

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ROSEMARIE KUMAYAMA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE PARA
PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DOS AGREGADOS POR PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Ilha Solteira

2014

ROSEMARIE KUMAYAMA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE PARA
PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DOS AGREGADOS POR PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Conhecimento: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcântara.

Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

Ilha Solteira

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

K95e Kumayama, Rosemarie.
Estudo da viabilidade do emprego do pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido(EPS) / Rosemarie Kumayama. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014
111 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2014

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcântara
Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini
Inclui bibliografia

1. Concreto autoadensável. 2. Pó de Mármore. 3. Poliestireno expandido. 4. Reologia. 5. Resíduo de construção.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto auto-adensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS)

AUTORA: ROSEMARIE KUMAYAMA

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCO ANTONIO MORAIS ALCANTARA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCO ANTONIO MORAIS ALCANTARA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. HAROLDO DE MAYO BERNARDES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LIBÂNIO MIRANDA PINHEIRO
Departamento de Engenharia de Estruturas / Escola de Engenharia de São Carlos-Usp

Data da realização: 31 de janeiro de 2014.

DEDICATÓRIA

A **Deus** todo poderoso criador de todas as coisas e ao meu pai **Mikio Kumayama**, que sempre imprimiu seus valores e fé nas atitudes da sua vida.

AGRADECIMENTO

À Deus, porque sem Ele este trabalho não seria possível.

Aos meus pais Mikio Kumayama e Satiko Kobashi Kumayama, pelo amor incondicional.

Ao meu irmão Éder Kumayama, pela paciência e companheirismo.

A minha filha Melissa, pela compreensão e carinho.

A minha irmã de coração Raquel Alves Ribeiro pela amizade e paciência.

A minha Bachan pelo exemplo de amor.

Ao meu orientador, Prof.Dr. Marco Antônio de Moraes Alcântara, pela imensa contribuição no desenvolvimento deste trabalho e amizade.

Ao co-orientador Prof. Dr. Antônio Anderson da Silva Segantini por ter acreditado na realização desta pesquisa.

Aos técnicos de Laboratório: Flávio Rogério Porato, Natália Antoniali, Gilson Campos Correa e Ronaldo Mendes do Amaral pelo apoio e paciência.

A toda equipe da Biblioteca.

Aos meus amigos: Fernando César Socorro, Celbo Antônio da F. Rosas, Alessandra Carina Rossi, Ester Alckmin Z. Rodella, Letícia A. N. Philips, Andresa Carla Gonzales, Melissa Belloto Proni, Séfora Fujimori, Sacha Lopes, Fernanda Marta e Mariana de S. Moraes, pelo laço forte da amizade que o tempo não apagou.

Aos meus amigos de curso, Ricardo Mitrópapas, Suzana Berté, Luciane Simal Alves, Ricardo Mitrópapas, Saulo Nakamura, Mariana Corrêa Posterlli em especial ao Willian Silva da Cruz, pelo apoio nos ensaios de laboratório e no decorrer do mestrado.

Aos amigos, Vinícius Nakae, Marina Tomioka, Lúcia Alves, Juba Lima, Mharlon Zancani, Cláudia Oliveira, Cátia Neves, Albenise Marques Vieira, Yole, Tamiris Teixeira, Sarah M. Capassi, minhas primos Edson Kumayama, Emerson Akira Kobashi, Harumi Kobashi Nahum, Elaine Tiemi Kobashi, e minhas tias Emília Kumayama e Fátima Kumayama por se fazerem presentes em minha vida nos momentos mais difíceis desta pesquisa transformando esses momentos em risos.

A CÁPES - Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

“Se a reta é o caminho mais curto
dois pontos, a curva é o que
concreto buscar o infinito.”

Oscar Niemeyer

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da viabilidade da utilização do pó de mármore (resíduo de construção civil) como material fino na confecção de concreto autoadensável (CAA) e a substituição de parte dos agregados graúdos e miúdos por poliestireno expandido (EPS), na proporção de 10%, 20%, 30% e 40%, em volume. Na busca de soluções ambientalmente corretas, com intuito de minimizar a inadequada disposição desses resíduos no meio ambiente, reutilizando-os, e na melhoria reológica no do CAA. Foram otimizadas as composições e realizados ensaios no estado fresco para a validação do CAA, incluindo Slump Flow Test, Slump Flow T50 Test, V-Funnel Test, L-Box Test, Ensaio de Peneiramento e Ensaio da Massa Específica Aparente. Também foram realizados ensaios do CAA no estado endurecido, para 7 dias e 28 dias, envolvendo os ensaios de compressão axial e diametral, módulo de elasticidade, e de absorção aos 35 dias, com os testes no estado fresco, observou-se as influências no sentido de que a incorporação gradativa de EPS ao pó de mármore contribuiu para o aumento dos valores das propriedades que dependem da viscosidade do concreto, de modo a minimizar os efeitos de segregação e de exsudação; ainda, houve aumento da fluidez. Quanto aos testes no estado endurecido, observou-se que, quando se aumentou a porcentagem de poliestireno expandido, os valores da resistência do concreto e do módulo de elasticidade apresentaram diminuições proporcionais aos valores dos incrementos; e, com relação aos ensaios de absorção, verificou-se o aumento do valor desta com os valores de incrementos de EPS.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Pó de mármore. Poliestireno expandido. Reologia. Resíduo de construção.

ABSTRACT

This paper presents a study on the feasibility of using marble powder (civil construction residue) as fine part in the making of self-compacting concrete (SCC) and the replacement of amounts of the large and small parts by expanded polystyrene (EPS) in the proportion of 10%, 20%, 30% and 40%. In the search of correct environmental solutions to minimize the inadequate disposal of this material in the environment re-using them and rheological improvement in the hardened state of SCC. The compositions were optimized and the tests were performed in the fresh state for the validation of the SCC, including the Slump Flow Test, Slump Flow T50 Test, V-Funnel Test, L-Box Test, Sieving Test, Apparent Specific Mass Test. Tests of the hardened state of SCC were also performed for 7 and 28 days, involving the tests of axial and diametral compression, modulus of elasticity, and absorption at 35 days. In the fresh state, there was influence in the sense that the gradual incorporation of EPS to the marble powder contributed to the increase of the property values that depend on the concrete viscosity, to minimize the effects of segregation and exudation; also, contributed to the increase of fluidity. As for the tests in the hardened state, it was noticed that when the expanded polystyrene percentage was increased, the values of the concrete resistance and the modulus of elasticity presented a proportional decrease to the increment values; and, regarding the absorption tests, there was an increase on the values of the absorption with the values of EPS increments.

Key Words: Self compacting concrete. Marble powder. EPS expanded polystyrene. Rheology. Construction residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática da relação entre a tensão e a deformação do concreto	34
Figura 2	Curvas tensão deformação da pasta de cimento, do agregado e do concreto.....	35
Figura 3	Exemplos de curvas tensão deformação de corpos de prova de cilíndricos de concreto com resistência em até 85 MPa.....	35
Figura 4	Teste de Espalhamento (dimensões em mm).....	40
Figura 5	Exemplo de CAA sem segregação.....	41
Figura 6	Exemplo de CAA com segregação visível.....	41
Figura 7	medidas do <i>I-box</i> recomendadas.)	43
Figura 8	V-Funnel sendo utilizado.	44
Figura 9	Ensaio de Peneiramento sendo realizado	45
Figura 10	Ensaio de Slump Flow test com complementação do J-ring test.....	47
Figura 11	Medidas do U-Box recomendadas.	47
Figura 12	Medidas do Fill Box recomendadas.....	48
Figura 13	Ensaio do oriment test em conjunto com J-ring test.....	49
Figura 14	Medidas do U-shaped pipe, em mm, recomendadas e forma após desfôrma . Fonte: Gomes (2002).....	50
Figura 15	Foto Areia Natural	54
Figura 16	Foto Brita Basáltica.....	55
Figura 17	Foto Pó de Mármore.....	57
Figura 18	Foto Pó de Mármore.....	57
Figura 19	Corpos de Prova de CAA em cura na Câmara Úmida.....	61
Figura 20	Aspectos das circunferências dos ensaios de espalhamento para as composições 1 a 5.....	70

Figura 21	Aspectos do material nos ensaios de peneiramento para a avaliação da segregação).....	71
Figura 22	Os aspectos do concreto no ensaio de peneiramento.....	72
Figura 23	Resultados alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição de EPS.	73
Figura 24	Crescimento da área de exposição das partículas de eps com relação ao volume de água adicionado, quando existe o aumento deste em substituição.....	75
Figura 25	Correlação entre os valores alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição de EPS.....	76
Figura 26	Possíveis correlações entre os valores do T_{50} e a percentagem de EPS em substituição.....	77
Figura 27	Resultados alcançados para os ensaios de escoamento confinado ao funil, em função do valor de substituição de EPS.....	77
Figura 28	Correlação entre os valores alcançados para a vazão mássica em escoamento confinado, em função do valor de substituição de EPS.	78
Figura 29	Possível correlação entre o tempo de funil e o teor de EPS em substituição.....	79
Figura 30	Correlação entre os valores referentes ao escoamento livre e ao escoamento confinado.....	80
Figura 31	Resultados alcançados para os ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS.....	81
Figura 32	Correlacionar a relação H_2/H_1 com o teor de EPS incorporado em substituição.....	81
Figura 33	Tempo de escoamento na caixa em L e a percentagem de EPS em substituição.....	82
Figura 34	Variação da segregação com relação ao aumento do valor de substituição parcial de EPS.....	83
Figura 35	Variação da massa específica aparente em função da percentagem de EPS em substituição, a partir de dados experimentais	84

Figura 36	Correlação entre os valores da massa específica aparente em função da porcentagem de EPS em substituição, tomadas a partir de valores de cálculo com base nas propriedades dos materiais, e valores experimentais.....	84
Figura 37	Correlação entre os valores da diferença da massa específica aparente tomadas a partir de valores experimentais com os tomados a partir de cálculo com base nas propriedades dos materiais em função do EPS em substituição.	85
Figura 38	Variação percentual da massa específica no estado fresco obtida com valores experimentais com relação a da composição de referência, a partir do aumento do valor de substituição parcial de EPS	86
Figura 39	Superfícies internas dos corpos de prova após as rupturas destes em ensaio de compressão diametral.....	89
Figura 40	Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, com relação à variação do teor de eps incorporado, para 7 dias de cura.....	90
Figura 41	Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 28 dias de cura.....	91
Figura 42	Variação percentual do valor da resistência mecânica axial com relação á da composição de referência para 7 dias de cura.	92
Figura 43	Variação percentual do valor da resistência mecânica axial com relação á da composição de referência para 28 dias de cura.	92
Figura 44	Variação da massa específica aparente com relação a composição de referência, em relação a variação da resistência mecânica do material com substituição com relação ao concreto de referência, para 28 dias de cura	93
Figura 45	Variação do valor da resistência à compressão diametral com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 7 dias de cura.....	94
Figura 46	Variação do valor da resistência à compressão diametral com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 28 dias de cura.....	94
Figura 47	Resistência à compressão diametral/ resistência à compressão axial, em função do valor da substituição de EPS, e para a idade de 7 dias de cura	95

Figura 48	Resistência à compressão diametral/ resistência à compressão axial, em função do valor da substituição de EPS, e para a idade de 28 dias de cura	95
Figura 49	Variação do valor do módulo de elasticidade com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 7 dias de cura	96
Figura 50	Variação do valor do módulo de elasticidade com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 28 dias de cura.	97
Figura 51	Variação do valor do módulo de elasticidade com relação à variação do valor da resistência à compressão simples axial, para 7 dias de cura	98
Figura 52	Variação do valor do módulo de elasticidade com relação à variação do valor da resistência à compressão simples axial, para 28 dias de cura.	99
Figura 53	Variação do valor da relação resistência à compressão simples axial/módulo de elasticidade para 7 dias de cura.	100
Figura 54	Variação do valor da relação resistência à compressão simples axial/módulo de elasticidade para 28 dias de cura.	100
Figura 55	Correlação entre os valores da absorção com relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição.	101
Figura 56	Correlação entre os valores da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção.	102
Figura 57	Correlação entre os valores da absorção com relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição, não se considerando a composição com 20%.	103
Figura 58	Correlação entre os valores da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção, não se considerando a composição com 20%.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela de Caracterização do Cimento	53
Tabela 2	Tabela de Caracterização do Agregado Miúdo – Areia Natural.....	54
Tabela 3	Tabela de Caracterização do Agregado Graúdo – Brita Basáltica	55
Tabela 4	Tabela das Composições de CAA com adição de pó de mármore e isopor (EPS).	60
Tabela 5	Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas...	63
Tabela 6	Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas...	64
Tabela 7	Relações de volume tomadas a partir das diversas composições com relação à composição de referência e áreas de exposição do EPS	64
Tabela 8	Relações entre a água e os elementos da composição, e a relação superplastificante/cimento e finos cimento	65
Tabela 9	Relações entre os agregados miúdo e graúdo com relação ao concreto e as fases do concreto	66
Tabela 10	Valor teórico a ser alcançado pelas misturas, com base nas informações das características dos materiais.	66
Tabela 11	Resultados alcançados para os ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS.	67
Tabela 12	Resultados alcançados para os ensaios de escoamento confinado V-funil, em função do valor de substituição de EPS).....	67
Tabela 13	Resultados alcançados para os ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS.....	68
Tabela 14	Resultados alcançados para os ensaios de segregação por peneiramento, em função do valor de substituição de EPS.	68
Tabela 15	Resultados alcançados para a massa específica aparente, em função do valor de substituição de EPS	69
Tabela 16	Resultados da resistência à compressão simples, axial, para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.	86

Tabela 17	Resultados da resistência à compressão diametral, para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.....	87
Tabela 18	Resultados do módulo de elasticidade para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.	87
Tabela 19	Valores relativos ao ensaio de absorção.....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABCP –	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFGC –	Association Française de Génie Civil
CAA –	Concreto Autoadensável
CEPED –	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CP –	Cimento Portland
CPs –	Corpos de Prova
CONAMA –	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ECO 92 –	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e O Desenvolvimento (CNUMAD)
NBR –	Norma Brasileira Registrada
RCC –	Resíduos de Construção Civil
RCD –	Resíduos de Construção e Demolição
UNESP –	Universidade Estadual Paulista
CBC –	Congresso Brasileiro do Concreto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVO	21
3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	22
4	REVISÃO DE LITERATURA	25
4.1	CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA).....	25
4.2	PROPRIEDADES GERAIS DO CONCRETO.....	27
4.2.1	Propriedades das Misturas Frescas.....	28
4.2.1.1	Trabalhabilidade, Viscosidade e Mobilidade.....	28
4.2.1.2	Segregação.....	29
4.2.1.3	Exsudação.....	29
4.2.1.4	Influência dos materiais componentes nas propriedades do concreto no estado fresco.....	29
4.2.2	Propriedades do concreto endurecido.....	30
4.2.2.1	Resistência Mecânica.....	31
4.2.2.2	Módulo de Elasticidade.....	33
4.2.2.3	Os concretos autoadensáveis e as propriedades elásticas.....	36
4.2.2.4	Porosidade e Absorção do Concreto.....	36
4.2.2.5	Retratilidade.....	37
4.3	AVALIAÇÕES PARA O CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO ESTADO FRESCO.....	37
4.3.1	Slump Flow Test.....	38
4.3.2	Ensaio da Caixa em L (L- Box Test).....	42
4.3.3	Ensaio do Funil V (V- Funnel Test).....	43
4.3.4	Ensaio de Segregação por Peneiramento.....	44
4.3.5	Ensaio J- ring test.....	45
4.3.6	Outros Ensaios.....	47
4.4	ADIÇÕES MINERAIS.....	51
5	MATERIAIS E MÉTODOS	52
5.1	MATERIAIS.....	52
5.1.1	Cimento Portland.....	52

5.1.2	Agregado Miúdo.....	53
5.1.3	Agregado Graúdo.....	54
5.1.4	Aditivos.....	56
5.1.5	Finos.....	56
5.1.6	Água.....	57
5.1.7	Isopor (Poliestireno Expandido).....	57
5.2	MÉTODOS.....	58
5.2.1	Escolha, procedimentos preliminares e definição de misturas.....	58
5.2.1.1	Substituição.....	58
5.2.1.2	Adição.....	58
5.2.2	Composições adotadas.....	58
5.3	REALIZAÇÃO DO CONCRETO.....	60
5.4	ENSAIOS DE VALIDAÇÃO E DE AVALIAÇÃO DO CONCRETO.....	60
5.4.1	Ensaio no Estado Fresco.....	60
5.4.2	Ensaio estado endurecido.....	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
6.1	PARÂMETROS IMPORTANTES DAS COMPOSIÇÕES.....	63
6.1.1	Relações com base nos volumes de materiais e de concreto.....	63
6.1.2	Relações com base nos agentes de fluidez e de coesão.....	65
6.1.3	Relações de massa e volumes dos agregados com relação ao concreto e à fração argamassa.....	65
6.1.4	Relações de massa total e volume total dos concretos.....	66
6.2	RESULTADOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ANÁLISE.....	66
6.2.1	Apresentação dos resultados no estado fresco.....	67
6.2.1.1	Valores medidos conforme as avaliações dos ensaios de trabalhabilidade.....	67
6.2.1.2	Resultados qualitativos encontrados no estado fresco.....	69
6.2.2	Análise de resultados dos ensaios no estado fresco.....	72
6.2.2.1	Análise do caso do escoamento livre.....	73
6.2.2.2	Análise do caso do escoamento confinado V-funil.....	77
6.2.2.3	Análise do escoamento confinado da caixa em L.....	80
6.2.2.4	Ensaio de segregação por peneiramento.....	82

6.2.2.5	Análise sobre os valores da massa específica aparente seca.....	83
6.3	RESULTADOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO E ANÁLIESE.....	86
6.3.1	Apresentação dos resultados.....	86
6.3.1.1	Resultados dos ensaios mecânicos.....	86
6.3.1.2	Resultados dos ensaios de absorção d'água.....	88
6.3.1.3	Resultados qualitativos encontrados no estado endurecido.....	88
6.3.2	Análise de resultados do estado endurecido.....	90
6.3.2.1	Análise de resultados dos ensaios mecânicos.....	90
6.3.2.1.1	Comportamento da resistência à compressão axial.....	90
6.3.2.1.2	Comportamento da resistência à compressão diametral.....	93
6.3.2.1.3	Modificações nas condições de rigidez e de deformabilidade do concreto.....	96
6.3.2.2	Análise dos resultados de absorção.....	101
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
7	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

Nas civilizações primitivas, o homem utilizava, como material de construção, a pedra, a madeira e o barro. Aos poucos, foram aumentando as exigências do homem, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como o barro e resistente como a pedra. Ele pode ser empregado tanto em ambientes de agressão moderada como em ambientes fortemente agressivos, devido a sua excelente resistência à água. É facilmente moldável em uma variedade de formas e dimensões e é mais barato e disponível no canteiro de obras do que outros materiais de construção.

Segundo Walraven (1999), até aproximadamente 1980, o alvo dos exercícios de dosagens de concreto era o valor da resistência mecânica à compressão, sendo que, a partir dela, outras propriedades seriam alcançadas, quando tivessem relação com esta. A partir do advento da tecnologia dos superplastificantes e do conhecimento e investigações sobre as adições minerais ativas, surgiram os concretos de nova geração, os quais tiram partido de outras propriedades, seja incrementando ainda o valor da resistência à compressão, seja modificando as condições de ductilidade, e ainda interferindo nas propriedades tecnológicas e permitindo modificações nas condições de aplicação nos canteiros.

O CAA foi inicialmente, desenvolvido na década de 1980 pelo Professor Hajime Okamura no Japão, tendo como característica principal a sua excelente fluidez no estado fresco, mas com elevada resistência à segregação. É um concreto que pode ser compactado em toda região por meio de seu próprio peso e sem a necessidade de equipamentos de vibração. É capaz de fluir sob a ação da gravidade, preenchendo completamente a fôrma e alcançando adensamento eficaz, mesmo na presença de alta densidade de armaduras. Quando utilizado em estruturas com elevada taxa de armaduras e formas complexas, em que o acesso de equipamentos de vibração é difícil, garante o adensamento sem comprometer a resistência à compressão e a durabilidade.

Para ser considerado autoadensável, o concreto deve satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, tais como: preencher todos os espaços da fôrma somente pela ação de seu próprio peso; fluir entre os obstáculos (armadura e diminuição de seções) sem sofrer bloqueio e manter-se homogêneo,

sem que haja a ocorrência de segregação e/ou exsudação de seus componentes.

As atividades relacionadas à construção civil provocam enorme impacto ambiental. O setor é maior consumidor individual de recursos naturais. Estima-se que seja responsável por 15 a 50% do consumo naturais extraídos.

No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo do corte do mármore e granito é de 240.000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba, entre outros estados.

Já o poliestireno expandido (EPS), o popularmente conhecido como Isopor, é um material muito presente em nosso cotidiano. De acordo com a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (ABRAPEX), no Brasil, são produzidas em torno de 60.000 toneladas/ano, além de outras 2.000 toneladas/ano importadas com diferentes produtos, como equipamentos eletrônicos. Das 60.000 toneladas/ano de EPS fabricados no Brasil, apenas 5.000 toneladas/ano recebem a correta destinação.

A busca de soluções ambientalmente corretas e com qualidade técnica e vantajosa vem crescendo como uma prática para a sustentabilidade, minimizando a inadequada disposição desses resíduos no meio ambiente.

A Resolução n° 307, de 05/07/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA criou instrumentos que definiu as responsabilidades e deveres, tornando obrigatória em todos os municípios do país a implantação local de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil.

Dessa forma, neste trabalho, procura-se estudar uma alternativa de solução no sentido de contemplar estas duas situações: reaproveitar materiais que são descartados no meio ambiente, que podem cumprir função nas obras de engenharia civil, no caso do resíduo de pó de mármore e do resíduo de EPS, descartados em lixo doméstico comum, e utilizar na produção de CAA.

2 OBJETIVO

Avaliar a viabilidade de aproveitamento do pó de mármore associado com resíduo de poliestireno expandido (EPS) em forma de pérolas na confecção do CAA, avaliando as suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Reaproveitar os resíduos de pó de mármore e do EPS na produção do CAA. Contribuir para a preservação do meio ambiente promovendo a destinação apropriada desses materiais residuais, que não deveriam ser descartados na natureza. Melhoraria do CAA.

3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Desde o limiar do terceiro milênio, as indústrias da construção civil vêm sendo citadas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e/ou poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes.

A eliminação dos resíduos industriais gerados por empresas mineradoras é um dos grandes desafios deste século.

O poder público tem demonstrado preocupação com a utilização de resíduos de construção civil e, para isso, em 2002, apresentou as diretrizes do projeto dos resíduos da construção civil estabelecidas pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Essa resolução exige que as prefeituras encontrem soluções para tais resíduos. O principal objetivo do projeto é impedir a geração de resíduos; mas, se gerados, os resíduos poderão ter como destino as usinas de reciclagem a fim de se transformarem em agregados, ou serem depositados em áreas específicas para o aterro de detritos, não podendo mais ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares nem em áreas de “bota-fora”.

