidade de cimento e trabalhabilidade do mesmo.

Com sua alta fluidez, esse tipo de concreto permite que seja transportado por bombeamento via tubulações, sendo muito utilizado em grandes obras verticais, garantindo menos gasto de tempo com transporte e com adensamento do concreto, proporcionando menores gastos com mão de obra.

4.2.3 CONCRETO ARMADO

O concreto armado (concreto e armadura) que é o material composto formado por concreto e barras de aço, caso típico dos pilares, onde os dois se unem e resistem as forças de compressão e tração solicitante. De acordo com Andolfato (2002), este tipo de concreto apresenta vantagens a abundância de seus materiais disponíveis no planeta, além de ser mais econômico, bem como grande facilidade de moldagem, permitindo adoção das mais variadas formas; emprego extensivo de mão de obra não qualificada e equipamentos simples; elevada resistência à ação do fogo; grande estabilidade, sob ação de intempéries, dispensando trabalhos de manutenção; aumento da resistência à ruptura com o tempo; facilidade e economia na construção de estruturas contínuas.

4.2.4 CONCRETO PROTENDIDO

Mehta e Monteiro (1994) definem o concreto protendido que, pela tração de cabos de aço, são introduzidas pré-tensões de tal grandeza e distribuição, que as tensões de tração resultantes do carregamento são neutralizadas a um nível ou grau desejado. Como esse tipo de concreto é adequado para peças pré-fabricadas, a técnica pode ser utilizada para a fabricação na indústria e, posteriormente, ser transportada para a obra. Sua aplicabilidade é diversificada, sendo útil em construções e fabricações de pontes, viadutos, lajes e vigas de grandes edifícios; placas de fundação, entre outros.

4.2.5 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

A norma brasileira ABNT NBR 15823-1 (2017), aplicada ao concreto auto adensável, o define como:

[...] concreto que é capaz de fluir, auto adensar pelo peso próprio, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento". (ABNT NBR 15823-1/2017).

Para tanto, este tipo de concreto pode ser utilizado em estruturas pré-moldadas, pré-fabricadas, estruturas convencionais, blocos, pilares, lajes e vigas. Garantem maior resistência inicial e final, dão melhor acabamento final e durabilidade.

4.2.6 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

De acordo com Tutikan et al (2011), o concreto de alto desempenho é um material que apresenta "comportamento durante a utilização da construção em patamar mais elevado que os concretos convencionais". Isto é, atende satisfatoriamente às exigências requeridas pelo proprietário ou pelo usuário em conformidade com os projetistas da estrutura de concreto. "Entende-se por desempenho não apenas a resistência mecânica, mas também a trabalhabilidade, a estética, o acabamento, a integridade, e, principalmente, a durabilidade" (TUTIKAN et al, 2011).

5 CONCRETO LEVE

A definição de concreto leve, de acordo com a NBR 12664/2014 é aquela cuja massa específica é inferior à dos concretos convencionais, isto é, abaixo de 2000 kg/m^3 . E, ainda, de acordo com a NBR 6118/2014, o concreto leve é definido como o concreto endurecido que, quando seco em estufa, apresenta massa específica entre $0,8$ e $2,0 \text{ g/cm}^3$.

Rossignolo (2003) designa três métodos distintos para a utilização do concreto leve, sendo com a utilização de agregado leve, onde substitui-se total ou parcialmente os agregados convencionais por agregados leves; por meio de incorporação de ar, onde adiciona-se substâncias incorporadoras de ar à pasta de concreto; e a ausência de agregado miúdo, que resulta em concreto sem agregado fino.

A NBR NM 35/1995 estabelece que os agregados leves não devem possuir massa unitária no estado seco e solto acima de $1,12 \text{ g/cm}^3$ para os agregados miúdos e de $0,88 \text{ g/cm}^3$ para os agregados graúdos. A NBR 12655/2015 estabelece que os agregados leves devam apresentar massa específica igual ou menor que $1,80 \text{ g/cm}^3$.