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque à necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos. Uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos, de que a construção civil tem um grande potencial, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais.

O setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduo, conforme se indica a seguir.

Retalhos de rocha: este tipo de resíduo é proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Esses retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.

Lama de serraria: é a lama proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Essa lama é o resíduo gerado em maior quantidade, chegando a atingir entre 30% e 40%, em

volume, dos blocos serrados. Porém sua utilização torna-se um pouco complicada, uma vez que são usados abrasivos (granalha - material metálico) e cal, os quais se misturam à lama gerada.

Lama de marmoraria: esta ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, produzidas a partir das chapas geradas nas serrarias. Essas peças podem ser tanto personalizadas, como pias, balcões etc., como também padronizadas como placas, revestimentos, peitoris, entre outros. Essa lama é produzida em 2% do total de volume processado, o que a princípio parece pouco, porém, pensando na produção de um mês bem como de várias empresas, é possível justificar seu estudo neste trabalho, uma vez que o Estado de São Paulo produziu cerca de 336.000 t de rochas ornamentais no ano de 2003, o que significa aproximadamente 7.000 t de lama.

Essa lama é normalmente armazenada em tanques subterrâneos e sua retirada é realizada, geralmente, com pá e transportada por caminhões, sendo esta tema neste estudo.

Em caso de lançamento da lama diretamente nos rios, o assoreamento pode acontecer, poluindo suas águas e gerando impactos como o comprometimento da sobrevivência animal e vegetal no ambiente.

O isopor descartado de forma incorreta leva a uma série de prejuízos à natureza: ocupa muito espaço nos aterros e lixões, que estão saturados, mas poderiam ser destinados a outros resíduos. Por ter a decomposição muito lenta e ser impermeável, prejudica o solo e impede a penetração de água. Quando cai nos rios e mares, além de poluir, podem confundir os animais a pensar que seja alimento.

Um dos problemas do isopor é sua composição: 98% de ar e 2% de plástico. Por isso, quando é derretido, o volume final do poliestireno cai para 10% do seu volume inicial. Por essa razão, a maioria das empresas de reciclagem recusa lidar com esse material. Além de ocupar muito volume, o que encarece seu transporte e, conseqüentemente, a sua reciclagem, exige quantidade muito grande para viabilizar economicamente o processo como um todo. Quando descartado como lixo, ele pode levar cerca de 150 anos para se decompor. Se queimado, produz grande quantidade de gás carbônico, contribuindo para a poluição.

A justificativa para elaboração deste trabalho é estudar a utilização do pó de mármore na produção de Concreto Autoadensável como finos em associação com

Resíduo de Poliestireno Expandido (EPS) na substituição de parte dos agregados miúdos (areia) + agregados graúdos (brita) (10%, 20%, 30% e 40%) em busca de uma alternativa para uma disposição correta deste resíduo, diminuindo o uso de areia e brita, contribuindo assim para a preservação do Meio Ambiente e possível melhoria do CAA.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

Como já foi apresentado, o CAA foi primeiramente desenvolvido no Japão, pelo professor Hajime Okamura na década de 80, em resposta à necessidade de obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos componentes de mistura e ausência da necessidade do adensamento mecânico do concreto.

Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura esco intacta entre barras de aço (ou habilidade passante) e resistência à segregação European Federation of National Associations Representing for Concrete EFNARC, (2002). Furnas (2004) define fluidez como a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços, e habilidade passante, como a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de escoar pela fôrma, passando entre as armaduras sem obstrução do fluxo ou segregação. Já a EFNARC, (2002) define a resistência à segregação como a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por obstáculos. E Tutikian e Molin (2008) dizem que a habilidade do concreto fresco, seja um CAA ou não, de preencher as formas sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem (nichos) é um dos principais fatores que influenciam na qualidade final do concreto endurecido.

O CAA não pode depender de nenhum tipo de ajuda externa para cumprir o seu papel. O uso de vibradores de imersão, régua vibratórias ou qualquer outra forma de compactação é estritamente proibida em CAA. A única forma disponível para esse concreto fluir é o seu próprio peso, ou seja, a ação da força da gravidade em sua massa. O CAA, ao “caminhar” sobre as formas envolvendo obstáculos (eletrodutos, barras de ferro, e outros), não deve segregar, isto é, ter o agregado graúdo separado da argamassa.

Vantagens da utilização do CAA segundo os autores (BARTOS, 2000; BOSILJKOV, 2003; CAMPION; JOST, 2000; COPPOLA, 2000; DE LA PEÑA, 2001; GRAUBNER, 2002; GOMES, 2003; MOLIN, 2008; OUCHI, 1999; TUTIKIAN):

- a) acelera a construção, já que seu lançamento é muito rápido e dispensa o adensamento;
- b) reduz a mão de obra no canteiro porque elimina a vibração e facilita o espalhamento e nivelamento do concreto;
- c) melhora o acabamento final da superfície;
- d) pode aumentar a durabilidade por ser mais fácil adensar e evita, assim, que ocorram falhas de concretagem e grandes vazios resultantes de má vibração;
- e) permite grande liberdade de formas e dimensões, preenche formas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- f) permite concretagens em peças de seções reduzidas;
- g) elimina barulho de vibração, o que é importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- h) torna o local de trabalho mais seguro em função da diminuição do número de trabalhadores;
- i) permite obter um ganho ecológico porque utilizam-se em sua composição altos teores de resíduos industriais;
- j) pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura caso sejam computados economicamente todos os ganhos citados acima.

O CAA pode ser utilizado tanto moldado in loco, como na indústria de pré-moldados, pode ser dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto e depois transportado por meio de caminhão betoneira para as construções. Também pode ser lançado com bomba de concreto, guias ou simplesmente espalhado.

No Brasil, poucos estudos sobre o uso do concreto autoadensável foram realizados. Uma das razões disso se deve ao custo desse tipo de concreto, que pode chegar ao dobro dos concretos convencionais (CC) (AMBROISE et al., 1999, p.556). No entanto, Ambroise et al. (1999, p.556) testaram alguns CAA que tiveram um aumento de apenas 20% no custo dos materiais em relação ao CC e, levando-se em consideração a diminuição do custo com lançamento e adensamento, o valor

final provavelmente decairia. Segundo Grauers (1998, p.5), o custo dos materiais do CAA é apenas 10% superior ao dos materiais do concreto convencional, para uma mesma faixa de resistência à compressão. Na Suécia, o CAA foi utilizado em lajes para residências e a produtividade aumentou em 60% (PERSSON, 2001, p.193). Segundo Proske e Graubner (2002, p. 2), a racionalização do processo de fabricação, somada ao aumento de produtividade e qualidade do CAA, compensa a elevação do custo unitário dos materiais.

O CAA está relacionado ao aumento na produtividade, melhora do ambiente construtivo e pode fornecer contribuições à tecnologia sustentável do concreto, sendo caracterizado como um material ambientalmente amigável e podendo ser obtido com altos volumes de resíduos industriais (CAVALCANTI, 2006).

A gestão adequada dos RCD, segundo Branco (2010), pode acarretar em redução de custos.

A adição de finos no CAA proporciona melhoria em:

- a) preservação de sistema de aterro;
- b) redução dos impactos provenientes de exploração de jazidas naturais de agregados para construção;
- c) preservação de paisagens urbanas;
- d) incentivo às parcerias para a captação, reciclagem e reutilização de RCD;
- e) geração de emprego e renda;
- f) incentivo na redução da geração de atividades construtivas;
- g) redução de custos.

4.2 PROPRIEDADES GERAIS DO CONCRETO

Os materiais de construção civil gozam de propriedades particulares e, normalmente, devem atender aos requisitos de desempenho relacionados às funções a que se destinam. Por conferir as propriedades desejadas, devem estar compatíveis com o processo de produção e com a utilização a que se destinam. Nesse sentido, o material pode ser considerado como “concreto fresco”, ou “concreto endurecido”.

4.2.1 Propriedades das Misturas Frescas

Dentre os aspectos e propriedades do concreto no estado fresco distinguem-se a trabalhabilidade, a viscosidade e a mobilidade.

4.2.1.1 *Trabalhabilidade, mobilidade e viscosidade*

A trabalhabilidade das misturas dos materiais é definida por Neville (1997) como a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma massa com uma perda mínima de homogeneidade. De modo geral, ela está associada as propriedades intrínsecas do material e às ações do processo de produção. A mobilidade é apresentada como a resistência à deformação, relacionada à consistência. Para o caso dos concretos e argamassas, o autor considera a influência das partículas finas contribuindo para o aumento da coesão interna por formação de pasta, em face da elevada superfície específica e a atividade físico-química, e que as partículas grossas atuam como agentes de oposição em face dos fatores de atrito e de inércia apresentada. Quanto à viscosidade, segundo Gomes (1986), ela é a resistência que um fluido apresenta no escoamento, influenciando na variação de sua deformabilidade mediante um esforço aplicado, e a reologia permite que se estabeleçam regimes de comportamento para a variação dessa com o tempo e da variação do esforço aplicado.

Bauer (1994) considera a trabalhabilidade como uma propriedade que pode ser atendida ou não, que o concreto se mantenha homogêneo durante o todo o processo de produção, desde as fases de mistura até as de lançamento e de adensamento nas formas. Como patologias conhecidas pelo concreto na fase do estado fresco, e que tenham relação com a trabalhabilidade, indicando um concreto não trabalhável, têm-se a segregação e a exsudação, e pode-se falar nos bloqueios e na formação de ninhos ou de vazios na estrutura, decorrentes de um mau preenchimento.

4.2.1.2 Segregação

A compreensão de segregação pode ser apresentada, segundo Neville (1997), que afirmou que uma forma de visualizar a segregação é na superfície de uma mistura quando a pasta de cimento tende a apresentar mais de uma fase e, além disso, a segregação, embora seja visível em concretos, não é fácil ser mensurada, podendo-se utilizar o ensaio de fluidez para ser observada, uma vez que os golpes durante o ensaio provocam a segregação, e se a mistura não estiver coesa, as partículas separam-se e a água desloca-se para a borda do círculo, formando as franjas.

4.2.1.3 Exsudação

Segundo Neville (1997), o fenômeno da exsudação ocorre quando a água da mistura sobra da hidratação com o cimento e sobe à superfície, em função de ser o material mais leve da composição. Em função disso, a exsudação pode ser considerada uma forma especial de segregação, em que parte da água da mistura se separa da massa.

4.2.1.4 *Influência dos materiais componentes nas propriedades do concreto no estado fresco*

Conforme Alcantara (2004), com base em Li (2001) e Bentur (2002), a água tem sido tradicionalmente utilizada para se promover as condições de trabalhabilidade do concreto, porém, ela é limitada quanto ao poder de promover a desfloculação do cimento. O superplastificante tem maior eficácia para isso quando atua pelo processo etrostático e estérico, promove boas condições de desfloculação do cimento e permite o melhor contato da água com as partículas do cimento, ainda segundo Alcantara (2004), Os finos adicionados ao concreto também são importantes para que se alcancem as condições reológicas desejadas para o concreto fresco. As partículas podem ter efeito sobre as condições de fluidez, tanto pela ação lubrificante, quando a forma e as condições de superfície auxiliam, como pela ação de superfície, absorvendo então parte da água de amassamento e reprimindo o escoamento.

De acordo com American Forage and Grassland Council - AFGC (2000), se o superplastificante for acrescido em excesso, o teor crescente induz à diminuição da viscosidade do concreto e ao favorecimento dos riscos de exsudação e de segregação.

Cabe considerar ainda os conceitos da literatura básica, como Bauer (1994) e Neville (1997), distinguindo os papéis dos materiais granulares e dos finos na mobilidade do concreto. Um destaque é dado aos agregados em razão de sua atuação por inércia e por atrito, assim como os materiais finos tendem a ter atuação por formação de pasta, em razão de suas elevadas superfícies específicas. Alcântara e Lima (2009) chamam a atenção às diferenças de tolerâncias quando se utilizam finos de origem diferente, com base na relação finos/cimento, em razão de diferentes aspectos como a elevada finura, assim como das condições de atrito da parte dos finos, causando influências nas condições de fluidez e de adequação dos concretos com ele utilizados como autoadensáveis. Por exemplo, os autores apresentam, para se obterem condições iguais quanto ao diâmetro de espalhamento em ensaio slump-flow, a relação finos/cimento adotada. Para o caso do pó de pedra foi de 0,55, enquanto para o caso de cinzas de casca de arroz essa relação foi da ordem de 0,35.

Com relação aos casos do uso de cinzas de bagaço de cana, Alcântara e Santos (2012) apresentam que para o caso de se adotar a relação finos/cimento variação da ordem de 0,35 a 0,50, notou-se que a cinza de bagaço de cana apresentou grande eficácia no controle da segregação do concreto.

A adição de finos no CAA proporciona melhoria em diversas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido. Segundo Bosiljkov (2003), acredita-se que os finos atuam como pontos de nucleação, isto é, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento sofram reação mais rápida com a água, ocasionando ganhos de resistência nas primeiras idades. Atuam ainda no aumento do pacote de finos, fazendo com que haja um crescimento na densidade da pasta, dificultando a penetração de agentes agressivos e melhorando a zona de transição.

4.2.2 Propriedades do concreto endurecido

Estas são importantes para o concreto porque estão relacionadas

diretamente à fase de desempenho do material, envolvendo as condições de solicitações de diversas formas, tais como as mecânicas, térmicas, de ataques químicos, e outras conforme o contexto de trabalho. Nesse sentido, destacam-se a resistência mecânica, as condições de deformabilidade e de elasticidade, a retratilidade e as condições de permissividade, tais como a absorção e a permeabilidade. Segundo a literatura clássica, como Petrucci (1980) e Bauer (1994), algumas delas podem influenciar em outras, como no caso de dilatações, implicando esforços mecânicos, assim como outras podem implicar condições de durabilidade do material, como no caso da permeabilidade.

4.2.2.1 Resistência mecânica

Os fatores que determinam a resistência mecânica à compressão simples dos concretos são:

- a) A relação água/cimento. Da hidratação do cimento Portland resultam cristais entrelaçados, os quais proporcionam a criação de um arranjo resistente. Mas nem toda água adicionada ao concreto é utilizada pelo cimento para a sua hidratação, devendo o restante dela ser importante para a condição favorável ao manuseio do concreto. Essa água que sai pela evaporação permite a criação de vazios. E constituem-se em fraqueza para o material. Aitcin (2000), citado em Andrade e Tutikian (2011), chama a atenção de que o conceito da relação água/cimento (a/c) tem sido o pilar da tecnologia do concreto por quase um século, do mesmo modo que Mehta e Monteiro (2011) e Neville (1997) chamam a atenção da experiência de Abrams, em que a resistência mecânica do concreto é inversamente proporcional ao valor da relação a/c. Por outro lado, a relação água/cimento tem por finalidade hidratar as partículas de cimento para que se alcancem as condições de formação de gel e cristais resistentes do cimento Portland. Nesse sentido, a diminuição do valor da relação água/cimento é limitada ao valor mínimo de 0,38, conforme (NEVILLE, 1997);
- b) Essa relação, água-cimento, é importante visto que o concreto precisa ser plenamente adensado de modo que não contenha vazios em seu

interior. Neville (1997) apresenta a importância das condições plenas de adensamento, buscando associar a massa específica relativa e a resistência relativa, em que estão relacionadas aos valores máximos de massa específica no estado fresco e os valores de resistência à compressão;

- c) A Idade. O cimento apresenta ganho de resistência mecânica a longo prazo, conforme se desenvolve o processo lento de hidratação interno, e componentes diferentes do cimento apresentam períodos distintos para a contribuição com o ganho de resistência, como apresenta (PETRUCCI,1980). Em face desses processos e somadas às suas próprias peculiaridades, o material concreto apresenta ganhos de resistência mecânica em longo prazo, até a estabilização. Petrucci (1980) apresenta fórmulas de correlação para se estimar o ganho de resistência mecânica do concreto aos 28 dias a partir de intervalos menores de tempo. Essas fórmulas são apresentadas a seguir.

$$f_{c28} = 1,25 \text{ a } 1,50 f_{c7}$$

$$f_{c7} = 1,35 \text{ a } 1,65 f_{c3}$$

$$f_{c28} = 1,70 \text{ a } 2,50 f_{c3}$$

- d) Segundo Andrade e Tutikian (2011), devido ao fato de que, para os casos dos concretos de nova geração, as pastas tendem a ser mais resistentes, e a ruptura não se dá mais somente na pasta ou na zona de transição, podendo os agregados também sofrer ruptura. Nesse caso, a ruptura será pelas características e propriedades do agregado graúdo, como a forma e a graduação, composição mineralógica, diâmetro máximo e, sobretudo, pelas condições de aderência. Segundo Bauer (1994), os agregados que apresentam granulometria contínua podem ser melhor adensados, e promovem também melhor condição de manuseio. Quanto à forma, tem-se que os agregados mais arredondados também apresentam melhor condição de manuseio e adensamento;

- e) Tipo de cimento. Existem cimentos que apresentam valores nominais de

resistência mecânica maiores do que outros, o que certamente influencia na resistência do concreto. A isso, segundo Andrade e Tutikian (2011), podem-se associar as condições de finura, proporção entre os elementos ativos e as adições incorporadas;

- f) Presença de adições ativas. Segundo Andrade e Tutikian (2011), as adições ativas permitem trazer benefícios aos concretos tanto no estado fresco, diminuindo a segregação, como no estado endurecido por meio do efeito fíler e das possíveis reações pozolânicas são minimizadas. Dessa forma a porosidade e as condições de permeabilidade, diminuindo a migração de íons e de elementos agressivos ao concreto;
- g) Fatores tecnológicos. A condição de preparo do concreto e a cura podem implicar significativamente a resistência mecânica desse. Aspectos como a correção da água a se adicionar no concreto (tendo em vista a água já presente nos agregados) podem implicar a relação água/cimento, e esta, na resistência mecânica final.

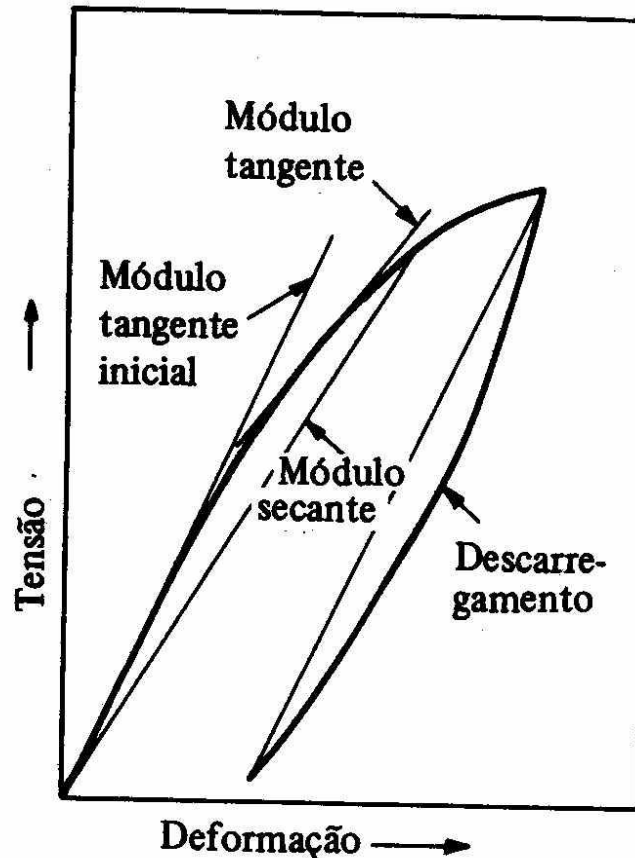
4.2.2.2 Módulo de elasticidade

A resistência à compressão é uma propriedade importante para o concreto endurecido, todavia qualquer tensão é acompanhada de uma deformação, e uma deformação também pode induzir a uma tensão aplicada no material. O concreto é um material que pode ser compreendido como elástico dentro de certos limites, não implicando obrigatoriamente linearidade entre as relações de tensão e de deformação. Segundo Neville (1997) e Shehata (2011), os valores das relações entre tensão e deformação são aplicáveis conforme a lei de Hooke até certos limites de tensão. Outro aspecto da deformação do concreto é que, quando sobre este é mantido um carregamento, ele sofre fluência, a qual é a deformação lenta percebida pelo concreto ao longo de sua vida útil.

A Figura 1 apresenta a variação da deformação do concreto com relação à tensão aplicada. Observa-se que a curva tensão-deformação é composta por um trecho retilíneo, podendo este existir ou não, e é seguido por uma concavidade e modificação das taxas de deformação conforme um modelo não linear. Disso atribui-se como causa o fechamento de pequenas fissuras de retração pré-existentes. Observa-se que o nível de deformação do concreto é variável com o nível de tensão

aplicada com relação à ruptura. Distingue-se, então, conforme citado, o módulo de elasticidade inicial, com pouca importância prática, o módulo tangente inicial, o módulo tangente e o módulo secante. Para fins práticos de projetos, o módulo secante é o mais adequado para ser adotado.

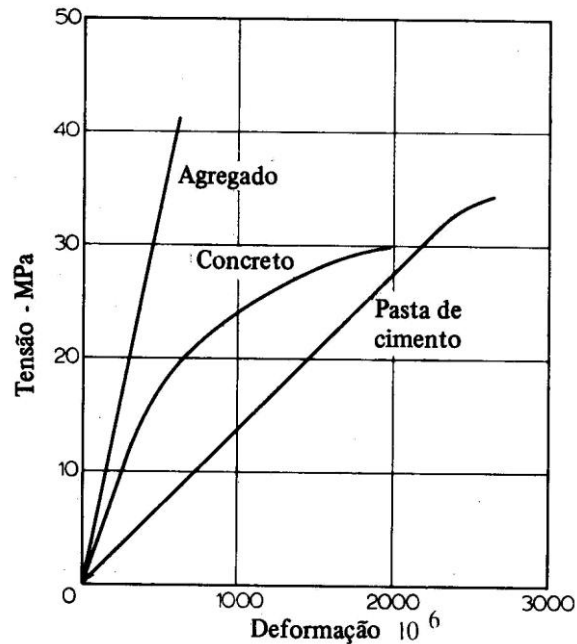
Figura 1 - Representação esquemática da relação entre a tensão e a deformação do concreto



Fonte: Neville (1997)

Do ponto de vista das partes que constituem o concreto, tanto a pasta endurecida como os agregados apresentam variação linear e deformação com relação ao valor da tensão, conforme ilustra a Figura 2, de Neville (1987), com o concreto apresentando um valor de módulo tangente inicial intermediário e um comportamento não linear. Considera o citado autor que a razão da curvatura no material concreto é atribuída às microfissuras que surgem nas interfaces dos agregados com a pasta, diminuindo a área efetiva que resiste às cargas. Neste processo, as microfissuras evoluem rapidamente. Nesse sentido, a deformação aumenta em uma razão muito maior do que a da tensão aplicada.

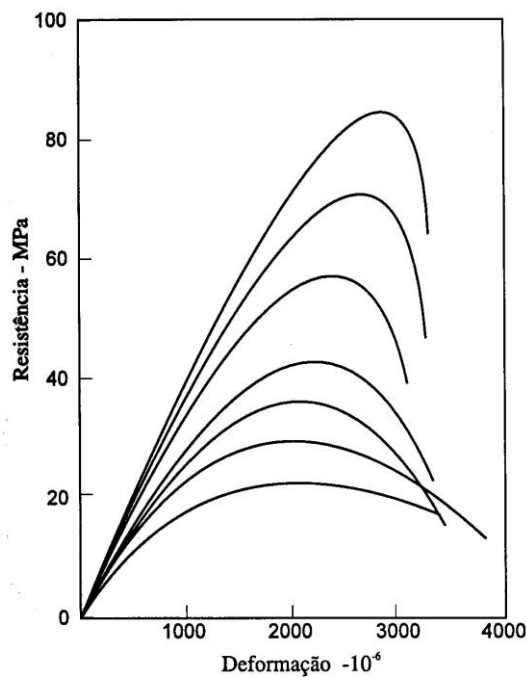
Figura 2 - curvas tensão deformação da pasta de cimento, do agregado e do concreto



Fonte: Neville (1997).

Ainda, dentro dos níveis de tensão aplicados em obras correntes, os concretos mais resistentes apresentam menor deformabilidade. Isso é explicado pelo fato da resistência do concreto ser influenciada pela relação gel/espaço, de modo que esta tem influência sobre a rigidez do material cimentício.

Figura 3 - exemplos de curvas tensão-deformação de corpos de prova de cilíndricos de concreto com resistência de até 85 MPa



Fonte: Neville (1997).

Outro aspecto apresentado, por Neville (1987) é que, quando se pode fazer o carregamento incluindo a fase pós-pico, os concretos com agregados leves tendem a ser mais frágeis do que os que contêm agregados mais pesados.

4.2.2.3 Os concretos autoadensáveis e as propriedades elásticas

Um aspecto sobre o concreto autoadensável é o fato possível de apresentar comportamento peculiar, em razão de sua elevada porcentagem de pasta e de seu baixo volume de agregados graúdos com relação ao volume total do concreto, comparativamente aos casos dos concretos convencionais, isto de modo à favorecer a mobilidade e reduzir os riscos de bloqueios em peças de seções reduzidas AFGC (2000). De modo geral, a retratilidade do concreto pela hidratação e secagem, o módulo de elasticidade e os níveis de fluência alcançados pelo concreto endurecido são discutidos em estudo bibliográfico apresentado em Alcantara (2004) e considerados dentro da mesma faixa de tolerância que, para os concretos convencionais, sobretudo, com melhorias do ponto de vista da durabilidade esperada.

4.2.2.4 Porosidade e absorção do concreto

Os concretos convencionais, segundo Petrucci (1980), em razão da porosidade do concreto, dependente dos vazios existentes no concreto endurecido, e somada a característica de higroscopicidade, pode absorver água. Além da condição natural do concreto, os sais presentes podem contribuir para que ele seja mais higroscópico ainda. Quando os vazios são interconectados, o material adquire a condição de ser permeável. Bauer (1994) considera que o valor da permeabilidade do concreto é função da relação água/cimento, a qual se torna muito elevada para valores superiores aos da ordem de 0,55.

Os meios pelos quais a água pode ter acesso às estruturas podem ser a filtração sob pressão, a difusão e a capilaridade. O fenômeno da ascensão capilar é o que ocorre em tubos finos, e sendo muitas vezes os poros do concreto finos e conectados, constituem-se em um canal capilar. A difusão é um fenômeno natural de homogeneização da umidade pelo material. A literatura apresenta, para os casos

mais recentes, as possibilidades de que o concreto seja mais compacto, durável com o uso de adições ativas e de superplastificantes, de modo a se reduzir a quantidade de água incorporada e obter-se concretos com melhor qualidade (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

4.2.2.5 Retratilidade

A retratilidade do concreto é a variação de suas dimensões ao longo do período de cura e de hidratação do cimento. Essas podem ser do tipo como o de secagem, tendo em vista a saída da água e a aproximação dos grãos e de hidratação, quando na formação de produtos hidratados. A literatura clássica, tais como Petrucci (1980) e Bauer (1994), associa à magnitude da retração com: a quantidade de água incorporada, ao consumo de cimento, ao tipo de cimento, à quantidade de finos, e as condições de exposição do concreto durante a cura. Os autores, de modo geral, a associam-na com o processo de fluência do concreto endurecido (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Alcântara (2004) traz à discussão algumas informações em que o meio técnico considera que, nos casos dos concretos autoadensáveis, os efeitos da retração e da fluência sejam maiores do que nos casos dos concretos convencionais, tendo em vista uma grande quantidade de pasta na composição. Ressalta o citado autor que, segundo informações de revisão bibliográfica, os efeitos da retratilidade dos concretos autoadensáveis são maiores do que o dos convencionais nas idades de até 28 dias, vindo a se estabilizar, e que, tanto a retratilidade como a fluência se encontraram normalmente dentro da faixa de variação e de tolerância que são encontradas nos concretos convencionais.

4.3 AVALIAÇÕES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO ESTADO FRESCO

O concreto autoadensável no estado fresco são, normalmente, realizadas com o fim de se obter a validação das composições.

4.3.1 Slump Flow Test

O ensaio de espalhamento (SLUMP FLOW TEST) foi padronizado no Japão em 1990 (JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS- JSCE,1990). Consiste em verificar se o concreto sob determinada força, provocada pelo seu próprio peso, é capaz de se espalhar até atingir determinada dimensão em determinado tempo e uma dimensão limite. É um ensaio utilizado para verificar a capacidade de preenchimento do CAA diretamente relacionado a sua fluidez. Esse ensaio é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar. A medida de fluidez a ser obtida do CAA é o diâmetro do círculo formado pelo concreto.

O teste de espalhamento (Slump Fow test) é um teste simples e que exige poucos materiais, o que habilita ser usado em canteiros de obra e não somente em laboratórios.

Para sua execução, são necessários os seguintes equipamentos:

- a) Base quadrada, lisa, reta e de material sólido que não solte material com dimensões de, no mínimo, 90cm X 90cm. Observe a figura 4;
- b) Cone de Abrams com diâmetro superior a 10cm e inferior a 20cm, com altura de 30cm. Observe a figura 4;
- c) Cronômetro;
- d) Colher do tipo concha ou um balde;
- e) Trena ou régua de no mínimo 90 cm.

O ensaio permite observar visualmente se o concreto está segregado ou não.

Procedimento: Primeiramente, deve-se umedecer a placa e o tronco de cone de Abrams para que não absorvam água do concreto durante o ensaio. Depois, colocar a placa sobre um chão firme e nivelado e o tronco de cone no centro da base, segurando-o firmemente sobre o círculo de 200 mm. Aproximadamente, seis litros de concreto serão necessários para a execução do ensaio. Com a concha côncava, deve-se preencher com concreto e, com espátula, remover o excesso do

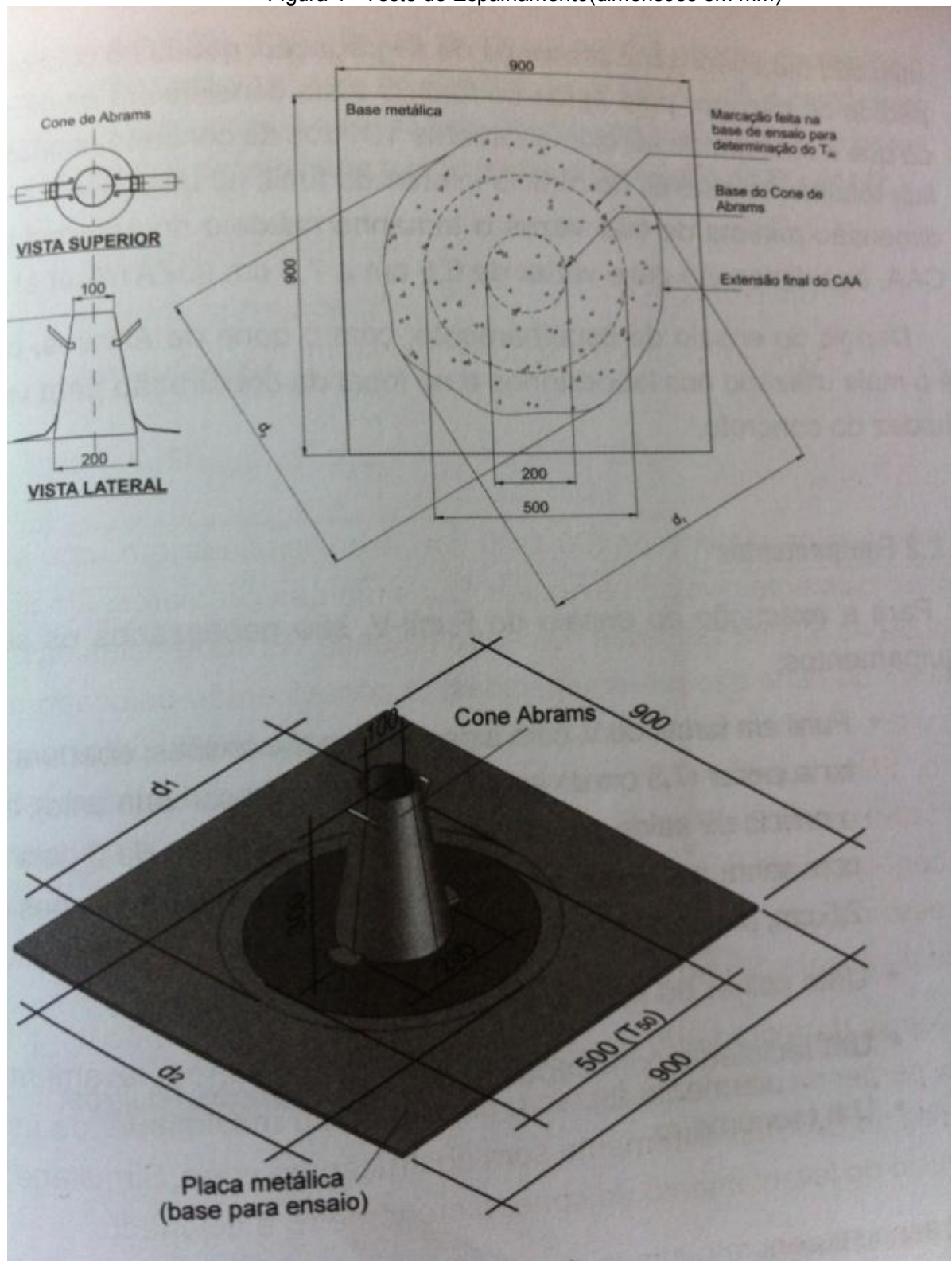
topo do cone. O adensamento deve ser feito pela força da gravidade, não devendo ser realizado qualquer tipo de compactação. Remover também qualquer tipo de excesso de concreto na placa, e então, erguer verticalmente o cone. Permitir que o concreto flua livremente e medir o diâmetro do espalhamento em duas direções perpendiculares. A média dessas medidas é o valor do slump flow. Durante o ensaio, é importante a observação de ocorrência ou não de segregação.

Espalhamento muito baixo indica que o concreto está pouco fluido. Assim, é necessário fluidificar o material com água ou aditivos superplastificantes. E, se a medida estiver elevada, deve-se tornar o concreto mais coeso, porque estará muito fluido e, provavelmente, segregado.

A figura 5 mostra o exemplo de um CAA sem segregação, e a figura 4.3.1 C mostra o exemplo de um CAA com segregação.

Segundo Gomes e Barros (2009), o diâmetro final do ensaio de um CAA deve estar entre 600 e 800mm .

Figura 4 - Teste de Espalhamento(dimensões em mm)



Fonte:Gomes e Barros (2009).

Observe, nas figuras 5 e 6, os exemplos do CAA sem e com segregação visível.

Figura 5 - Exemplo de CAA sem segregação



Fonte: Tutikian e Molin (2008).

Figura 6 - Exemplo de CAA com segregação visível



Fonte: Tutikian e Molin (2008).

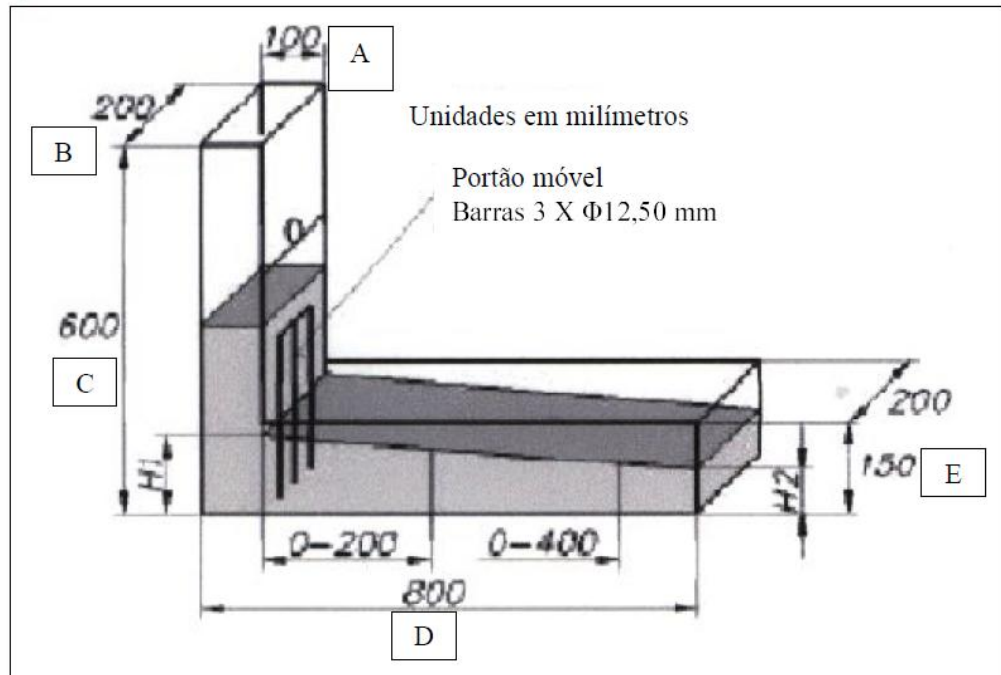
4.3.2 Ensaio da Caixa em L – (L- Box test)

O ensaio da caixa em L mede a fluidez do concreto e simultaneamente a sua capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso somente sob a força de seu próprio peso, sem que ocorra bloqueio. Os obstáculos da caixa em L são barras que simulam a presença das armaduras no concreto. Serve para avaliar a capacidade passante do CAA em espaços reduzidos e também a sua capacidade de preenchimento das formas sem perder a coesão e sem necessidade de vibração mecânica.

Para a execução do ensaio da caixa em L, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) uma caixa em forma de L conforme a Figura 7;
- b) um balde;
- c) um cronômetro;
- d) uma trena ou régua de, no mínimo, 60 cm.

A caixa em L foi colocada em piso nivelado, suas paredes foram umedecidas com água. O concreto foi lançado na parte vertical da caixa em L, à seguir foi efetuado o levantamento da comporta e simultaneamente foi cronometrado o tempo em que o CAA demorou em atingir a marca de 400 mm. Quanto mais fluida estiver a mistura, mais rápido chegará à marca e mais nivelada terminará. A movimentação do concreto também foi observada.

Figura 7 - medidas do *l*-box recomendadas

Fonte: Tutikian e Molin (2008).

4.3.3 Ensaio do Funil- V (V- Funnel test)

O ensaio do Funil serve para verificar a fluidez do CAA, permite avaliar a capacidade do concreto fresco passar entre pequenas aberturas, o que envolve a viscosidade, através do tempo que o material leva para escoar pelo funil.

Para a execução do ensaio do Funil- V, foram necessários os seguintes equipamentos:

- a) funil em forma de V;
- b) colher do tipo concha;
- c) dois baldes com capacidade para mais de 10 litros;
- d) um cronômetro.

O ensaio foi realizado da seguinte maneira primeiro foi umedecido o Funil em forma de V com água, a porta do orifício de saída foi fechada, um balde foi colocado de baixo do funil, de modo a reter o concreto passante. O Funil foi preenchido com os 20 kg de CAA, que foi colocado em um balde, removeu-se o excesso e abriu-se a porta de saída. Simultaneamente, no momento em que foi aberta a porta, o cronômetro foi disparado e no momento que todo o material passou

pelo orifício, o cronômetro foi parado. O tempo registrado é denominado tempo de fluxo do ensaio do Funil-V.

Figura 8 – V-Funnel sendo utilizado



Fonte: Tutikian e Molin,(2008).

4.3.4 Ensaio de Segregação por peneiramento

Existem alguns métodos para se estimar a segregação potencial do CAA. Um ensaio para verificar a segregação pode ser feito conforme o ensaio de peneiramento, proposto pela AFGC (2000), o qual é realizado com a utilização de peneira 4,76 mm, onde, coloca o conjunto (peneira + fundo) na balança, tarava-a e despeja-se uma quantidade fixa de mistura na peneira para, assim, verificar a quantidade de material que fica retido em relação ao total de mistura despejado.

Valor medidos: Quanto aos resultados do ensaio de segregação, a eles poderia atribuir um valor dado por “II” o qual deveria ser limitado a 15 para que a composição pudesse ser considerada estável.

A Figura 9, mostra o Ensaio de Peneiramento sendo realizado.

Figura 9 – Ensaio de Peneiramento sendo realizado



Fonte: Dados do Próprio Autor.

4.3.5 Ensaio J-ring test

O ensaio J-ring test é uma complementação do slump flow test, do orimet test ou ainda do v-funnel test, porque esses testes não tentam simular as armaduras de uma estrutura real. É constituído por um anel de barras de aço espaçadas conforme a armadura real que se deseja simular. Mas, normalmente, o diâmetro é de 300 mm, a altura de 100mm e o espaçamento entre as barras deve ser maior que 3 vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo. A figura 10 ilustra o j-ring em conjunto com slump flow test. Essa combinação de testes permite a verificação de a fluidez e habilidade do concreto passar por obstáculos, sendo a última devido ao j-ring test. Pode ainda verificar visualmente a segregação da mistura, uma vez que, ao passar pelo anel, a argamassa não deve separar-se do agregado graúdo.

Para a execução do ensaio do J-ring test, são necessários os seguintes equipamentos:

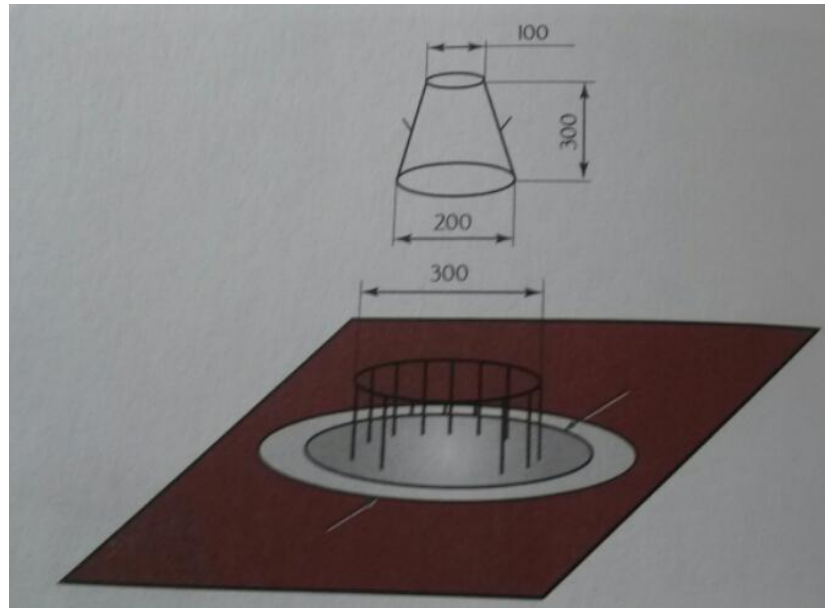
- a) anel metálico;
- b) tronco de Cone;
- c) base do slump flow;
- d) colher do tipo concha;
- e) trena;
- f) um cronômetro;
- g) espátula.

O ensaio foi realizado da seguinte maneira:

Devem-se umedecer os equipamentos e colocá-los sobre um chão firme e nivelado para que se preencha o cone de concreto até o topo, sem compactação externa ou vibração de qualquer natureza. Depois, levanta-se o molde verticalmente e cronometra-se o tempo em que o concreto alcança círculo de 500mm e mede o espalhamento em duas direções perpendiculares para o cálculo do slump flow. Em seguida, medem-se as alturas interna e externa do anel de barras de aço em quatro pontos diferentes e calcula-se a média aritmética da diferença entre as alturas, que é a medida do j-ring. Pode-se ainda verificar visualmente a ocorrência de segregação, pois, se o agregado graúdo se separar da argamassa do concreto quando fluir às extremidades ou quando passar pelo j-ring, significa que a mistura não está coesa suficiente, necessitando de ajustes. O valor do ensaio é a diferença de altura entre o concreto imediatamente interior e imediatamente exterior do anel, e não pode exceder 10mm.

Ensaio de Slump Flow test com complementação do J-ring test. Observe a Figura 10.

Figura 10 – Ensaio de Slump Flow test com complementação do J-ring test



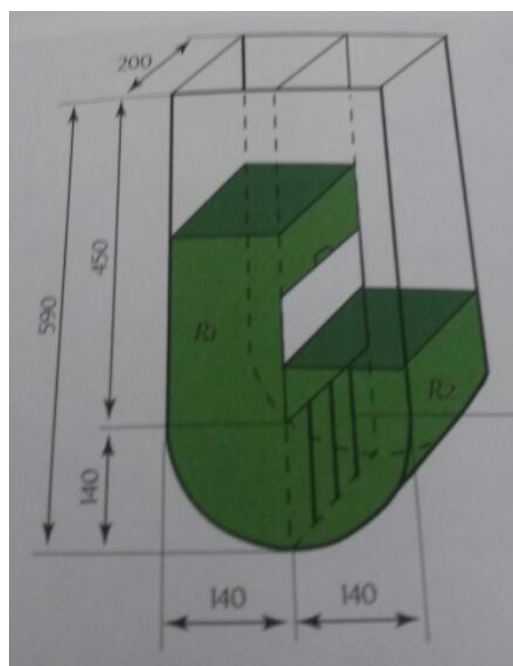
Fonte: EFNARC, (2002).