O concreto leve pode ser obtido com grande padrão de qualidade em qualquer lugar do mundo, por ser um material de fácil moldagem, o que muito facilita os projetos arquitetônicos. Misturado em betoneiras (cimento, areia e as perolas de poliestireno), é depois moldado nas formas. Seu transporte é simples, utilizando carrinho de mão ou caminhão bomba, como um concreto convencional. Por tratar-se de um material leve, há uma grande facilidade em seu manuseio (STOCCO et al, 2009).

Ainda de acordo com Stocco et al (2009);

As pérolas de EPS servem como elementos de enchimento e devem ser incorporadas a elementos de maior peso (cimento e areia), para que se obtenha um concreto com maior resistência depois da cura. No processo de execução do concreto leve, a porcentagem de pérolas expandidas está entre 60 e 70% (sessenta e setenta por cento) do volume do concreto e o restante é mesclado pela estrutura do concreto, decisiva para porcentagem do consumo do cimento. O material concreto leve possui baixa condutividade térmica, não permite que o calor externo se propague para o ambiente interno, nem que o interno seja transferido para o externo, garantindo conforto térmico à construção. Além disso, sua versatilidade em ser

moldado em vários tamanhos e modelos é uma outra grande vantagem. Ainda, tem baixa absorção à água, portanto, não retém umidade. (STOCCO et al, 2009).

Para tanto, tendo como base de estudo a substituição do agregado graúdo por poliestireno expandido, dada a sua versatilidade, o seu custo-benefício e sua dinamicidade que levaram aos traços, ensaios e resultados a seguir.

6 TRAÇO DO CONCRETO

O traço utilizado para a confecção do concreto sem adição de isopor é encontrado em (CAPELLETTE et al, 2019), onde o mesmo foi calculado utilizando a metodologia aplicada pelo método ABCP, obtendo o seguinte resultado: 340 Kg de cimento consumidos; 740 Kg de areia, 1040 Kg de brita 1 e 205 litros de água consumidos para cada 1 metro cúbico foram utilizados na confecção do traço original.

O traço empregado por Capellette, Santos e Lopes (2019) na produção de concreto está intrinsecamente relacionado com os parâmetros dos materiais (agregados graúdo, miúdo, cimento e água), tendo o peso específico do cimento tomado igual a $\gamma_c = 3,00 \text{ (g cm}^3\text{)}$. Tendo como base este estudo, a partir do traço, fez-se a confecção do concreto leve por meio da substituição parcial ou total do agregado graúdo.

A produção do concreto foi realizada no laboratório da Fundação Educacional de Fernandópolis – FEF, com o propósito de analisar o peso específico e a resistência à compressão axial.

O agregado graúdo foi reduzido em seu volume, gradativamente, nas respectivas porcentagens: 20%, 35%, 50%, 75% e 100%. O traço escolhido corresponde a um concreto com $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$. A resistência final apresenta grande relevância para o experimento, pois a avaliação dos resultados baseia-se em várias misturas que serão apresentadas ao longo deste capítulo.

A partir do traço original, calculou-se a quantidade de material necessária para preencher seis corpos de prova cilíndricos com dez centímetros de diâmetro e vinte centímetros de altura. Posteriormente, retirou-se, gradativamente, as respectivas porcentagens em volume de brita. Nas tabelas abaixo, são apresentados os traços utilizados para a confecção dos corpos de prova.

Tabela 3 - Traço Original (em kg)

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	12,5	2,50

Fonte: Os autores

Tabela 4 - Traço com redução em 20%

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	10,70	2,50

Fonte: Os autores

Tabela 5 - Traço com redução em 35%

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	8,15	2,50

Fonte: Os autores

Tabela 6 - Traço com redução em 50%

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	6,20	2,50

Fonte: Os autores

Tabela 7 - Traço com redução em 75%

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	3,75	2,50

Fonte: Os autores

Tabela 8 - Traço com redução em 100%

Cimento	Areia	Brita	Água
4,08	8,87	0,00	2,50

Fonte: Os autores

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para a confecção do concreto foram Cimento Portland CP II – Z, agregado miúdo, agregado graúdo, poliestireno expandido e água.

6.1.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado foi o Cimento CIPLAN Uso Geral (Figura 1), por ser facilmente encontrado no mercado. O cimento em questão é composto com pozolana, que permite uma boa secagem e trabalhabilidade adequada a todos os

tipos de obra. Devido ao baixo desprendimento de calor, é utilizado em obras com grande volume de concreto, também é indicado para ambientes agressivos devido a sua baixa porosidade (CAPELLETTE et al, 2019).

Figura 1: Cimento Portland



Fonte: Os autores

6.1.2 AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo utilizado (Figura 2) no estudo foi areia fina proveniente do laboratório da Fundação Educacional de Fernandópolis – FEF, cedida por CAPELLETTE *et al* (2019) e suas propriedades foram testadas em laboratório e os resultados podem ser encontrados em Capellette et al, 2019, onde a massa específica unitária solta adotada para o estudo foi de $\rho_a = 1,46 \text{ g/cm}^3$.

Figura 2: Pesagem do agregado miúdo



Fonte: Os Autores

6.1.3 AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado no estudo (Figura 3) foi brita 1 proveniente do laboratório da Fundação Educacional de Fernandópolis – FEF, cedida por CAPELLETTE *et al*, 2019 e suas propriedades foram testadas em laboratório e os resultados podem encontrados em Capellette et al, 2019, onde adotou-se um valor aproximado para a massa específica real do agregado graúdo (γ_b) igual $\gamma_b=2.6(\text{g/cm}^3)$

Figura 3: Coleta de agregado graúdo



Fonte: Os autores

6.1.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO

O agregado leve utilizado foi o poliestireno expandido, proveniente de descarte irregular nas vias públicas da cidade de Fernandópolis-SP (Figura 4) . Para adequá-lo ao uso, utilizou-se um liquidificador (Figura 5) para triturar o composto para reduzir suas dimensões (Figura 6).

Figura 4: Descarte irregular de isopor (poliestireno expandido)



Fonte: Os autores

Figura 5: Liquidificador



Fonte: Os autores

Figura 6: Isopor triturado (poliestireno expandido)



Fonte: Os autores

6.1.5 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água apresenta grande importância na confecção do concreto com a finalidade de hidratação dos compostos do cimento. Com a hidratação da mistura, aumenta a trabalhabilidade para preencher adequadamente as fôrmas, sem causar vazios ou nichos (Figura 7).

Figura 7: Medição da água



Fonte: Os autores

6.1.6 BETONEIRA

Os materiais foram adicionados, de maneira gradativa, a uma betoneira (Figura 8) que ficou acionada durante três minutos para que o concreto obtivesse uma homogeneização gradativa sem segregação.

Em alguns momentos do processo de confecção de determinados traços, fez-se necessária a pausa da betoneira para que, com uma colher de pedreiro, fosse removido das paredes da betoneira o material que ficou preso em seu interior (Figura 9).

Figura 8: Betoneira utilizada



Fonte: Os autores

Figura 9: Raspagem do concreto preso



Fonte: Os autores

7 ENSAIOS E RESULTADOS

O experimento consiste na produção de um concreto convencional, no qual foram moldados 36 corpos de prova. Os corpos de prova moldados foram divididos em grupos de seis unidades, onde cada um deles tem um traço determinado sendo um deles os CPs de referência. Os CPs ficaram fora do tanque aproximadamente 3 dias para perder o excesso de água retido, ao término desse processo, todos os CPs foram rompidos, proporcionando assim um comparativo das resistências.

7.1 PROCEDIMENTO DA PRODUÇÃO DO CONCRETO

Os materiais utilizados para a produção do concreto foram devidamente separados nas suas quantidades de acordo com as Tabelas de 3 a 8 supracitadas.

Na betoneira foi colocada uma quantidade de água para que a mesma fosse lavada. Após esse processo, permaneceu com o bocal para baixo para que toda a água escorresse. Logo em seguida, foram adicionados os agregados graúdos, o cimento Portland, uma porção do agregado miúdo e outra porção de água. A betoneira foi acionada por cerca de 1 minuto e 30 segundos e, posteriormente, o restante do agregado miúdo e da água foram adicionados e a betoneira permaneceu ligada por mais 1 minuto e 30 segundos, onde obteve-se uma homogeneização do concreto.