4.3.6 Outros ensaios

Outros ensaios são citados na literatura, tais como:

- a) **U-box test:** mede a fluidez e a capacidade do concreto de passar por obstáculos sem segregar. Observe a figura 11, as medidas do U-box recomendadas;

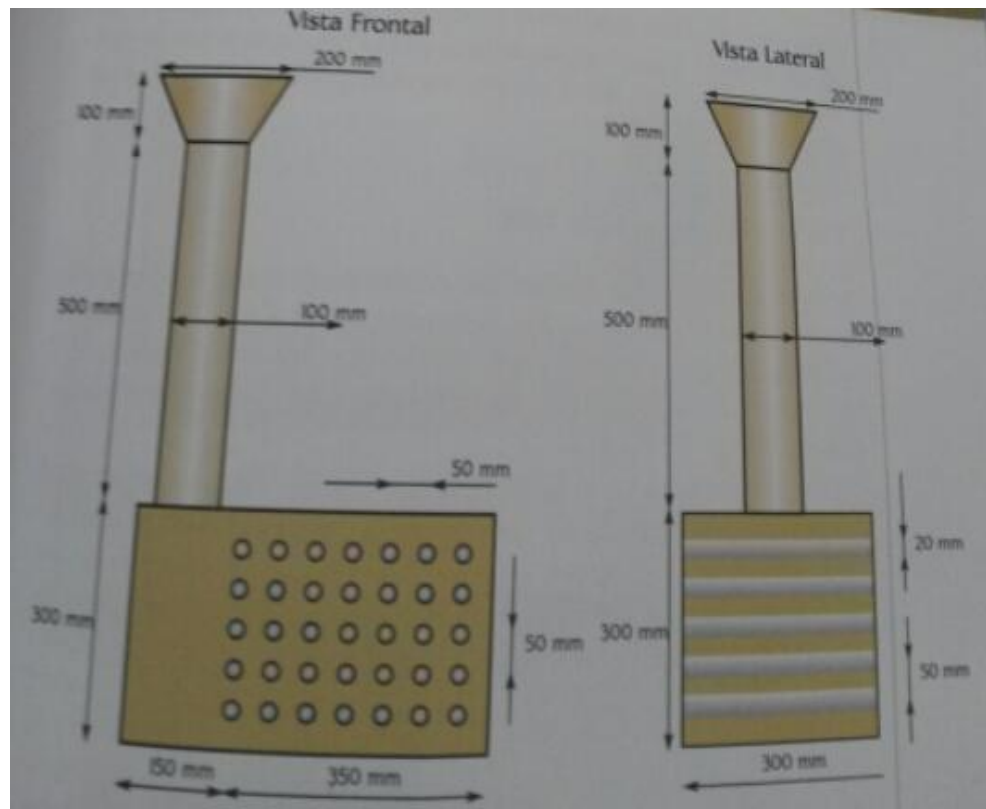
Figura 11 – Medidas do U-Box recomendadas



Fonte: EFNARC (2002).

b) Fill-box test: mede a capacidade do concreto passar coeso, sem segregar, por obstáculos como armaduras e eletrodutos. Observe a figura 12, com as medidas do Fill Box recomendadas;

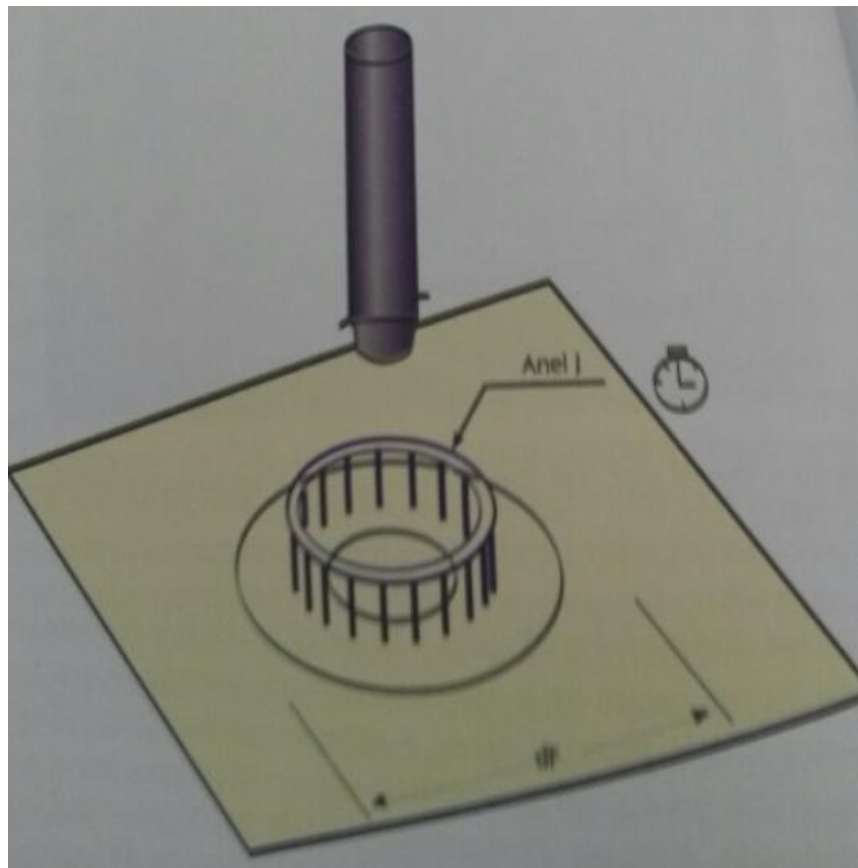
Figura 12 – Medidas do Fill Box recomendadas



Fonte: EFNARC (2002).

c) **Oriment test:** mede a fluidez do material e avalia a sua capacidade de passar por obstáculos sem segregar caso coloquem duas barras perpendiculares de 10mm. Também é possível realizar em conjunto com o j-ring, para que não seja necessário adicionar as duas barras. Observe a figura 13 que mostra o ensaio Oriment test em conjunto com o J-ring test;

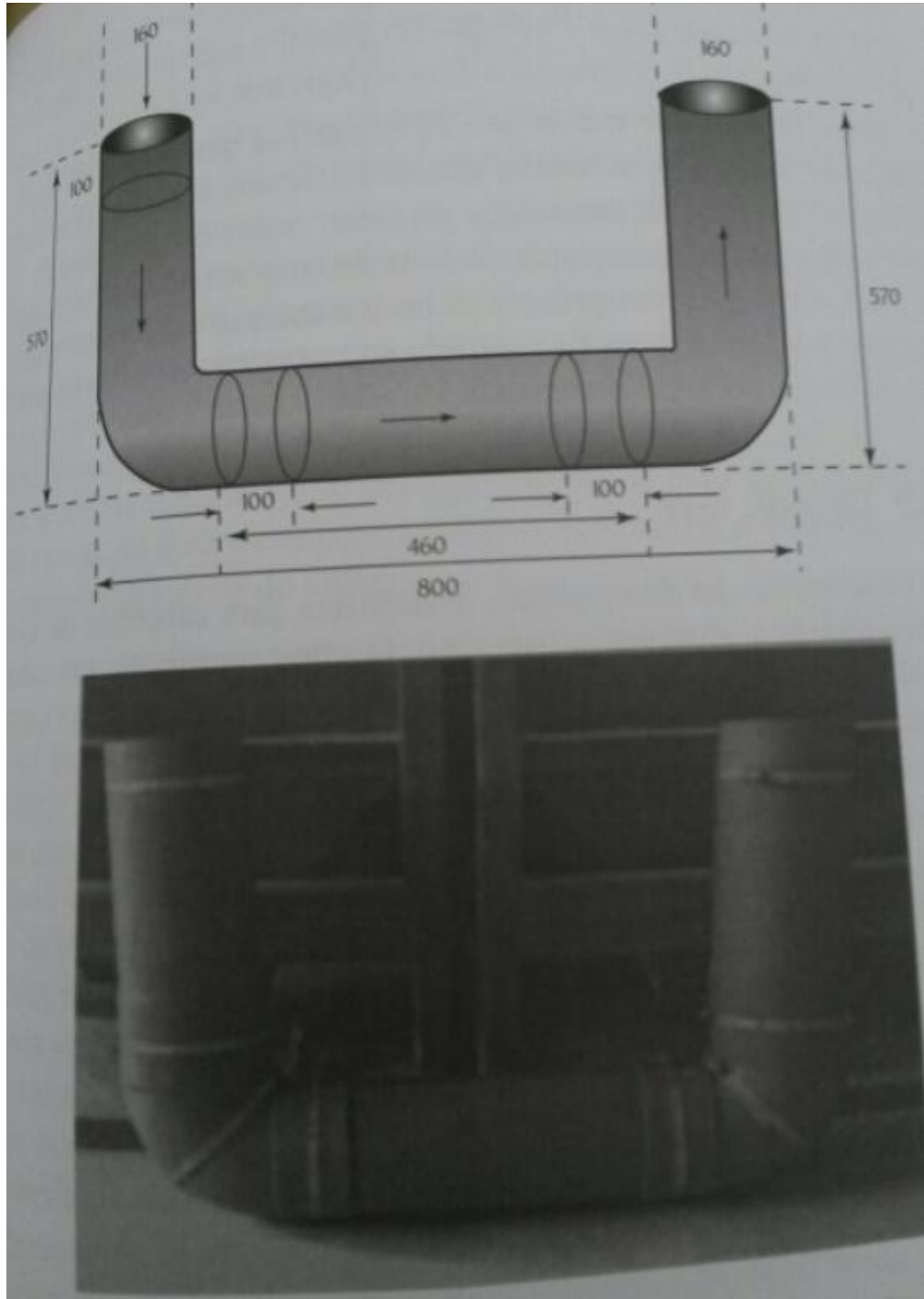
Figura 13 – Ensaio do oriment test em conjunto com J-ring test



Fonte: Tutikian e Molin (2008).

d) **U-shaped pipe test:** mede a resistência à segregação de um CAA.

Figura 14 – Medidas do U-shaped pipe, em mm, recomendadas e forma após desfôrma



Fonte: Tutikian e Molin (2008).

4.4 ADIÇÕES MINERAIS

As adições minerais têm sido já ressaltadas no desenvolvimento deste capítulo. São materiais finamente moídos incorporados ao concreto com a finalidade de obter características específicas. Esses são geralmente utilizados em grande quantidade, com a finalidade de reduzir os custos e melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, podendo até melhorar a sua resistência à fissuração térmica, à expansão álcali agregado e ao ataque por sulfatos (METHA; MONTEIRO, 2008)

Segundo Mehta e Malhota (1996), os principais benefícios alcançados com a utilização de adições minerais são: 1) ambiental: quando a adição é um resíduo industrial, pois evita que o material seja lançado no ambiente sem nenhuma finalidade benéfica; 2) econômico: pela substituição parcial do cimento, o que reduz o seu consumo e, conseqüentemente, o custo do m³ do concreto, 3) tecnológico, pela melhora das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

Observou-se que elas apresentam peculiaridades quanto a suas características, de modo a podem ser utilizadas como finos no concreto. Algumas delas têm sido já utilizadas tornando-se como materiais convencionais para a fabricação do concreto, e outras ainda estão em fase de estudos para a compreensão do seu desempenho. Dentre eles, apresenta-se o pó de mármore, resíduo de marmoraria que normalmente são descartados como subprodutos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Neste capítulo, serão descritos os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

5.1.1 Cimento Portland

O cimento escolhido foi o mesmo normalmente adotado para a produção de concretos estruturais convencionais, o Cimento do tipo Portland Comum CP II-Z-32, Cimento Portland composto com pozolana, que tem diversas possibilidades de aplicação, sendo um dos mais utilizados no Brasil. O CP II-Z-32 leva, em sua composição, de 6 a 14% de pozolana. A caracterização do cimento é apresentada na Tabela 5.1.1, a partir de informações dos setores de produção, tanto do ponto de vista físico como químico, destacando-se os ensaios de peneiramento – NBR 9202(1995), Finura Blaine NM 76 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 1998), tempo de pega NM65 (ABNT,1996), massa específica absoluta NM23(ABNT2000), massa específica aparente- NM 52 (ABNT,1992) e a resistência à compressão do cimento NBR-7215 (ABNT,1996).

Tabela 1 - Tabela de Caracterização do Cimento

CP II-Z-32	Especificações ABNT	Especificações ABNT
ENSAIOS FÍSICOS		
Blaine (cm ² /g)	≥2600	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	≥1	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	≤10	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	≤12,0	NBR 11579
Finura na peneira # 325 (%)	-	NBR 9202
Expansibilidade a quente (mm)	≤5,0	NBR 11582
Consistência normal (%)	-	NBR NM 43
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	-	NBR 7215
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	≥10,0	NBR 7215
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	≥20,0	NBR 7215
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	≥32,0	NBR 7215
ENSAIOS QUÍMICOS		
Perda ao fogo (%)	≤6,5	NBR 5743
Resíduo insolúvel (%)	≤16,0	NBR 5744
Trióxido de enxofre - SO ₃ (%)	≤4,0	NBR 5745
Óxido de cálcio livre - CaO Livre (%)	-	NBR 7227
Óxido de magnésio - MgO (%)	≤6,5	NBR 9203
Óxido de alumínio - Al ₂ O ₃ (%)	-	NBR 9203
Óxido de silício - SiO ₂ (%)	-	NBR 9203
Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃ (%)	-	NBR 9203
Óxido de cálcio - CaO (%)	-	NBR 9203
Equivalente alcalino (%)	-	-

Fonte: CP... (2005)

5.1.2 Agregado Miúdo

Utilizou-se a areia natural como agregado miúdo. A caracterização do agregado miúdo seguiu as especificações da análise granulométrica do agregado - NBR 7217 (ABNT, 1997), ensaio de absorção- NM 52 (ABNT,1996), massa

específica absoluta – NBR 9937 (ABNT,1996), massa específica aparente – NM52(1996) e materiais pulverulentos – NBR 7218 (ABNT, 1987). Suas características físicas estão apresentadas na Tabela 2 - Tabela de Caracterização do Agregado Miúdo – Areia Natural

Tabela 2 - Tabela de Caracterização do Agregado Miúdo – Areia Natural

Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica absoluta (g/cm ³)	Absorção (%)	Material pulverulento (%)
4,75	2,51	1,51	2,646	0,38	0,26

Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 15 - Foto Areia Natural



Fonte: Dados do próprio autor.

5.1.3 Agregado Graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo o material britado de origem basáltica, cuja caracterização seguiu as especificações da ABNT: análise granulométrica do agregado graúdo- NBR 7217 (ABNT,1997), ensaio de absorção- NM 52 (ABNT,1996), massa específica absoluta – NBR 9937 (ABNT,1996), massa

específica aparente – NM52(1996) e materiais pulverulentos – NBR 7218 (ABNT, 1987). Suas características físicas estão apresentadas na Tabela 3 - Tabela de Caracterização do Agregado Graúdo – Brita.

Tabela 3- Tabela de Caracterização do Agregado Graúdo – Brita Basáltica

Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica absoluta (g/cm ³)	Absorção (%)	Material pulverulento (%)
19	6,87	2,651	2,883	0,28	1,19

Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 16 - Brita Basáltica



Fonte: Dados do próprio autor.

A escolha do agregado graúdo se deu conforme orientação de Gomes e Maestro (2005), aos quais recomendam que a dimensão máxima característica do agregado graúdo seja inferior a $2/3$ do espaçamento entre barras ou grupo de barras e a $3/4$ do comprimento mínimo de concreto das armaduras. Na prática, não utilizar tamanho máximo superior a 19 mm, sendo habituais os tamanhos compreendidos entre 12,5 e 19 mm.

O agregado graúdo adotado para a pesquisa foi brita de 19 mm dentro das recomendações de (GOMES; MAESTRO, 2005).

5.1.4 Aditivos

Foram utilizados aditivos superplastificantes de última geração, que são à base de policarboxilatos. São os aditivos mais aconselhados para a utilização no CAA, também por serem aditivos superplastificantes que dispersam e desfloculam as partículas de cimento por ação estérica e eletrostática, permitindo o melhor contato da água com as partículas de cimento.

Os aditivos utilizados no CAA foram escolhidos de modo a proporcionar as condições de fluidez e de estabilidade do CAA no estado fresco, segundo os mecanismos citados no parágrafo anterior.

5.1.5 Finos

Utilizou-se como Finos o Pó de Mármore com a finalidade de promover a formação de pasta no CAA. O pó de mármore utilizado nesta pesquisa apresentou finura semelhante à do cimento, conforme ensaio de peneiramento realizado com a peneira 200. O material retido na peneira foi de 10%, enquanto, para o caso do cimento Portland CP II apresentado na Tabela x, a retenção foi de 12%. Para ter referência quanto a esse material, segundo Teixeira et al (2012), a massa específica do pó de mármore é de 2,655g/cm³. As Figuras 17 e 18 ilustram a textura desse material.

Figura 17 - Pó de Mármore



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 18 - Pó de Mármore



Fonte: Dados do próprio autor.

5.1.6 Água

Foi utilizada água potável proveniente da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira.

5.1.7 Isopor (poliestireno expandido)

Utilizou-se as perlas de isopor em substituição do somatório de partes dos agregados finos e graúdos.

5.2 MÉTODOS

Neste item são descritos os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, suas estratégias e procedimentos.

5.2.1 Escolha, procedimentos preliminares e definição de misturas

Foi realizada a escolha e separação dos materiais: cimento, areia fina, brita, superplastificante, água, pó de mármore e pérolas de poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor. Realizou-se a secagem dos materiais para se eliminar a umidade higroscópica, da areia, da brita e pó de mármore e o armazenamento dos materiais utilizados para que as misturas fossem precisas.

5.2.1.1 Substituição

Substituiu-se parte da somatória do volume de ambos, agregados miúdos e de agregados graúdos, nas composições estudadas por pérolas de isopor. As substituições deram-se em relação ao volume ocupado pelas partes substituídas dos agregados, conforme as porcentagens em peso desses materiais.

5.2.1.2 Adição

A adição utilizada na composição proposta é o pó de mármore, e foi adotado de modo que atendesse à relação finos/cimento 0,15.

5.2.2 Composições adotadas

A composição de referência foi estabelecida a partir da otimização de composição prévia, tomando-se como base uma composição para concreto apresentada em Alcântara (2004), com o uso de fíler calcáreo como finos, que também em Alcântara e Lima (2009) é apresentada para o uso de cinzas de casca de arroz como finos. De modo geral, ela procura adequar-se de modo que a relação “volume de agregados totais/volume de concreto” possa variar entre 0,58 a 0,62,

segundo orientações de AFGC, e ainda, o volume de agregado miúdo com relação ao volume total da fração argamassa se situe em torno de 40 %, e, finalmente, a relação agregado miúdo/agregado graúdo em peso se situe próximo a 1, conforme recomendações de AFGC. Uma vez validada conforme os ensaios realizados para o estado fresco com o caráter autoadensável, sem as disfunções possíveis, foi adotada como composição de referência.

Foram propostas, segundo os critérios apresentados, cinco composições, sendo elas:

- a) composição 01: Somente com adição de pó de mármore como finos, e sem a presença do EPS;
- b) composição 02: Com adição de pó de mármore como finos e 10% de substituição dos agregados graúdos + agregados miúdos pérolas de EPS;
- c) composição 03: Com adição de pó de mármore como finos e 20% de substituição dos agregados graúdos + agregados miúdos pérolas de EPS;
- d) composição 04: Com adição de pó de mármore como finos e 30% de substituição dos agregados graúdos + agregados miúdos pérolas de EPS;
- e) composição 05: Com adição de pó de mármore como finos e 40% de substituição dos agregados graúdos + agregados miúdos pérolas de EPS.

A composição 1, sem a substituição de partes dos agregados miúdos e graúdos de EPS foi considerada neste trabalho a “composição de referência”, de maneira que as possíveis variações de propriedades pudessem ser analisadas com relação a ela.

As composições então adotadas são apresentadas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela das Composições de CAA com adição de pó de mármore e isopor (EPS)

Superplastificante/cimento 0,0035							
Corpo de Prova	CIMENTO	AG. MIÚDO	AG.GRAÚDO	ÁGUA	ISOPOR (EPS)	PÓ DE MÁRMORE	ADITIVO
COMPOSIÇÃO	(KG)	AREIA (KG)	BRITA (KG)	(LITRO)	(LITRO)	(KG)	(GRAMAS)
EPS 0%	20	33	36,72	9,2	-	3	70
EPS 10%	20	29,7	33,04	9,2	2,62	3	70
EPS 20%	20	26,4	29,4	9,2	5,24	3	70
EPS 30%	20	23,1	25,7	9,2	7,86	3	70
EPS 40%	20	19,8	22	9,2	10,48	3	70

Fonte: Dados do próprio autor.

5.3 REALIZAÇÃO DO CONCRETO

Inicialmente, umedeceu-se a betoneira com água e, a seguir, colocaram os agregados graúdos e miúdos juntamente com 50% da quantidade total da água e deixou-se matéria por 2 minutos em mistura. Após, adicionou-se cimento + pó de mármore + isopor (EPS) + 50% de água por mais 2 minutos e, por fim, adicionou-se superplastificante aos poucos durante a fase de mistura, por mais 2 minutos.

5.4 ENSAIOS DE VALIDAÇÃO E DE AVALIAÇÃO DO CONCRETO

Foram realizados os ensaios de validação das composições no estado fresco com os objetivos de informar sobre a influência da substituição do EPS nas propriedades reológicas no estado fresco e foram realizados os ensaios no estado endurecido de modo a poder avaliar a influência das substituições nas propriedades do concreto no estado endurecido, que responderão pelo desempenho final do material.

5.4.1 Ensaio no Estado Fresco

Os ensaios de validação do concreto foram executados nos primeiros 15 minutos após a mistura. Ensaio Específico para o CAA no estado fresco que foram executados são: Slump Flow Test, Slump Flow T50 Test, V- Funnel Test, L- Box

Test, Ensaio de Peneiramento foi realizado de acordo com AFGC (2000), por se tratar de um método simples, confiável e eficiente. O Ensaio da Massa Específica Aparente foi realizado, vertendo-se o concreto sobre um molde de PVC cilíndrico previamente tarado e disposto sobre uma balança, cujo volume do molde era conhecido. O adensamento do concreto no molde foi feito de modo espontâneo, sob a ação única do seu próprio peso, sem que este seja vibrado, e então rasado foi registrada a sua massa, e calculado o valor da massa específica aparente. Os ensaios. Slump Flow Test, Slump Flow T50 e os L- Box Test foram realizados segundo o método proposto por Tutikian e Molin (2008) e os ensaios V- Funnel Test segundo Alcântara (2004).

Após realizados todos os ensaios de validação no estado fresco, o concreto foi moldado em corpos de provas de PVC (10X20), deixados por 24 horas para secagem e desforma para, após, serem acondicionados em câmara úmida durante o período de cura. Observe, na Figura 19 os corpos de prova de CAA em cura na Câmara Úmida.

Figura 19 - Corpos de Prova de CAA em cura na Câmara Úmida



Fonte: Dados do próprio autor.

5.4.2 Ensaio estado endurecido

Foram realizadas a avaliação da resistência, à compressão simples e diametral e módulo de elasticidade para as idades de 7 e 28 dias, de acordo com NBR5739 (ABNT, 1994). Realizaram-se os ensaios de resistência mecânica de

modo que eles fossem precedentes de uma mesma betonada, e por fim, ensaios de absorção após 35 dias.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados alcançados tanto para o estado fresco como para o estado endurecido, seguindo-se a análise de cada caso.

6.1 PARÂMETROS IMPORTANTES DAS COMPOSIÇÕES

Com base nas composições apresentadas na Tabela 4, em “Metodologia”, foram elaboradas tabelas envolvendo os parâmetros das composições, 5 a 10. Esses dados são apresentados de modo a auxiliar a análise dos resultados no estado fresco e no estado endurecido.

6.1.1 Relações com base nos volumes de materiais e de concreto

A Tabela 5 apresenta a quantidade em massa de cada componente envolvido nas composições adotadas.

Tabela 5 - Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas

Composição	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Pó de mármore	Superplastificante
	kg	kg	kg	kg	kg	Kg
EPS 0%	476,7	786,5	875,2	219,3	71,5	1,7
EPS 10%	476,7	707,9	787,5	219,3	71,5	1,7
EPS20%	476,7	629,2	700,7	219,3	71,5	1,7
EPS 30%	476,7	550,6	612,5	219,3	71,5	1,7
EPS 40%	476,7	471,9	524,3	219,3	71,5	1,7

Fonte: Dados do próprio autor.

A Tabela 6 apresenta o volume de cada componente envolvido nas composições adotadas.

Tabela 6 - Volume dos componentes envolvidos nas composições adotadas

Composição	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Pó de mármore	Superplastificante	EPS
	litros	litros	litros	litros	Litros	Litros	litros
EPS 0%	151,3	297,2	303,6	219,3	26,9	1,7	0
EPS 10%	151,3	267,5	273,1	219,3	26,9	1,7	60,1
EPS 20%	151,3	237,8	243,0	219,3	26,9	1,7	120,0
EPS 30%	151,3	208,1	212,5	219,3	26,9	1,7	180,3
EPS 40%	151,3	178,3	181,9	219,3	26,9	1,7	240,6

Fonte: Dados do próprio autor.

Observa-se na Tabela 6 que, das variações ocorridas nas composições devido ao aumento do valor da porcentagem de EPS em substituição, aumenta o volume teórico por metro cúbico de concreto ocupado pelo EPS, com o aumento do valor em porcentagem da substituição.

Considera-se que, para cada composição com substituição, existem possíveis relações com base nos volumes de materiais sólidos e líquidos, diferentes do EPS, tomados com relação ao volume da composição de referência. A Tabela 7 apresenta essas relações de volume, tomadas a partir das diversas composições e a composição de referência.

Tabela 7- Relações de volume tomadas a partir das diversas composições com relação à composição de referência e áreas de exposição do EPS

Composição	Volume da composição sem EPS (litros)	Volume de EPS (litros)	Volume da composição de referência/volume da composição sem o EPS	Volume da composição sem o EPS/ Volume da composição de referência (%)	Área do exposição do EPS por m ³ de concreto (m ²)	Área de exposição de EPS por volume de água adicionada (m ² /litro)
EPS 0%	1000	0	1	100	0	0
EPS 10%	939,9	60,1	1,06	94,0	18,90	0,09
EPS 20%	880,0	120,0	1,14	88,0	37,69	0,17
EPS 30%	819,7	180,3	1,22	82,0	56,64	0,26
EPS 40%	759,4	240,6	1,32	75,9	75,58	0,34

Fonte: Dados do próprio autor.

Observa-se, que pelas informações da Tabela 7, existe um desconfinamento das composições com o aumento da substituição de EPS em lugar de parte dos agregados miúdos e de agregados graúdos.

6.1.2 Relações com base nos agentes de fluidez e de coesão

Por outro lado, considerando a importância da água, dos finos, e do superplastificante nas propriedades reológicas do concreto, foram elaborados cálculos que buscam relações entre esses componentes. A Tabela 8 apresenta as relações entre a água e os elementos da composição e as relações superplastificante/cimento e finos/ cimento.

Tabela 8 - Relações entre a água e os elementos da composição, e a relação superplastificante/cimento e finos cimento

Composição	Relação água/cimento	Relação água/finos	Relação água/materiais secos (%)	Volume de EPS/ volume de água	Relação sup./cimento (%)	Relação finos./cimento (%)
EPS 0%	0,46	0,40	10,00	-	0,35	0,15
EPS 10%	0,46	0,40	10,81	0,27	0,35	0,15
EPS 20%	0,46	0,40	11,76	0,55	0,35	0,15
EPS 30%	0,46	0,40	12,91	0,82	0,35	0,15
EPS 40%	0,46	0,40	14,31	1,10	0,35	0,15

Fonte: Dados do próprio autor.

6.1.3 Relações de massa e volumes dos agregados com relação ao concreto e à fração argamassa

Considerando a importância dos agregados miúdos e dos agregados graúdos para as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, buscou-se encontrar relações entre os volumes e as massas para eles nos concretos e nas fases argamassa.

A Tabela 9 apresenta as relações entre os agregados miúdo e graúdo em relação ao concreto e às fases do concreto.

Tabela 9 - Relações entre os agregados miúdo e gráudo em relação ao concreto e as fases do concreto

Composição	Volume de agregados miúdos/Volume total de concreto	Volume de agregados gráudos/Volume total de concreto	Volume de agregados totais/Volume total de concreto	Porcentagem de agregado miúdo em massa na fase da argamassa	Porcentagem de pó de mármore em massa na fase da argamassa	Porcentagem de agregado gráudo em massa no concreto
EPS 0%	0,304	0,297	0,60	50,56	4,60	36,00
EPS 10%	0,268	0,273	0,54	47,93	4,84	34,78
EPS 20%	0,238	0,243	0,48	45,00	5,11	33,38
EPS 30%	0,208	0,212	0,42	41,72	5,42	31,70
EPS 40%	0,178	0,182	0,36	38,03	5,76	29,70

Fonte: Dados do próprio autor.

6.1.4 Relações de massa total e volume total dos concretos

Finalmente, preocupou-se em estabelecer uma estimativa para os valores da massa específica aparente, com base nos valores apresentados sobre os materiais, de modo a validar as composições. A Tabela 10 apresenta o valor teórico a ser alcançado pelas misturas, com base nas informações das características dos materiais.

Tabela 10 - Valor teórico a ser alcançado pelas misturas, com base nas informações das características dos materiais

Composição	EPS 0%	EPS 10%	EPS 20%	EPS 30%	EPS 40%
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,43	2,26	2,10	1,93	1,77

Fonte: Dados do próprio autor.

6.2 RESULTADOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ANÁLISE

Nesta sessão, apresentam-se os resultados encontrados no estado fresco, os quais estão relacionados à reologia do material e que implicam sua validação destes quanto ao carácter autoadensável.

6.2.1 Apresentação dos resultados no estado fresco

Dentre os resultados apresentados, distinguem-se os resultados obtidos a partir dos ensaios sistemáticos de trabalhabilidade, e validação do concreto a partir de medições e de instrumentação. São apresentados também os ensaios qualitativos, encontrados a partir da observação e da inspeção visual do material.

6.2.1.1 Valores medidos conforme as avaliações dos ensaios de trabalhabilidade.

A Tabela 11 apresenta os resultados alcançados nos ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS.

Tabela 11 - Resultados alcançados nos ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS

Corpo de Prova	Diâmetro 1	Diâmetro 2	Valor médio	T₅₀	Situação
COMPOSIÇÃO	Cm	Cm	cm	s	
EPS 0%	70	70	70	4	ATENDIDO
EPS 10%	67,5	64,5	66	1,38	ATENDIDO
EPS 20%	68	67	67,5	1	ATENDIDO
EPS 30%	62	61,5	61,75	0,68	ATENDIDO
EPS 40%	64,5	64	64,25	1,25	ATENDIDO

Fonte: Dados do próprio autor.

Os resultados alcançados nos ensaios de escoamento confinado V-funil, em função do valor de substituição de EPS são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados alcançados nos ensaios de escoamento confinado V-funil, em função do valor de substituição de EPS

Corpo de Prova	Quantidade vertida	Quantidade passante	Tempo de fluxo	Vazão mássica
COMPOSIÇÃO	Kg	Kg	s	kg/s
EPS 0%	20	19,1	4	4,78
EPS 10%	20	19,34	5,4	3,58
EPS 20%	20	19,2	2,89	6,64

EPS 30%	20	18,4	2,46	7,48
EPS 40%	20	19,4	3	6,47

Fonte: Dados do próprio autor.

A Tabela 13, por sua vez, apresenta os resultados alcançados nos ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS.

Tabela 13 - Resultados alcançados nos ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS

Corpo de Prova	H1	H2	H2/H1	Tempo	Situação
COMPOSIÇÃO	cm	cm	Cm	Seg	
EPS 0%	10	8,5	0,85	4	ATENDIDO
EPS 10%	10,5	8	0,76	2	ATENDIDO
EPS 20%	10	8	0,8	2	ATENDIDO
EPS 30%	10	8	0,8	1	ATENDIDO
EPS 40%	9,5	8	0,84	1	ATENDIDO

Fonte: Dados do próprio autor.

Os resultados alcançados nos ensaios de segregação por peneiramento, em função do valor de substituição de EPS, são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados alcançados nos ensaios de segregação por peneiramento, em função do valor de substituição de EPS

	Quantidade vertida	Quantidade passante	Valor da segregação	Situação
COMPOSIÇÃO	kg	G	%	
EPS 0%	5	30	0,6	ATENDIDO
EPS 10%	5	20	0,4	ATENDIDO
EPS 20%	5	25	0,5	ATENDIDO
EPS 30%	5	15	0,3	ATENDIDO
EPS 40%	5	14	0,28	ATENDIDO

Fonte: Dados do próprio autor.

Finalmente, a Tabela 15 apresenta os resultados alcançados para a massa específica aparente, em função do valor de substituição de EPS.

Tabela 15 - Resultados alcançados na massa específica aparente, em função do valor de substituição de EPS.

Corpo de Prova	Volume	Quantidade avaliada	Massa específica aparente
COMPOSIÇÃO	litros	kg	kg/litros
EPS 0%	0,75	1,845	2,46
EPS 10%	0,75	1,790	2,39
EPS 20%	0,75	1,760	2,35
EPS 30%	0,75	1,530	2,04
EPS 40%	0,75	1,1490	1,99

Fonte: Dados do próprio autor.

De modo a ilustrar as condições qualitativas das misturas durante os principais ensaios, as figuras 20A a 20E apresentam as imagens das superfícies de espalhamento, e da condição dos concretos após a passagem em caixa em L.

6.2.1.2 Resultados qualitativos encontrados no estado fresco

Observou-se que as superfícies de espalhamento apresentaram-se bastante homogêneas quando feitos os ensaios de espalhamento “slump-flow”, sem haver a presença de ninhos de aglomeração ou de halos d’água que fornecessem os indicativos de segregação.

Nos ensaios de escoamento confinado V-funil, não se constatou a presença de bloqueios, e o escoamento deu-se sempre de modo regular.

Nos ensaios da caixa em L, o fluxo deu-se de modo espontâneo logo que se abriu a comporta da abertura com as barras.

Nos ensaios de segregação por peneiramento foi observado sempre o aparente aumento da viscosidade do concreto com a crescente incorporação do EPS.

As Figuras 20A, 20B, 20C, 20D e 20E, ilustram os aspectos das circunferências dos ensaios de espalhamento para as composições 1 a 5.

Figuras 20A a 20E: Aspectos das circunferências dos ensaios de espalhamento para as composições 1 a 5



Fonte: Dados do próprio autor.

A Figura 21 ilustra os aspectos da disposição final do concreto na caixa em L após o escoamento, que pode ser estendido para as composições em geral.

Figura 21 - Aspectos do material nos ensaios de peneiramento para a avaliação da segregação



Fonte: Dados do próprio autor.

As Figuras 22A e 22B apresentam os aspectos do concreto no ensaio de peneiramento.

Figuras 22 - Os aspectos do concreto no ensaio de peneiramento



Fonte: Dados do próprio autor.

6.2.2 Análise de resultados dos ensaios no estado fresco

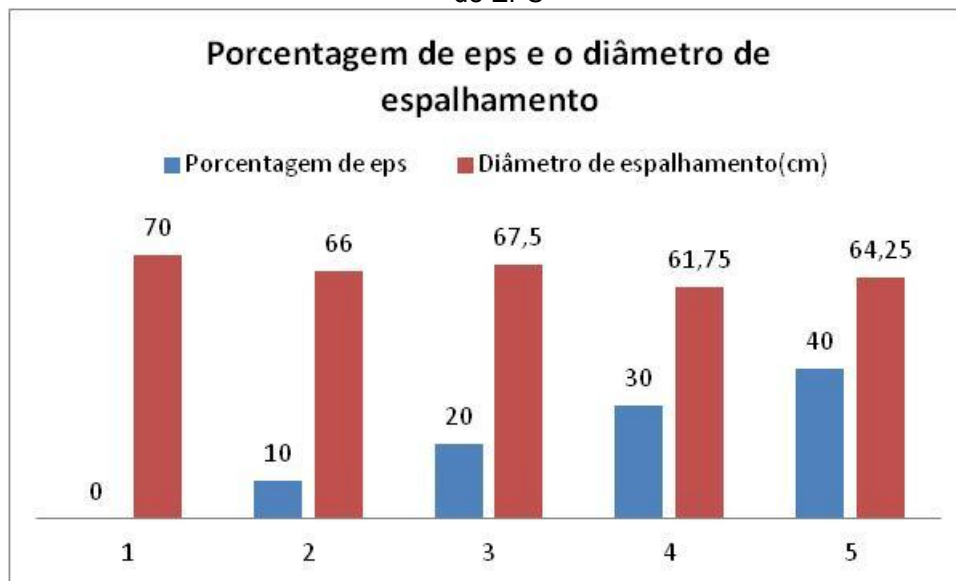
Nesta sessão, serão discutidos os resultados encontrados em cada tipo de análise, buscando, quando possível, correlacionar os resultados de ensaios, quando pertinente. Estes resultados são julgados conforme o que é apresentado em Costa (1988) onde:

- a) correlação 0.00 indica correlação linear inexistente;
- b) correlação 0.25 indica correlação positiva fraca;
- c) correlação 0.50 indica correlação positiva média;
- d) correlação 0.75 indica correlação positiva forte;
- e) correlação 1.00 indica correlação positiva perfeita.

6.2.2.1 Análise do caso do escoamento livre

A Figura 23, elaborada a partir das informações da Tabela 11, ilustra os resultados alcançados nos ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição em EPS.

Figura 23 - resultados alcançados nos ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição de EPS



Fonte: Dados do próprio autor.

Pode-se observar que, comparando com o valor do diâmetro de espalhamento da composição de referência, o valor do diâmetro de espalhamento nas demais composições tende a experimentar diminuição com o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos. Nota-se também que pode haver oscilação de resultados quando se considera esse aumento da substituição.

Com relação aos fatores que podem influenciar nas condições de mobilidade dos concretos com o aumento do teor de EPS em substituição, no caso apresentado, têm-se:

- a) o valor da relação água/materiais secos inorgânicos H(%) tende a crescer com o aumento do teor de EPS em substituição, conforme se observa na Tabela 8;
- b) a porcentagem em massa dos agregados graúdos no concreto tende

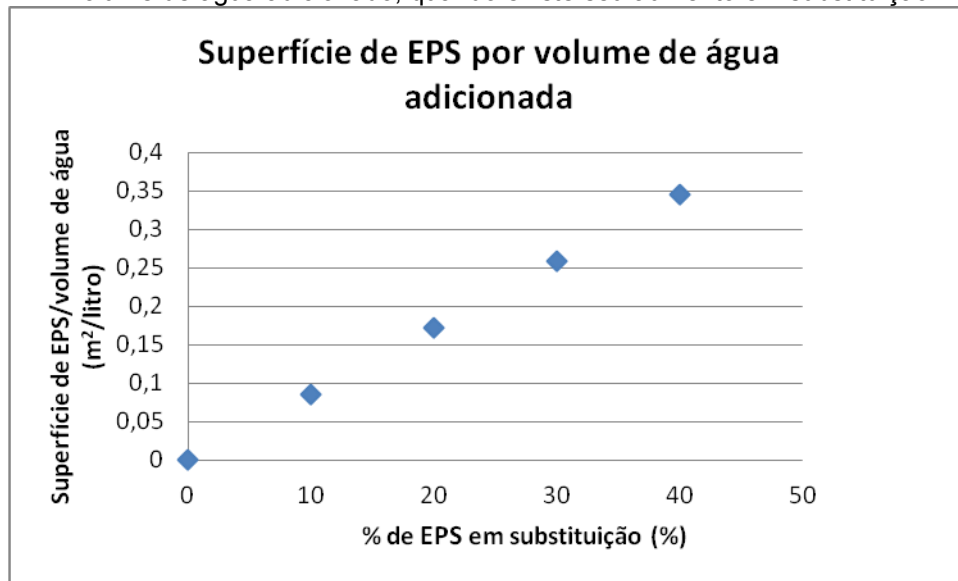
a ser favorável à mobilidade com a substituição de agregados miúdos e graúdos por EPS visto que, com o aumento do teor de EPS em substituição, a percentagem em massa dos agregados graúdos por metro cúbico de concreto tende a diminuir, conforme a Tabela 9. Existe a influência desfavorável tanto da inércia como do atrito causados pelos agregados graúdos sobre as condições de mobilidade, conforme Bauer (1994) e Neville (1997), e com a sua diminuição favorece a mobilidade;

- c) A percentagem em massa dos agregados miúdos na fase argamassa: Os agregados miúdos contribuem para a formação de pasta, em face de sua superfície específica, além do atrito (BAUER, 1994 e NEVILLE, 1997). As condições de mobilidade tendem a ser favorecidas com a sua diminuição apresentada conforme Tabela 9; mas, segundo a mesma tabela, observa-se que aumenta o valor percentual em massa do pó de mármore sobre os constituintes da fase argamassa, o qual tende a dotar a mistura de mais coesão, para refrear o escoamento.

Observa-se que, com a substituição, tende a favorecer o escoamento quando se considera a diminuição em massa dos agregados graúdos e miúdos por unidade de volume de concreto, e o aumento gradual da relação água/materiais secos $H(\%)$. Por outro lado, estão presentes os efeitos contrários do aumento percentual de finos na fase de argamassa. Observa-se pelos resultados que existe uma tendência de refrear o escoamento com o aumento do valor da percentagem de EPS em substituição, de modo a diminuir os valores do diâmetro de espalhamento.

Quanto ao caso particular do EPS, podem ser considerados os aspectos de que existe a sua influência sobre a viscosidade da pasta, cujo aumento em volume tende a refrear o escoamento, visto que ao aumento de volume do EPS aumenta-se também a área de exposição. A Figura 24, elaborada a partir de informações da Tabela 7, mostra o crescimento da área de exposição das partículas de EPS com relação ao volume de água adicionado, quando existe o aumento em substituição.

Figura 24 - Crescimento da área de exposição das partículas de EPS com relação ao volume de água adicionado, quando existe seu aumento em substituição



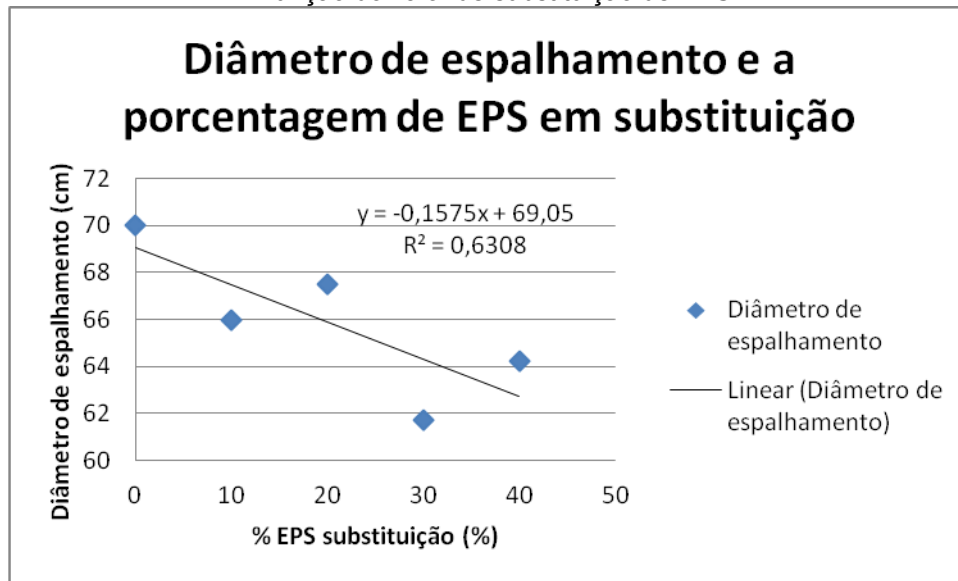
Fonte: Dados do próprio autor.

O EPS incorporado atua aparentemente em papel similar ao ar incorporado e apresenta grande interação físico-química com os demais materiais. O seu incremento, também aparentemente, dotou a mistura de maior coesão e viscosidade, de modo a influenciar nas composições e que ele esteve incorporado, contribuindo de modo a refreá-las.

As causas das oscilações nos resultados possivelmente podem ser atribuídas às ações decorrentes das variações climáticas referentes aos dias em que foram realizadas as composições, influenciando nas condições de evaporação e alteração de viscosidade das misturas, assim como os erros do operador e de interpretação. E ainda, nas possíveis dispersões na tomada dos materiais.

A Figura 25 procura ilustrar a correlação entre os valores do espalhamento nos ensaios de espalhamento “slump-flow” e o valor de substituição de EPS.

Figura 25 - Correlação entre os valores alcançados nos ensaios de espalhamento, em função do valor de substituição de EPS

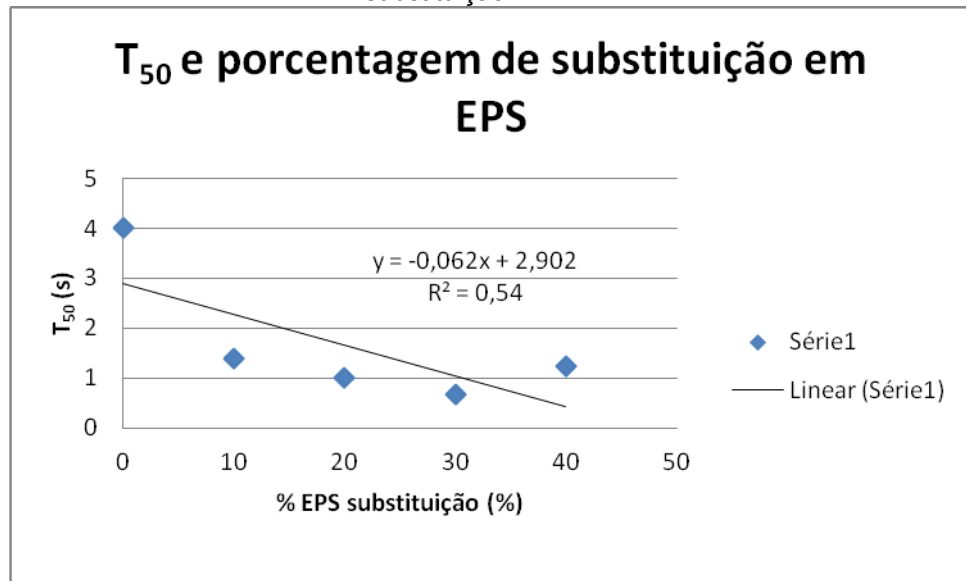


Fontes: Dados do próprio autor.

Observa-se que a referida correlação apresenta um valor de correlação média, dando indicativo de haver tendência à diminuição do diâmetro de espalhamento com o aumento do valor da porcentagem de EPS incorporada em substituição parcial aos agregados.