7.2 ENSAIO DE ABATIMENTO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)

Depois de realizada mistura do concreto na betoneira, foi retirada uma amostra de concreto, procedeu-se com o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*).

A aparelhagem utilizada foi um molde metálico, uma haste de compactação de seção circular em aço de 16 mm de diâmetro por 600 mm de comprimento; uma placa de apoio do molde, um complemento tronco-cônico do molde, uma colher de pedreiro e uma trena de 5 metros.

O procedimento do ensaio da consistência deu-se de acordo com a NBR NM 67, que determina a consistência de abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998). O ensaio constitui no preenchimento do cone com o concreto produzido em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do cone. Cada camada foi adensada com 25 golpes com a haste de adensamento e, em seguida, a

superfície excedente foi removida com uma colher de pedreiro. Por fim, o molde foi retirado e, então, foi medido o abatimento do concreto. Foram feitos dois *slump test*. O primeiro, com o traço original de concreto, onde obteve-se um *slump* de 20 mm, o mesmo resultado obtido por Capellette *et al* (2019), que testou a resistência à compressão axial de cinco marcas diferentes de cimento.

Portanto, para o uso em obras de pequeno porte, que não possuem restrições com relação a agressividade do ambiente, pode-se utilizar qualquer tipo ou marca de cimento testada, pois estes atendem a resistência mínima de 20 MPA, se produzidos no traço citado nos capítulos anteriores (CAPELLETTE *et al*, 2019).

No segundo *slump test*, que é o foco deste estudo, foi realizado o concreto com o agregado graúdo reduzido em 100%, onde obteve-se um *slump* de 12,5 mm, conforme demonstra a Figura 10, o que era suficiente para o adensamento manual dos corpos de prova.

Figura 10: *Slump Test* - Concreto 100% EPS



Fonte: Os autores

7.3 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram utilizados corpos de prova 10 x 20 cm e moldados de acordo com a NBR 5738: 2015 (ABNT, 2003). A aparelhagem utilizada foram seis moldes cilíndricos de 10x20 cm divididos em seis grupos, devidamente limpos e aplicados desmoldante a base de óleo vegetal na face interna dos corpos de prova e colher de pedreiro (Figuras 11, 12 e 13).

Figura 11: Corpos de prova 1



Fonte: Os autores

Figura 12: Corpos de prova 2



Fonte: Os autores

Figura 13: Corpos de prova 3



Fonte: Os autores

Vale ressaltar que todos os corpos de prova foram devidamente identificados.

7.3.1 CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova ficaram imersos em um tanque de cura por 25 dias para a obtenção dos resultados apresentados a seguir, como demonstram as Figuras 14 e 15.

Figura 14: Cura dos corpos de prova 1



Fonte: Os autores

Figura 15: Cura dos corpos de prova 2



Fonte: Os autores

7.3.2 PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Após retirados do tanque de cura, esperou-se alguns dias para que os corpos de prova perdessem toda a água em seu interior, sua pesagem foi feita com uma balança MODELO SF-400 (Figura 16), e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Figura 16: Pesagem dos corpos de prova