Embora existam algumas dispersões de resultados, observa-se que, embora os valores do diâmetro de espalhamento tendem a apresentar diminuição com o aumento de EPS em substituição aos agregados miúdos, o valor do tempo de escoamento, com base no valor do T_{50} , tende a diminuir com o referido acréscimo, em razão da diminuição dos efeitos de atrito e de inércia dos agregados miúdos e graúdos. Nesse sentido, a Figura 26, elaborada a partir de informações da Tabela 11, apresenta a possível correlação entre os valores do T_{50} e da porcentagem de EPS em substituição, fornecendo a ideia de um indicativo para tal relação.

Figura 26 - Possíveis correlações entre os valores do T_{50} e a percentagem de EPS em substituição

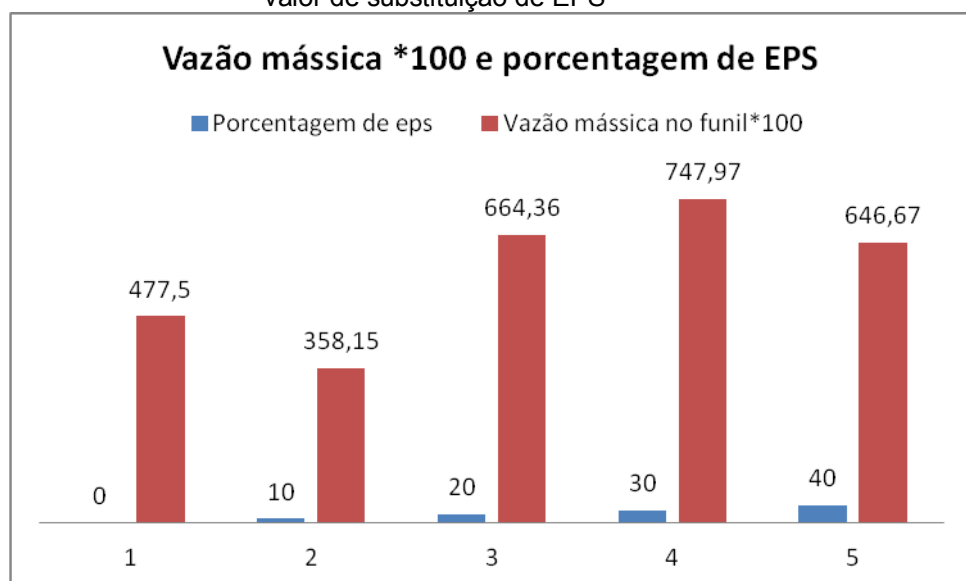


Fonte: Dados do próprio autor.

6.2.2.2 Análise do caso do escoamento confinado V-funil

Do mesmo modo que, nos casos de espalhamento livre, a Figura 27, elaborada a partir de informações da Tabela 12, ilustra os resultados alcançados nos ensaios de escoamento confinado ao funil, ensaio V-funil, em função do valor de substituição de EPS.

Figura 27 - Resultados alcançados nos ensaios de escoamento confinado ao funil, em função do valor de substituição de EPS



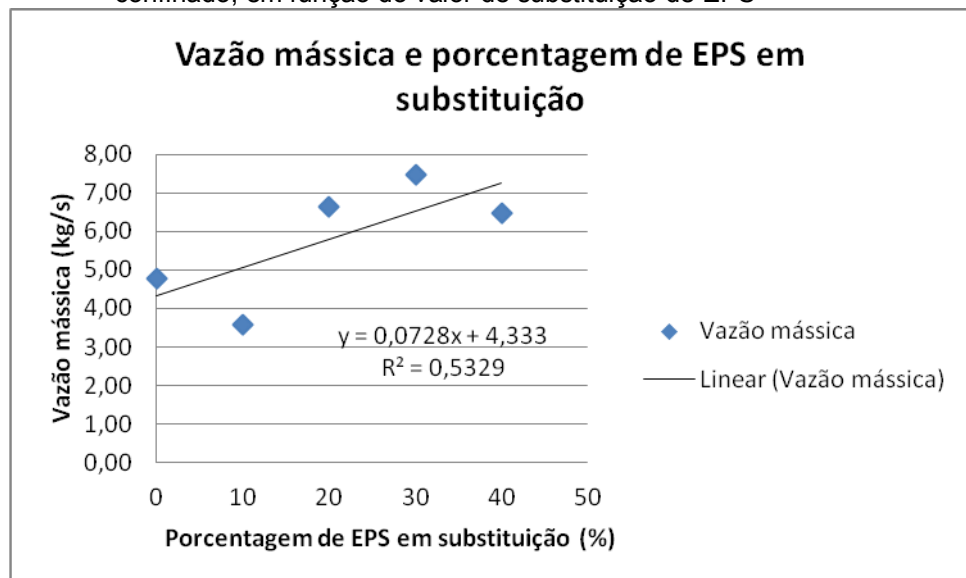
Fonte: Dados do próprio autor.

Pela análise da Figura 27, observa-se que o valor da vazão mássica

passante pelo funil tende a ser crescente com o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos. Nos casos de escoamento livre, existem algumas oscilações de resultados, mas os valores tendem a ter valor crescente em relação ao da composição de referência. Considera-se que no escoamento confinado são relevantes o atrito e os choques intergranulares, influenciando nas condições de mobilidade (ALCÂNTARA, 2004), assim como a viscosidade exerce grande influência, por haver a competitividade entre os elementos constituintes para passar pela abertura. Então um concreto com maior viscosidade até certo limite pode contribuir para a melhor disciplina no escoamento (ALCÂNTARA, 2004). Nesse sentido, o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos pode ser esperado de maneira a contribuir no aumento da vazão mássica em escoamento confinado.

A Figura 28 procura ilustrar a possível correlação entre os valores de substituição em EPS e os valores da vazão mássica em escoamento confinado, a partir de informações da Tabela 12.

Figura 28 - Correlação entre os valores alcançados para a vazão mássica em escoamento confinado, em função do valor de substituição de EPS



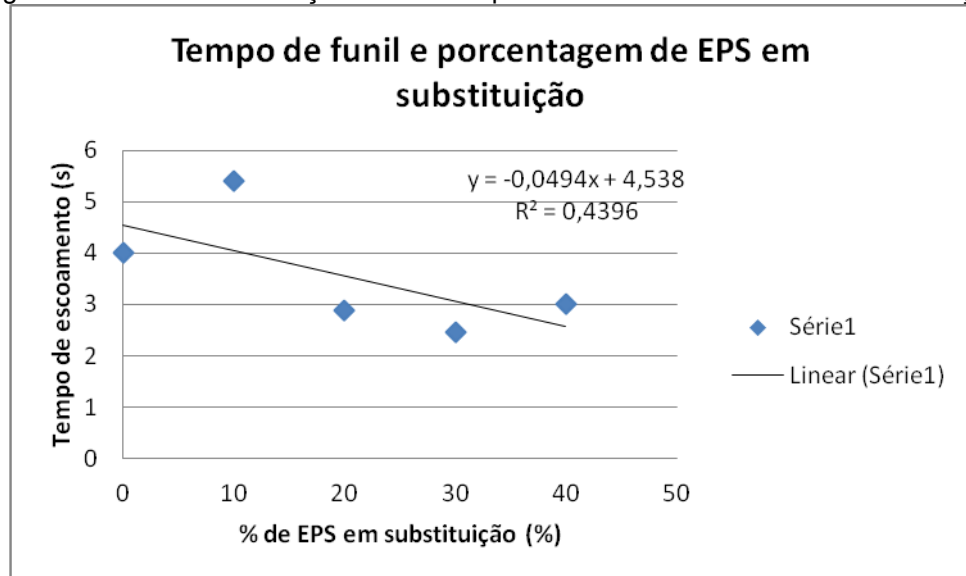
Fonte: Dados do próprio autor.

O valor encontrado para a correlação representa um valor médio de correlação, em vista das dispersões apresentadas, contudo constitui-se um indicativo quanto à influência da incorporação de EPS no valor da vazão mássica em escoamento confinado.

A Figura 29 apresenta a possível correlação entre o tempo de escoamento

no funil, a partir de informações da Tabela 12 e a porcentagem de EPS adotada em substituição.

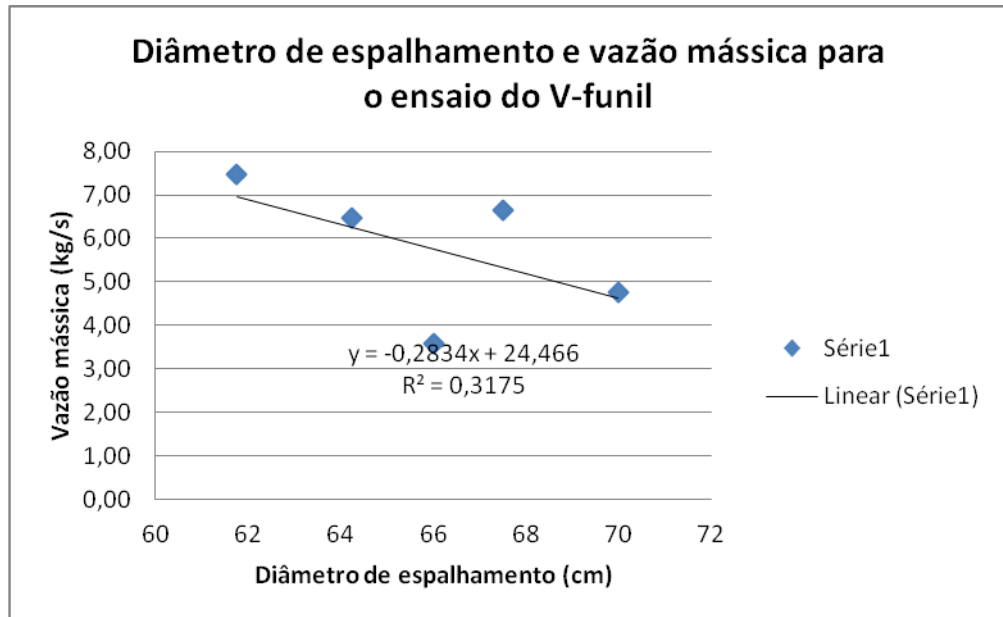
Figura 29 - Possível correlação entre o tempo de funil e o teor de EPS em substituição



Fonte: Dados do próprio autor.

Embora o valor para a correlação seja um valor baixo tendendo a médio, pode-se considerar que existe um indicativo de que o tempo de escoamento no funil tende a diminuir com o aumento da porcentagem de EPS em substituição aos agregados graúdos e agregados miúdos, em face de um possível efeito de melhoria na mobilidade do concreto. Tendo em vista a diferença de comportamento entre os dois tipos de escoamento, escoamento livre, “slump flow”, e escoamento confinado, buscou-se correlacionar os valores referentes a esses dois tipos de escoamento, conforme informações das Tabelas 11 e 12. Como observado pelos resultados já apresentados, eles são inversos quanto ao crescimento, visto que estarão sujeitos a diferentes fatores. A Figura 30 apresenta esse tipo de correlação.

Figura 30 - Correlação entre os valores referentes ao escoamento livre e ao escoamento confinado



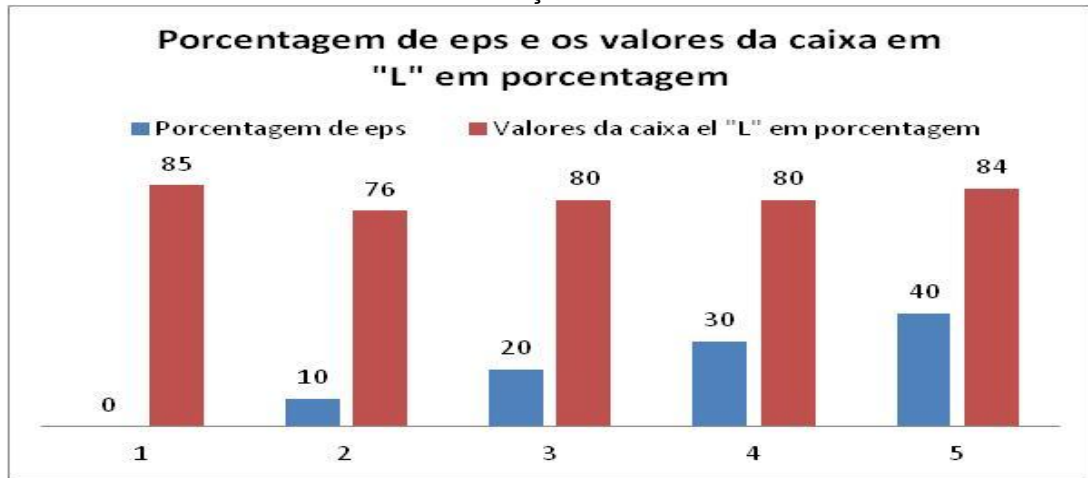
Fonte: Dados do próprio autor.

Encontrou-se para esta avaliação um valor baixo de correlação, próximo a médio, de modo que se consideram as informações da Figura 30 como um indicativo, em coerência com os valores encontrados nos respectivos casos de escoamento.

6.2.2.3 Análise do escoamento confinado na caixa em L

A Figura 31, elaborada a partir de informações da Tabela 13, ilustra os resultados alcançados nos ensaios de escoamento confinado na caixa em “L”, em função do valor de substituição de EPS.

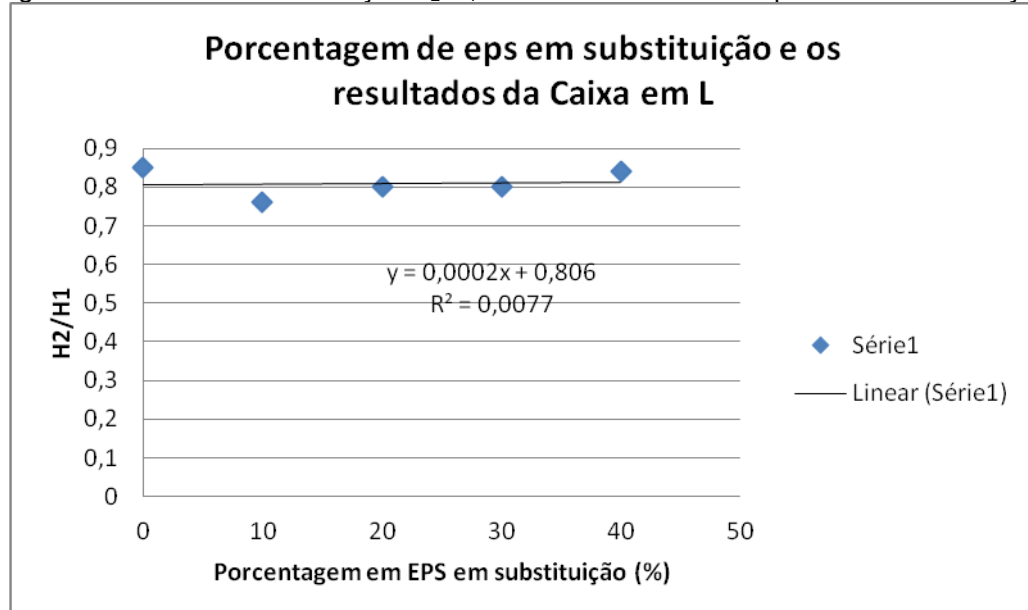
Figura 31 - resultados alcançados nos ensaios da caixa em L, em função do valor de substituição de EPS



Fonte: Dados do próprio autor.

De modo similar nos casos de escoamento livre, observa-se que, para o aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos, ocorre a influência da diminuição do valor da relação H_2/H_1 , pela modificação das condições de mobilidade, quando submetido o material ao escoamento e passagem pela ferragem da caixa em L. Todavia, observando a Figura 32, a qual procura correlacionar H_2/H_1 conforme informações da Tabela 13, com o teor de EPS incorporado, existe um indicativo de que a habilidade passante depende pouco do teor de EPS incorporado em substituição.

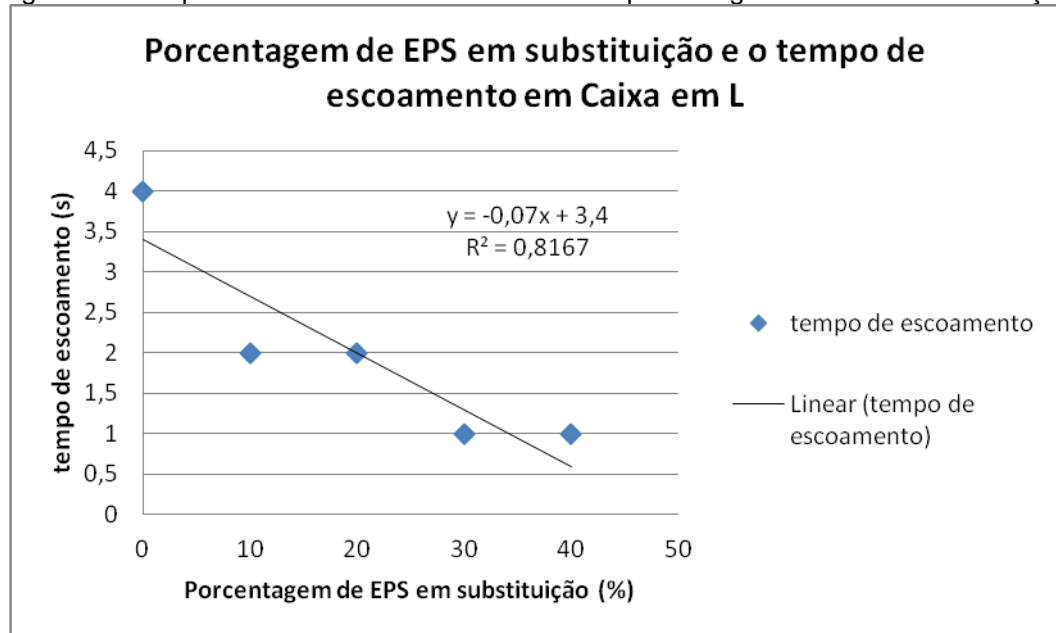
Figura 32 - correlacionar a relação H_2/H_1 com o teor de EPS incorporado em substituição



Fonte: Dados do próprio autor.

Por outro lado ele aparenta ter contribuído para a melhor disciplina ao confinamento e à passagem pela grade, como se pode observar pela diminuição do tempo de escoamento na caixa em L, conforme informações da Tabela 13, ilustrada na Figura 33.

Figura 33 -Tempo de escoamento na caixa em L e a porcentagem de EPS em substituição

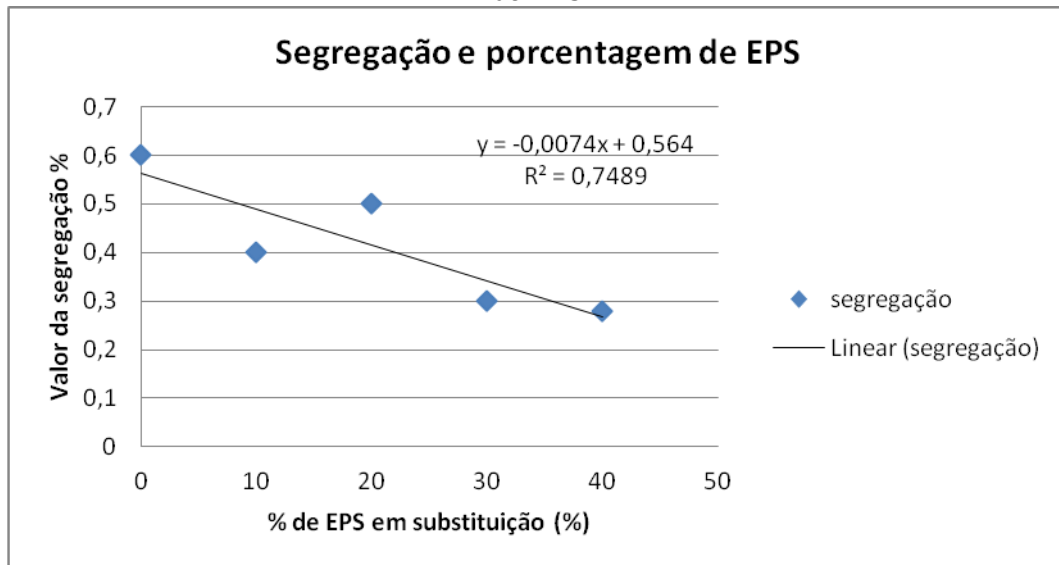


Fonte: Dados do próprio autor.

6.2.2.4 Ensaio de segregação por peneiramento

Com relação aos ensaios de segregação ensaios de peneiramento, foram apresentados valores conforme a Tabela 14 que apontam o aumento da viscosidade e a estabilidade da mistura, conforme os valores prescritos para a metodologia, em AFGC (2000). A Figura 34 ilustra a variação entre os valores da segregação em relação à variação do aumento do valor de substituição parcial de EPS em lugar dos agregados miúdos e agregados graúdos. Observa-se que essa relação tende a apresentar um forte valor de correlação, dando o indicativo de que ocorre o aumento da viscosidade da mistura.

Figura 34 - Variação da segregação em relação ao aumento do valor de substituição parcial de EPS

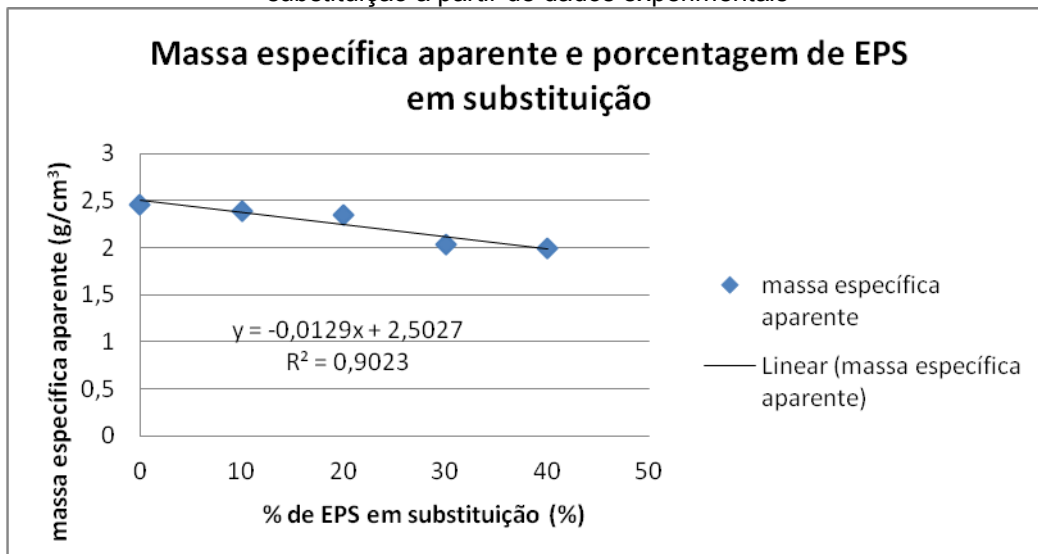


Fonte: Dados do próprio autor.

6.2.2.5 Análise sobre os valores da massa específica aparente seca

Com relação à massa específica aparente do concreto fresco e o teor de EPS incorporado em substituição, os resultados apontam sua diminuição com o aumento do teor de EPS em substituição. Este valor apresenta-se coerente, tendo em vista a substituição de materiais com diferentes massas específicas, sendo o EPS massa desprezível. A Figura 35, elaborada conforme informações da Tabela 15, apresenta a variação dessa massa específica.