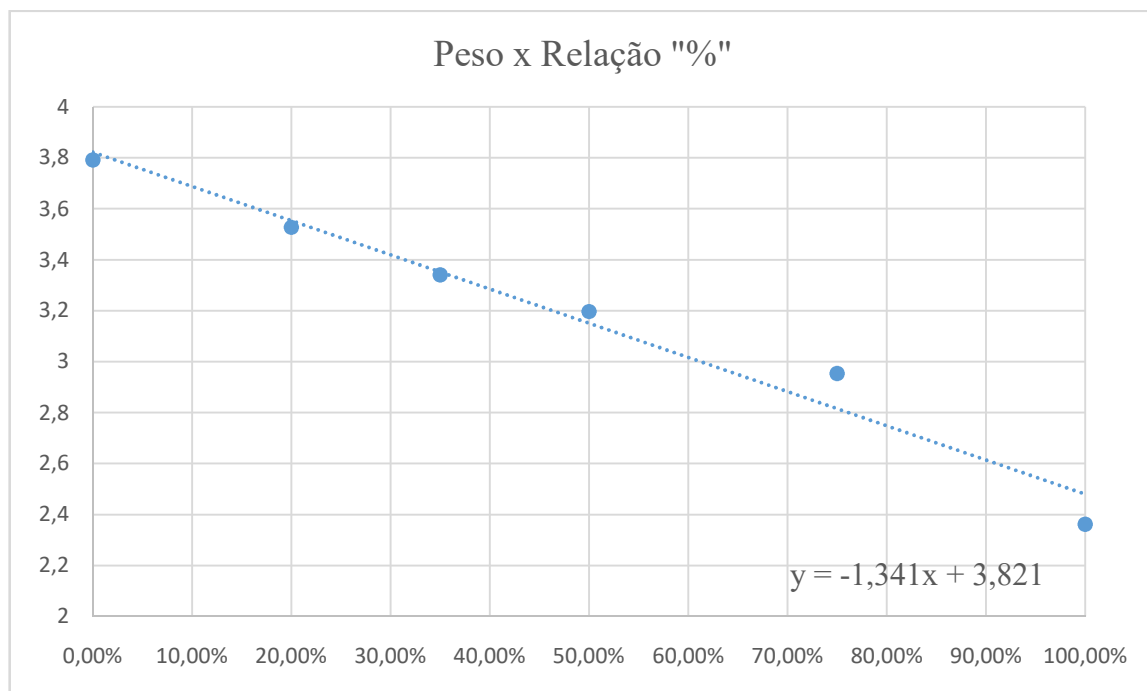
Fonte: Os autores

Tabela 9: Resultados da pesagem dos corpos de prova em Kg

Id. CP	CP	CP – Red.	CP – Red.	CP – Red.	CP – Red.	CP – Red.
	Original	20%	35%	50%	75%	100%
1	3,770	3,478	3,283	3,186	2,944	2,365
2	3,810	3,536	3,366	3,193	2,933	2,383
3	3,849	3,536	3,380	3,191	3,000	2,364
4	3,755	3,464	3,350	3,240	2,967	2,325
5	3,836	3,581	3,353	3,211	2,974	2,352
6	3,726	3,573	3,311	3,163	2,902	2,381
Média	3,791	3,528	3,340	3,197	2,953	2,362

Fonte: Os autores

O Gráfico 1, relaciona o peso médio dos corpos de prova, com sua respectiva porcentagem de redução do agregado graúdo.

Gráfico 1:Peso x Relação %

Fonte: Os autores

É notável a redução de peso médio, conforme reduz a quantidade de agregado graúdo, afirma-se que houve uma redução de aproximadamente 38%,

comparando o peso médio dos corpos de prova sem adição e 100% de substituição do agregado graúdo.

Com auxílio do software Excel, obteve-se o gráfico de dispersão que demonstrou a curva que melhor se ajusta aos pontos, que é dada pela equação:

$$y = -1,3418x + 3,8215$$

onde x representa a porcentagem de redução do agregado graúdo.

Essa equação permite obter o peso médio do corpo de prova, de forma aproximada, de acordo com a redução do agregado graúdo.

7.4 ROMPIMENTO

O rompimento dos CPs estava previsto para o dia quatro de setembro de 2020, no laboratório da FEF – Fundação Educacional de Fernandópolis, porém a prensa hidráulica manual estava com problemas, sendo sanado o problema, o rompimento ocorreu nos dias 12 e 13 de setembro, totalizando 38 dias de cura.

O processo seguiu as prescrições da NBR 5739/2018, que estabelece as regras de ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Para o processo, foi utilizado prensa hidráulica manual ENGETOTUS (Figura 17).

Figura 17: Prensa hidráulica manual utilizada



Fonte: Os autores

Os ensaios de compreensão de corpos de prova resultaram nos seguintes dados demonstrados na tabela 8 a seguir e no Gráfico 2 apresentado posteriormente:

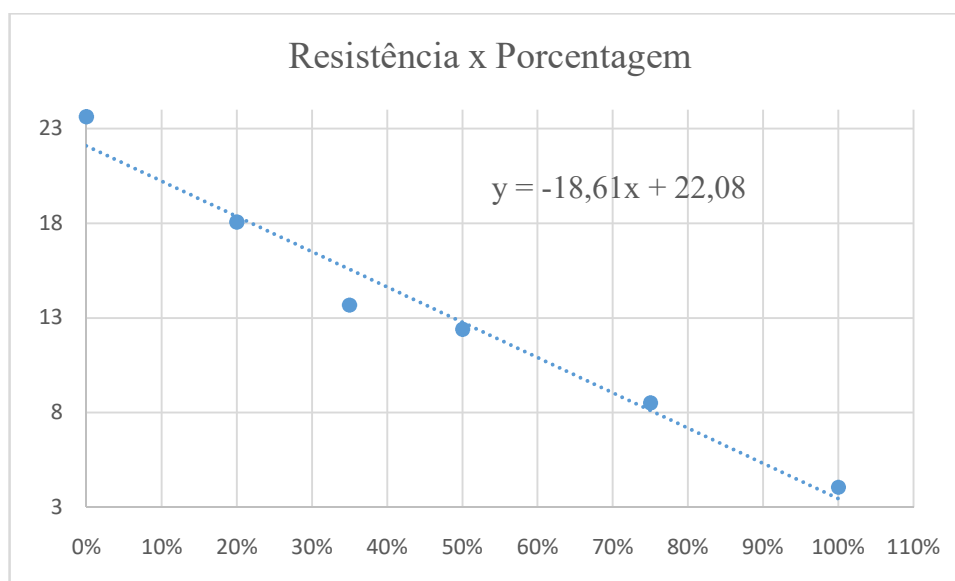
Tabela 10: Resultados dos ensaios de compreensão de corpos de prova

Id. CP	CP Original	CP – Red. 20%	CP – Red. 35%	CP – Red. 50%	CP – Red. 75%	CP – Red. 100%
1	22,715	18,101	13,534	11,540	7,512	4,200
2	23,822	18,111	14,642	13,970	8,560	4,201
3	24,497	16,803	14,133	12,503	8,430	4,570
4	23,619	19,401	14,515	12,401	9,070	3,310
5	24,548	17,825	12,890	11,561	8,510	4,201
6	24,562	18,144	13,012	12,414	8,990	3,950
Média	23,627	18,063	13,690	12,400	8,510	4,072

Fonte: Os autores

Os resultados obtidos após os corpos de prova terem sido submetidos ao teste de compressão, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 5739 (2018) em relação ao traço original são apresentados no gráfico abaixo, onde este demonstra a progressão dos resultados obtidos dos ensaios de compressão dos corpos de prova:

Gráfico 2: Resultados dos ensaios de compressão de corpos de prova



Fonte: Os autores

Através da análise do gráfico acima, afirma-se uma considerável redução na resistência do concreto, conforme adiciona-se EPS em sua composição.

Com auxílio do software Excel, obteve-se o gráfico de dispersão que demonstrou a curva que melhor se ajusta aos pontos, que é dada pela equação:

$$y = -18,619x + 22,082$$

onde x representa a porcentagem de redução do agregado graúdo.

Essa equação permite obter a resistência média do corpo de prova, de forma aproximada, de acordo com a redução do agregado graúdo.