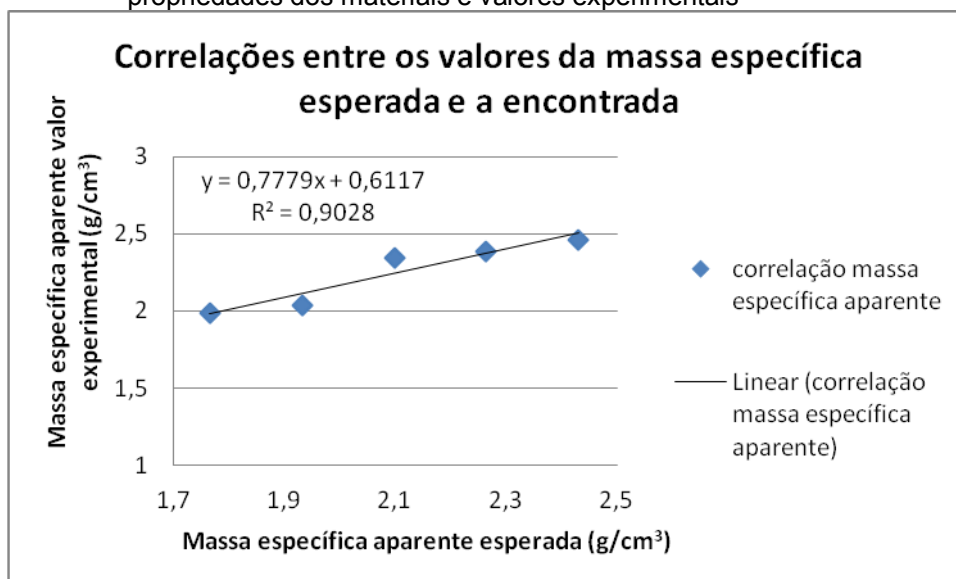
Figura 35 - Variação da massa específica aparente em função da porcentagem de EPS em substituição a partir de dados experimentais



Fonte: Dados do próprio autor.

Observando os valores obtidos para a massa específica aparente teórica, apresentada na Tabela 10, calculados com base nas características dos materiais e os valores experimentais alcançados, conforme a Tabela 15 observa-se pela Figura 36 que esses valores não são muito diferentes, por haver uma correlação forte entre os valores.

Figura 36 - Correlação entre os valores da massa específica aparente em função da porcentagem de EPS em substituição, tomadas a partir de valores de cálculo com base nas propriedades dos materiais e valores experimentais



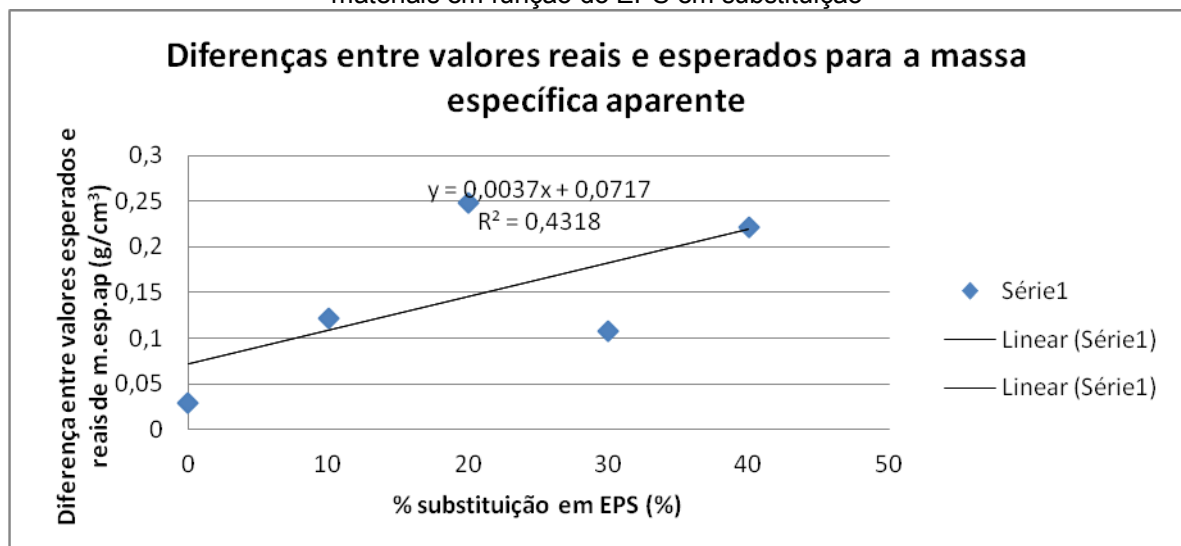
Fonte: Dados do próprio autor.

Observa-se, através da Figura 36, que os valores da massa específica

aparente seca se apresentaram bastante próximos no caso da composição de referência, quando se consideram os valores teórico e experimental e, de modo geral, são um pouco mais elevados nos casos com EPS. A isso se atribui como causa provável a deformabilidade do EPS frente aos outros materiais, que são incompressíveis, de modo que o volume de referência adotado seja reduzido levemente pela pressão do concreto sobre o EPS.

Considerando os valores da massa específica aparente seca nos casos obtidos no laboratório, conforme informações da Tabela 15, e os valores esperados conforme informações da Tabela 10, a Figura 37 correlaciona às diferenças percebidas nos valores da massa específica com relação à do concreto de referência, em função do valor de substituição em EPS.

Figura 37 - Correlação entre os valores da diferença da massa específica aparente tomadas a partir de valores experimentais com os tomados a partir de cálculo com base nas propriedades dos materiais em função do EPS em substituição

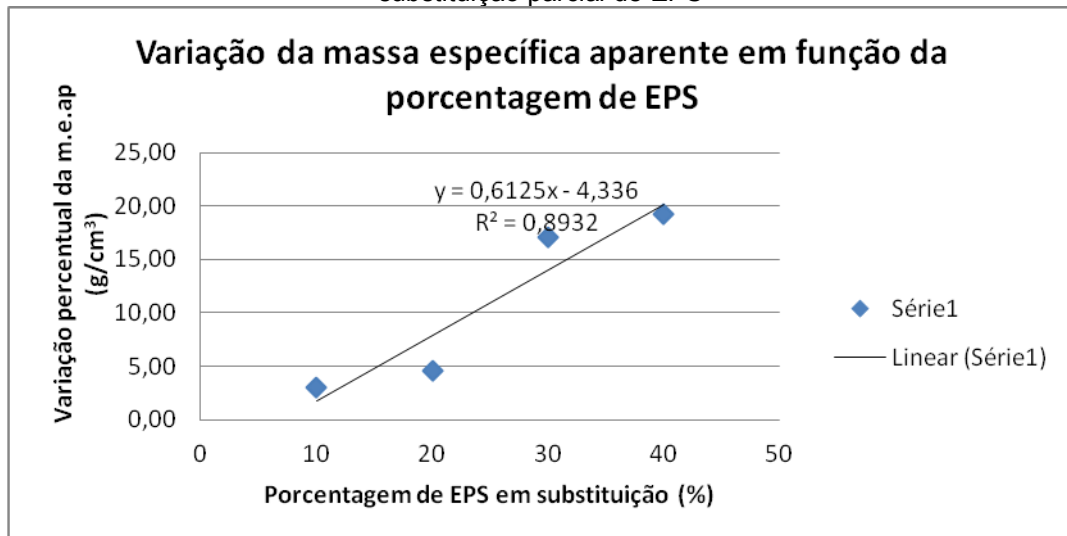


Fonte: Dados do próprio autor.

O valor dado à correlação é um valor de correlação baixa a mediana, dando um indicativo de que com o aumento do teor de EPS em composição, a diferença no valor da massa específica aparente no estado fresco com relação à da composição de referência tende a aumentar.

A Figura 38 apresenta a variação percentual da massa específica no estado fresco obtida com valores experimentais, elaborada conforme informações da Tabela 15, com relação à da composição de referência, a partir do aumento do valor de substituição parcial de EPS.

Figura 38 - Variação percentual da massa específica no estado fresco obtida com valores experimentais em relação a da composição de referência, a partir do aumento do valor de substituição parcial de EPS



Fonte: Dados do próprio autor.

6.3 RESULTADOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO E ANÁLISE

Os ensaios no estado endurecido compreendem basicamente os ensaios mecânicos e os ensaios de absorção da água apresentados e discutidos a seguir.

6.3.1 Apresentação dos resultados

Procura-se distinguir os ensaios quanto ao tipo de solitação e as de absorção.

6.3.1.1 Resultados dos ensaios mecânicos

A Tabela 16 apresenta os resultados da resistência à compressão simples, axial para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.

Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão simples, axial para as idades de 7 e de 28 dias e teores de EPS variando de 0 a 40%

Composição	EPS 0%		EPS 10%		EPS 20%		EPS 30%		EPS 40%	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
	35,56	41,94	30,93	36,31	20,32	31	19,12	22,28	14,95	21,72
	34,78	42,98	28,11	37,23	26,92	30,01	17,61	22,78	14,14	18,2
	35,22	39,11	29	36,95	20,82	26,62	23,56	36,17	17,85	17,43
Valor médio	35,19	41,34	29,35	36,83	22,69	29,21	20,10	27,08	15,65	19,12

Dvpd	0,39	2,00	1,44	0,47	3,67	2,30	3,09	7,88	2,14	2,29
c.v	0,01	0,05	0,05	0,01	0,16	0,08	0,15	0,29	0,14	0,12
c.v%	1,11	4,84	4,91	1,28	16,20	7,86	15,39	29,10	13,69	11,96

Fonte: Dados do próprio autor.

A Tabela 17 apresenta os resultados da resistência à compressão diametral, as idades de 7 e 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%. A Tabela x-14 apresenta os resultados do módulo de elasticidade nas idades de 7 e 28 dias, e teores EPS variando de 0 a 40%.

Tabela 17: Resultados da resistência à compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.

Composição	EPS %		EPS 10%		EPS 20%		EPS 30%		EPS 40%	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
	3,6	4,2	3,29	3,9	3,06	3,79	3,04	3,59	2,66	3,47
	3,6	3,9	3,62	4,3	2,93	3,76	3,26	4,26	2,29	3,30
Valor médio	3,57	4,05	3,45	4,09	2,99	3,46	3,15	3,92	2,47	3,39
Dvpd	0,02	0,22	0,93	0,26	0,09	0,54	0,15	0,47	0,26	0,12
c.v	0,01	0,05	0,27	0,06	0,03	0,16	0,05	0,12	0,11	0,04
c.v%	0,59	5,33	26,84	6,45	3,07	15,56	4,83	11,99	10,65	3,60

Fonte: Dados do próprio autor.

A Tabela 18 apresenta os resultados do módulo de elasticidade para as idades de 7 e de 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.

Tabela 18 - Resultados do módulo de elasticidade nas idades de 7 e 28 dias, e teores de EPS variando de 0 a 40%.

Composição	EPS 0%		EPS 10%		EPS 20%		EPS 30%		EPS 40%	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
	31159,5	30753	27580,6	30445,8	19872,0	30169,6	20029,5	23034,9	-	20246,1
	30139,9	31962	28111,8	29130,4	21872,0	28835,7	17675,4	23262,9	19216,3	21976,2
	29456,1	35357	-	-	22364,0	26493,0	19378,5	30631,5	22403,0	24945,2
Valor médio	30251,8	32690,7	30567,2	29788,1	21369,3	28499,4	19027,8	25643,1	20809,7	22389,2
Dvpd	857,2	2386,9	375,64	930,16	1319,89	1861,20	1215,56	4321,57	2253,34	2376,63
c.v	0,03	0,07	0,01	0,03	0,06	0,07	0,06	0,17	0,11	0,11
c.v%	2,83	7,30	1,23	3,12	6,18	6,53	6,39	16,85	10,83	10,62

Fonte: Dados do próprio autor.

6.3.1.2 Resultados dos ensaios de absorção da água

A Tabela 19 apresenta os valores relativos ao ensaio de absorção.

Tabela 19 - Valores relativos ao ensaio de absorção

Porcentagem em EPS (%)										
	0		10		20		30		40	
	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido
	3,49	3,65	3,31	3,53	3,29	3,32	3,1	3,295	2,865	3,105
	3,47	3,65	3,33	3,54	3,22	3,45	3,20	3,395	2,92	3,145
	3,58	3,70	3,4	3,56	3,28	3,41	3,09	3,28	2,895	3,115
Valor Médio	3,51	3,66	3,35	3,54	3,26	3,39	3,13	3,32	2,89	3,12
dvpd	0,060	0,03	0,048	0,018	0,04	0,07	0,06	0,06	0,03	0,02
cv	0,017	0,0075	0,014	0,005	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Cv%	1,70	0,75	1,44	0,50	1,13	1,95	1,91	1,88	0,95	0,67
		4,32		5,88		3,99		6,29		7,89

Fonte: Dados do próprio autor.

6.3.1.3 Resultados qualitativos encontrados no estado endurecido

As Figuras 39 A a E ilustram as superfícies internas dos corpos de prova após as rupturas destes em ensaio de compressão diametral. Elas referem-se às composições EPS 0% a EPS (40%). Através delas pode-se observar a distribuição interna do EPS na matriz de concreto. Podem-se observar também os aspectos da condição da matriz cimentícia dos agregados após a ruptura

Figuras 39 - Superfícies internas dos corpos de prova após as rupturas destes em ensaio de compressão diametral



Fonte: Dados do próprio autor.

6.3.2 Análise de resultados do estado endurecido

Buscar-se distinguir os casos de avaliação do comportamento mecânico e da absorção. As mesmas considerações que foram apresentadas no item 6.2.2 são aplicadas para a análise do estado endurecido com relação a correlação entre variáveis.

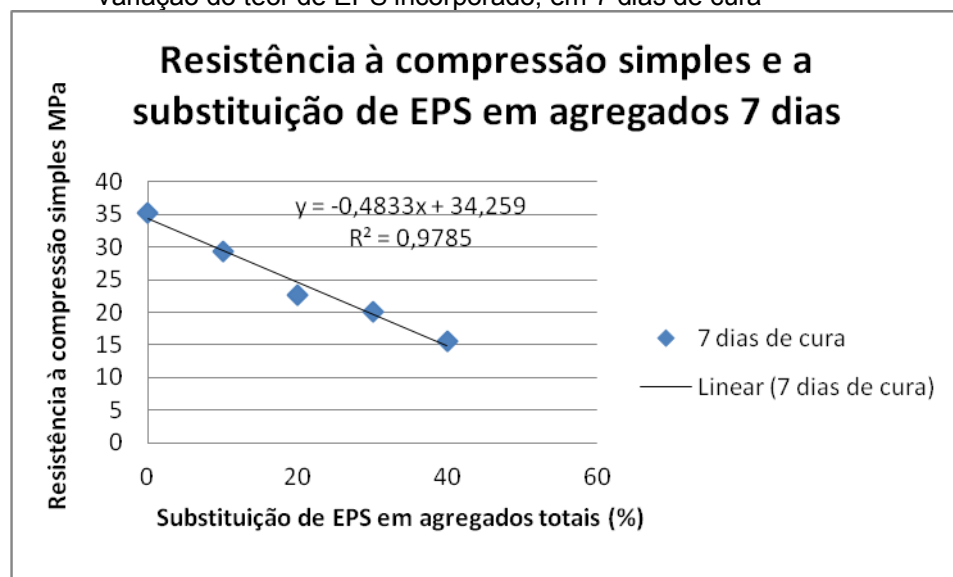
6.3.2.1 Análise de resultados dos ensaios mecânicos

Nesta sessão, são discutidos os resultados encontrados em cada tipo de avaliação ou solicitação, buscando, quando possível, correlacionar os resultados de ensaios quando pertinentes.

6.3.2.1.1 Comportamento da resistência à compressão axial

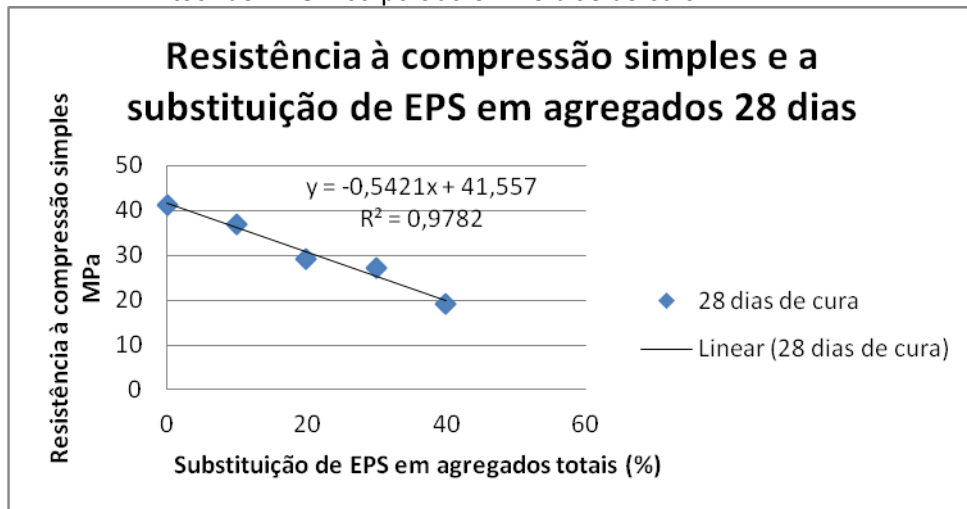
A Figura 40 e a Figura 41, conforme informações da Tabela 16, ilustram a variação do valor da resistência à compressão simples, axial, em relação à variação do teor de EPS incorporado em 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Figura 40 - Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, em relação à variação do teor de EPS incorporado, em 7 dias de cura



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 41 - Variação do valor da resistência à compressão simples, axial, em relação à variação do teor de EPS incorporado em 28 dias de cura



Fonte: Dados do próprio autor.

Pode-se observar, pelas Figuras 40 e 41, que o valor da resistência mecânica tende a diminuir com o aumento da porcentagem de EPS incorporado em substituição a uma parte dos agregados miúdos e graúdos.

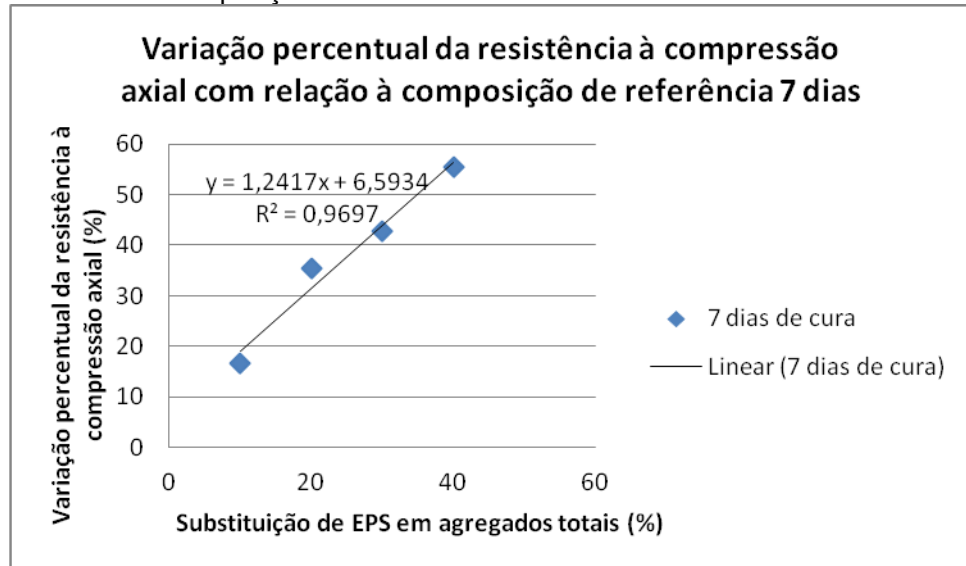
Observa-se, pelas informações que foram apresentadas na Tabela 8, que os valores das relações água/cimento e água/cimento+finos se mantiveram inalteráveis com as diversas composições. Essas relações definem as condições de formação de gel hidratado, cuja microestrutura tem grande responsabilidade para com o ganho de resistência mecânica da pasta. Os agregados, por sua vez, foram adotados de modo a conservar as características físicas, como o diâmetro máximo, granulometria, forma e tipo de superfície, variando sua proporção em favorecimento da substituição pelo EPS.

O aumento do teor de EPS em substituição implicou a diminuição de valor de resistência mecânica, causada pela diminuição da presença e da influência dos agregados graúdos, os quais são, de modo geral, os responsáveis pela absorção dos esforços mecânicos na estrutura (Bauer, 2004), assim como pela influência do enfraquecimento da fase argamassa pela substituição de parte do agregado miúdo pelo EPS, e ainda, pelos vazios criados no interior da estrutura pela presença dos elementos de EPS, visto que este não pode contribuir com as propriedades mecânicas.

A Figura 42 e a 43, com auxílio de informações da Tabela 16, procuram ilustrar a variação percentual do valor da resistência mecânica axial referidas às

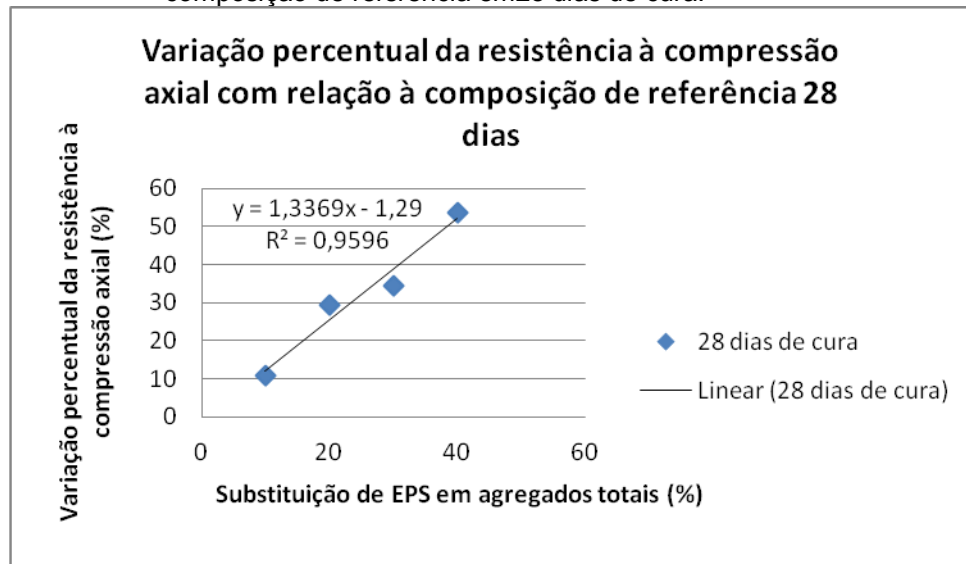
diversas composições em relação à da composição de referência em 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Figura 42 - Variação percentual do valor da resistência mecânica axial em relação à da composição de referência em 7 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 43 - Variação percentual do valor da resistência mecânica axial em relação à da composição de referência em 28 dias de cura.