8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para facilitar a compreensão e comparação dos resultados, elaborou-se a Tabela 11:

Tabela 11: Comparação dos resultados

Porcentagem de substituição	Peso médio (kg)	Resistência média (MPa)	Redução de peso (%)	Redução de resistência (%)
0%	3,726	23,627	-	-
20%	3,573	18,063	4,11	23,55
35%	3,311	13,690	11,14	42,06
50%	3,163	12,400	15,11	47,52
75%	2,902	8,510	22,11	63,98
100%	2,381	4,072	36,10	82,77

Fonte: Os autores

De acordo com os resultados apresentados na tabela acima, afirma-se que a redução da resistência acompanhou aproximadamente a redução de agregado graúdo, em outras palavras, quando substituído 35% de agregado graúdo por isopor, obteve-se uma redução de 42,06% na resistência, o que nos leva a crer que o agregado graúdo é fundamental na resistência a compressão axial do concreto. Quando 100% do agregado graúdo foi substituído por EPS, obteve-se uma perda de resistência considerável, porém, uma grande redução de peso, sendo assim, este tipo de concreto pode ser utilizado por exemplo em capeamento de lajes, pois, obteve-se uma redução significativa de seu peso próprio.

Outro fato importante é a análise do peso específico do concreto, a partir dos pesos médios dos corpos de prova. O peso específico é dado pela Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Relação dos pesos específicos

Porcentagem de adição	Peso específico (g/cm^3)
0%	2,372
20%	2,275
35%	2,108
50%	2,014
75%	1,847
100%	1,516

Fonte: Os autores

De acordo com a Tabela 12, houve-se uma redução significativa do peso específico do concreto com 100% de adição de EPS, e de acordo com o Capítulo 5, com redução de 75% de agregado graúdo, já pode ser considerado concreto leve.

9 CONCLUSÃO

Dentre os ensaios, a massa específica e a resistência à compressão foram às propriedades que mais sofreram alterações com o uso do poliestireno expandido. Os concretos com substituição do agregado graúdo convencional por poliestireno expandido obtiveram resultados de resistência à compressão com diferenças significativas em relação ao concreto convencional. Sendo assim, levando em consideração as normas brasileiras, os resultados obtidos estatisticamente, o concreto leve não pode ser comparado ao concreto convencional para fins estruturais, uma vez que apresentou resistência à compressão inferior a mínima exigida, que é de 20MPa, de acordo com a NBR 8953 (1992).

Levando em consideração que a sua utilização em edificações pode ser versátil e adaptada para diversos fins, demonstrando, em diversos estudos analisados para a elaboração deste trabalho, sua eficácia no isolamento térmico, este estudo abre margem para continuidade e novas experimentações científicas.

Outro fator indiscutível é o quanto a utilização do poliestireno expandido na fabricação de concreto leve pode ser benéfica para o meio ambiente e agrega valor às construções ecológicas e do futuro, onde a reciclagem e a preservação dos recursos naturais são imprescindíveis para a humanidade.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil, 2011. Disponível em: <https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>. Acesso em: 10/09/2020.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018-2019**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 01/10/2020

ALMEIDA, D. S. D.; COSTA, I. T. D. **A Drenagem Urbana das Águas Pluviais e sua Relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública no Município de Santana**. Macapá/AP, 2014.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo, Editora Pini, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-150: **Standard Specification for Portland Cement**. West Conshohocken: ASTM, 2011. Disponível em: http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2011/02/BT106_guia_basico_de_utilizacao_do_cimento_portland.pdf. Acesso em: 01/10/2020

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2002. Disponível em: <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>. Acesso em: 01/10/2020.

ANDRADE, E. F. R. *et al.* **Concretos**: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo. São Paulo: Pini, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Consistência de abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

Associação Brasileira de Indústria Química (ABIQUIM). **Anuário da Indústria Química**, 42ª ed, 2015. Disponível em: <https://abiquim.org.br/publicacoes/publicacao/110>. Acesso em: 15 set 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/>. Acesso em: 01/10/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7211**: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Agregados leves, Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1: Concreto auto adensável, Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 35: Agregados leves, Rio de Janeiro, ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland -Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Corpos de prova, Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655** – Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8522**: Concreto – determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão – deformação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12644: Concreto leve, Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

BARBOSA, M.P; BOSCO, A.R.C.; BERTO, R.B.; SALLES, F.M. **Um estudo das características e propriedades do concreto auto-adensável (CAA)**. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. CD-ROM, Belo Horizonte, 2002.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Instituto Brasileiro do Concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009.

BATTAGIN, I. L. S. O Cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G. C.(Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

BAUER, L. F. A. **Materiais de construção**. Revisão técnica João Fernando Dias. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006

BRASIL. **Lei nº12.305**, de 02 de janeiro de 2010. Brasília: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.

CAPELLETTE, R. Z.; SANTOS, R. Z.; LOPES, W. O. **Análise da influência de cimentos Portland comum como adições de fíler, pozolana e escória na produção de concretos**. Monografia (Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração: Ciências Exatas) - Faculdades Integradas de Fernandópolis, 2019.

CARVALHO, C. H. R.; MOTTA L. A. C. **Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado**. In: Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. vol.12 no.6

São Paulo Nov./Dec. 2019. Disponível em:
http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/riem/volume12_n6.asp.
 Acesso em: 01/10/2020.

CBIC. Avanços nas construções sustentáveis, 2014. Disponível em:
<https://cbic.org.br/avancos-nas-construcoes-sustentaveis/>. Acesso em: 10/09/2020

CIPLAN, **Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ**.
 Disponível em: http://www.ciplan.com.br/fispq/FISPQ_CIMENTO_CIPLAN.pdf.
 Acesso em: 01/10/2020.

CNAE I. Classificação nacional de atividades econômicas. Comissão Nacional de Classificação [e] IBGE. -Rio de Janeiro : IBGE, 2002. 344p.

ECIVIL. **Alvenaria estrutural**. In: RevistaTéchne n° 34, maio/junho de 1998.
 Disponível em: http://www.ecivilnet.com/artigos/alvenaria_estrutural.htm. Acesso em 01/10/2020.

FERREIRA,C. N. G.; RIBEIRO, M. C. F. **Reutilização de Resíduos de EPS na Produção de Concreto Leve**. 2008. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos (São Paulo), 2008.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Grupo de Trabalho em Ciência Aberta**. Termo de referência: poliestireno expandido. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/Presidência, 2018.
 Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/>. Acesso em: 26/10/2020.

GODFREY, K. A. Jr. Concrete strength record jumps 36%. Civil Engineering, v. 10, n. 57, p. 84-86, Oct. 1987 apud AÍTCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. Tradução Geraldo G. Serra. São Paulo; PINI, 2000. 667p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. Concreto: ciência e tecnologia. v. 1 e 2.. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/>. Acesso em: 10/09/2020.

MEHTA,P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ªed. São Paulo: PINI, 1997, 828p.

OLIVEIRA, Hélio M. **Cimento Portland**. In: Materiais de construção. Ed. L. A. Falcão Bauer.5.ed. rev. Rio de Janeiro, LTC, 2012.

PORTO, M. F. A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: Tucci,C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995.

RICCHINI, R. **Vidro**: história e reciclagem, 2016. Disponível em:
www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-vidro/vidro-historia-reciclagem/. Acesso em: 15/09/2020.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve de Alto Desempenho Modificado Com SB Para Pré-Fabricados Esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. São Carlos, 2003. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SEIBT, L. A. **Avaliação da resistência da argamassa e do concreto à compressão, utilizando diferentes marcas de cimento**. 2012. Monografia (Engenharia Civil) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2012. Disponível em: <http://www5.unochapeco.edu.br/pergamum/biblioteca/php/imagens/000098/000098A8.pdf>. Acesso em: 01/10/2020

STOCCO, W.; RODRIGUES, D.; CASTRO, A. P. de A. S. **Concreto leve com uso de EPS**. In: Congresso Brasileiro de Educação (COBENGE), 37., 2009. Recife (Pernambuco). Anais. Salto (São Paulo): Centro Educacional Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP), 2009.

TESSARI, Janaína. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. **Concreto de alto e ultra-alto desempenho**. In: ISAIA G.C. Concreto: ciência e tecnologia -2 vol. 1. ed. São Paulo: Ibracon -Instituto Brasileiro de Concreto, 2011. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc53.pdf>. Acesso em: 01/10/2020

WORD WILDLIFE FUND. **O que é a Camada de Ozônio?** Disponível em: http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/camada_ozonio. Acesso em: 01/10/2020.