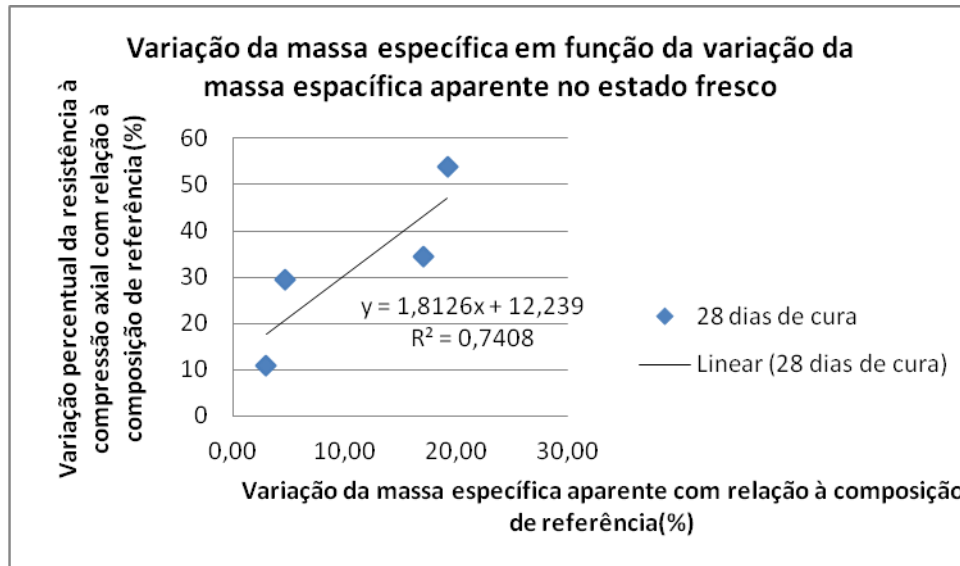


Fonte: Dados do próprio autor.

Do mesmo modo, a Figura 44, com auxílio de informações das Tabelas 15 e 16, procura apresentar a “variação da massa específica aparente no estado fresco das diversas composições em relação à da composição de referência”, em relação a “variação da resistência mecânica do material com substituição em relação à do

concreto de referência”, em 28 dias de cura.

Figura 44 - Variação da massa específica aparente em relação à composição de referência, em relação a variação da resistência mecânica do material com substituição em relação ao concreto de referência em 28 dias de cura.



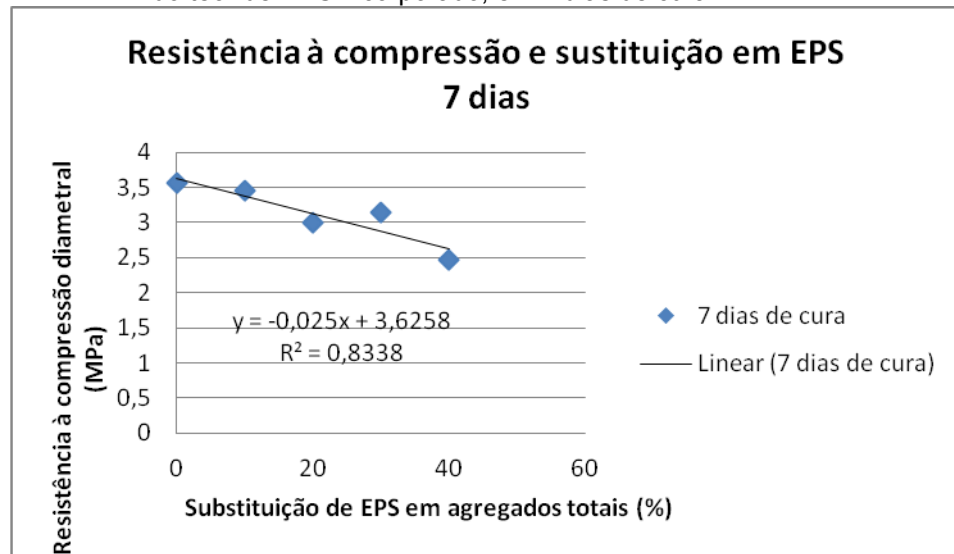
Fonte: Dados do próprio autor.

Pela observação das figuras, notou-se que as condições de trabalhabilidade, permitindo as condições de adensamento no estado fresco, guardaram relação com o valor da resistência final, em coerência com Neville (1997), que considera a influência das condições de adensamento no estado fresco sobre as propriedades mecânicas do estado endurecido.

6.3.2.1.2 Comportamento da resistência à compressão diametral

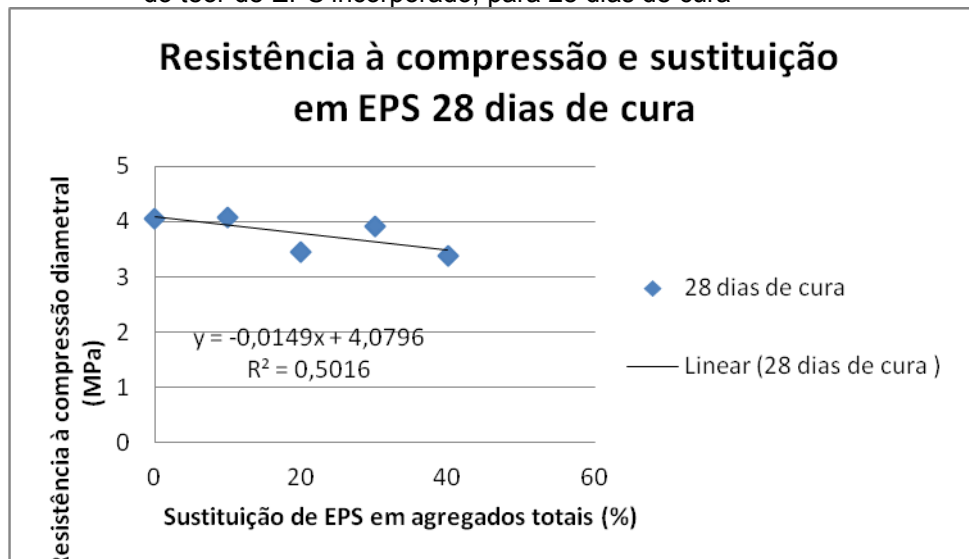
A Figura 45 a Figura 46, com auxílio de informações da Tabela 17, apresentam a variação do valor da resistência diametral em relação à variação do teor de EPS incorporado, em 7 e 28 dias de cura, respectivamente

Figura 45 - Variação do valor da resistência à compressão diametral em relação à variação do teor de EPS incorporado, em 7 dias de cura



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 46 - Variação do valor da resistência à compressão diametral com relação à variação do teor de EPS incorporado, para 28 dias de cura

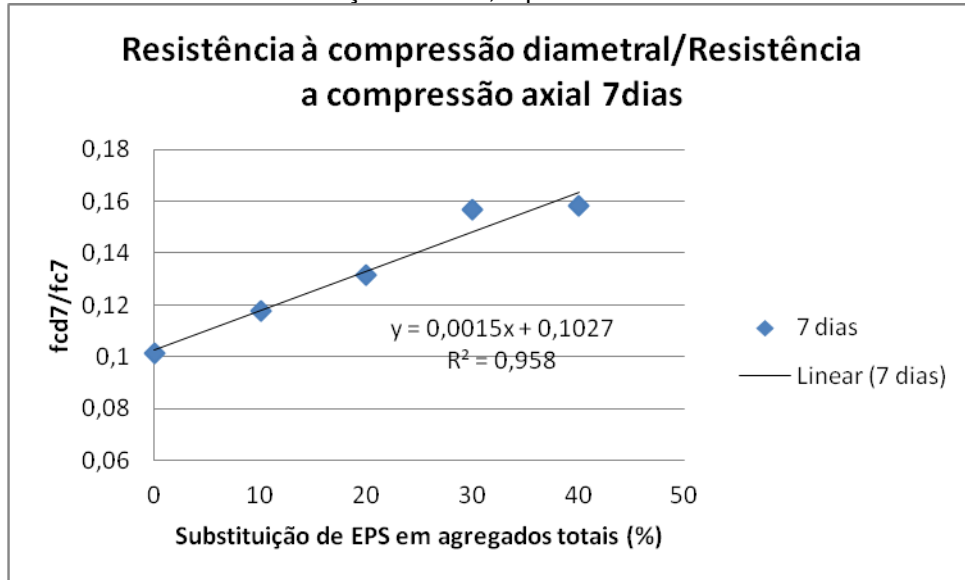


Fonte: Dados do próprio autor.

Da mesma maneira que, nos casos de compressão axial, observa-se com nos valores de resistência à compressão diametral a diminuição de valores com o aumento da porcentagem de EPS incorporado em substituição a uma parte dos agregados miúdos e graúdos. No caso de 28 dias de cura, nota-se um valor mediano de relação com o modelo linear de variação, no entanto os valores mostram-se coerentes com a variação de comportamento do concreto com os esforços de compressão axial e diametral, conforme são ilustrados nas Figuras 47 e

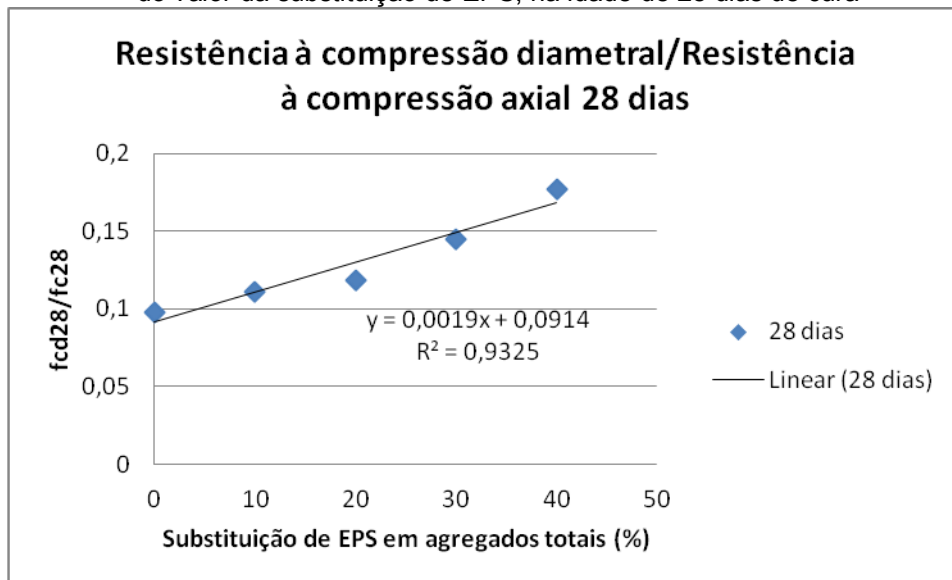
48, obtidas com auxílio de informações das Tabelas 16 e17.

Figura 47 - Resistência à compressão diametral/ resistência à compressão axial, em função do valor da substituição de EPS, e para a idade de 7 dias de cura



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 48 - Resistência à compressão diametral/ resistência à compressão axial, em função do valor da substituição de EPS, na idade de 28 dias de cura



Fonte: Dados do próprio autor.

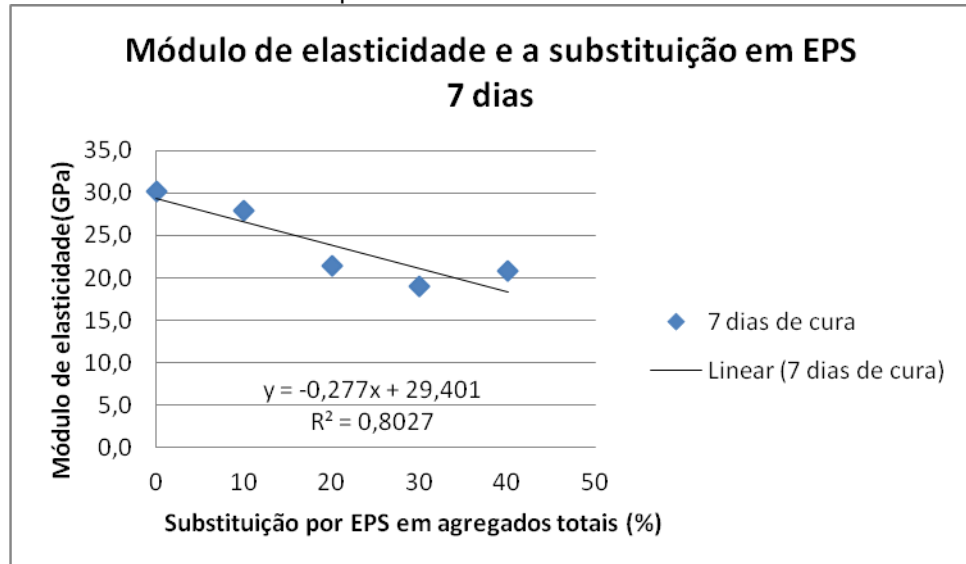
Segundo Andrade e Tutikian (2011), o ensaio de compressão diametral faz com que se desenvolvam tensões de tração ao longo da geratriz do corpo de prova. Desta maneira, o aumento do valor da resistência à compressão diametral do

material de modo proporcional ao valor da resistência à compressão axial mostra-se coerente com o nível de cimentação em cada caso, visto que o processo de ruptura à compressão axial também se dá pelo desenvolvimento de fendas de tração.

6.3.2.1.3 Modificações nas condições de rigidez e de deformabilidade do concreto

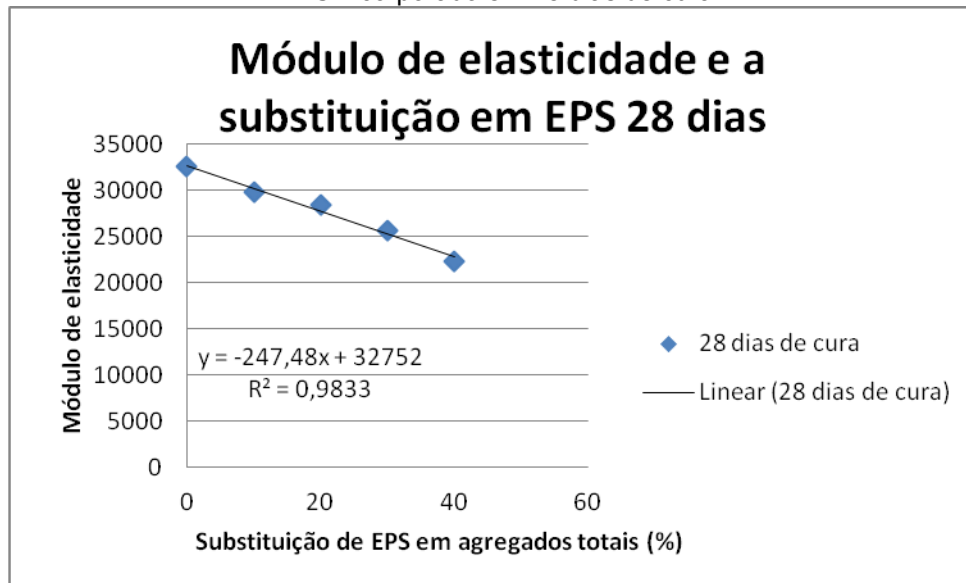
Com relação ao módulo de elasticidade, as Figuras 49 e Figura 50, obtidas com auxílio de informações da Tabela 18, ilustram a variação deste com a variação do teor de EPS incorporado, em 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Figura 49 - Variação do valor do módulo de elasticidade em relação à variação do teor de EPS incorporado em 7 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 50 - Variação do valor do módulo de elasticidade em relação à variação do teor de EPS incorporado em 28 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

Observa-se que, nos valores do módulo de elasticidade, existe diminuição deste com o aumento da porcentagem de EPS incorporado, em substituição a uma parte dos agregados miúdo e graúdo, de modo a diminuir a presença e a influência destes na composição, conforme apresenta a Tabela 9. Essa variação pode ser explicada, provavelmente, pela variação das propriedades elásticas do material em decorrência da substituição, e o efeito pode ser percebido tanto pelas modificações na pasta como na fase dos agregados. Acredita-se que os valores das propriedades elásticas do EPS frente às propriedades do material concreto são desprezíveis, de modo que a variação da porcentagem de agregados graúdos em relação ao volume do concreto possa responder por essa variação.

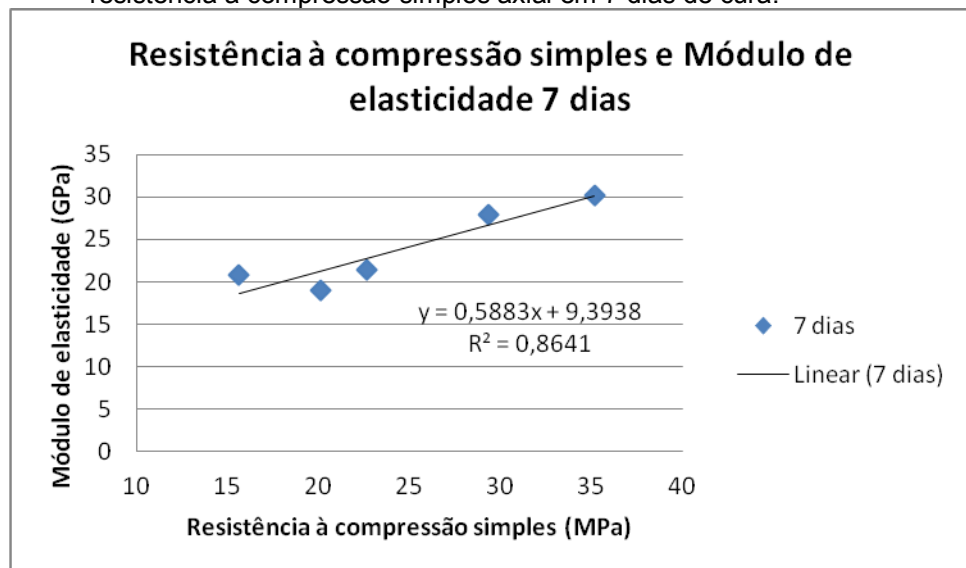
Conforme já apresentado sobre as propriedades do concreto no estado endurecido, a deformabilidade dos agregados e da pasta tende a apresentar um comportamento linear com o nível de tensão aplicado. De modo geral, os agregados tendem a apresentar um valor mais elevado para o módulo de elasticidade do que o da pasta, situando-se o módulo de elasticidade do concreto entre esses dois valores, e sujeito ao nível de tensão aplicado. Nesse sentido, parece coerente que a substituição de agregados graúdos e de agregados miúdos pelo EPS venha a contribuir na diminuição do valor do módulo de elasticidade, pela menor influência dos agregados no módulo de elasticidade do compósito. Conforme a Tabela 8, o valor da relação agregado graúdo/volume de concreto por metro cúbico varia de 0,297 para a composição de referência a 0,192 para a composição com 40% em

substituição em EPS, e no caso do agregado miúdo, essa variação é de 0,304 a 0,178, e em relação ao agregado total de 0,60 a 0,36.

Em relação à porcentagem em massa para o caso do agregado graúdo por metro cúbico de concreto, a mesma tabela apresenta a variação de 36% para 29,7% nos casos da composição de referência e da composição com 40% de EPS em substituição.

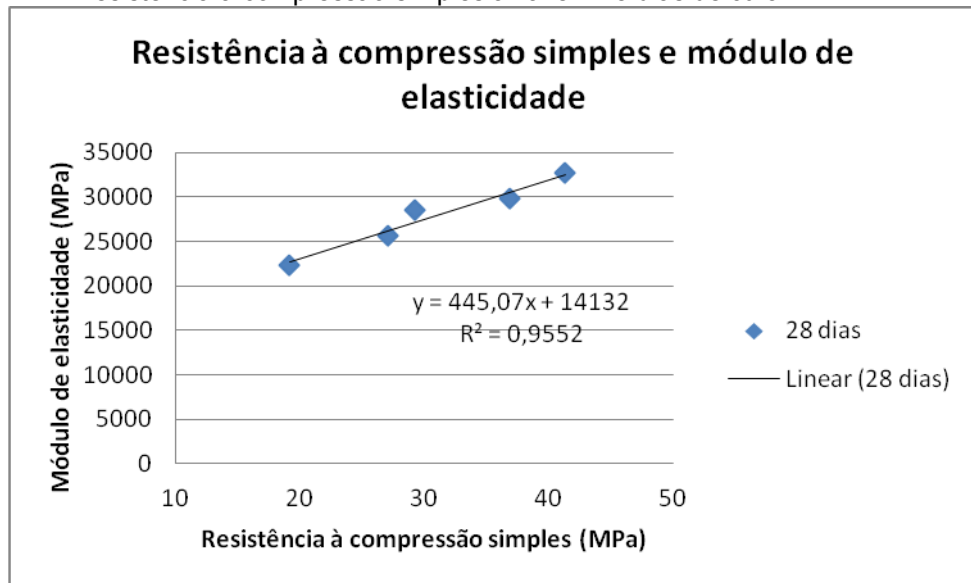
Os valores do módulo de elasticidade, de modo geral, estão associados aos valores da resistência mecânica axial, em coerência com Andrade e Tutikian (2011). Portanto, procurou-se estabelecer correlação entre esses valores. A Figura 51 e a Figura 52, com auxílio de informações das Tabelas 16 e 18, procuram estabelecer a correlação entre esses valores em 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Figura 51 - Variação do valor do módulo de elasticidade em relação à variação do valor da resistência à compressão simples axial em 7 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

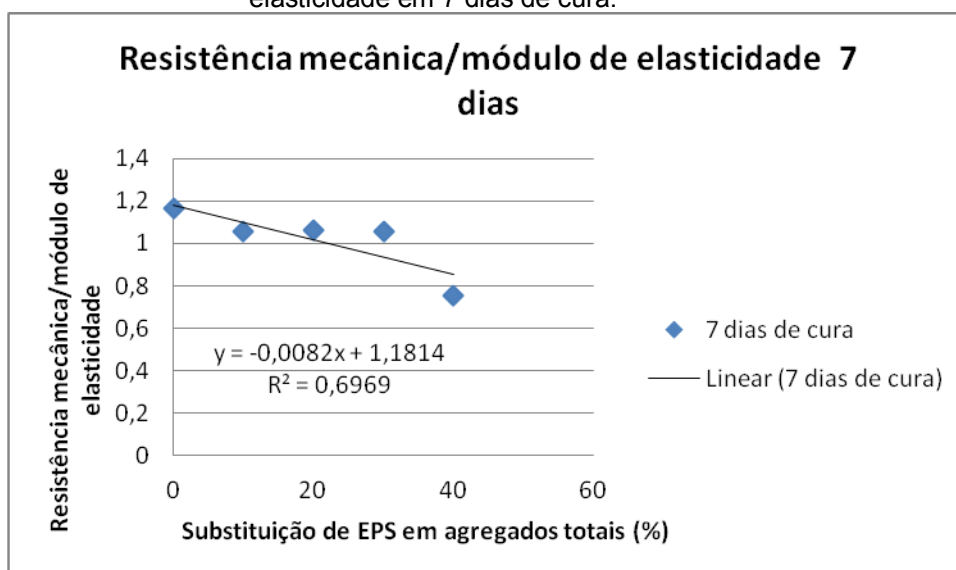
Figura 52 - Variação do valor do módulo de elasticidade em relação à variação do valor da resistência à compressão simples axial em 28 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

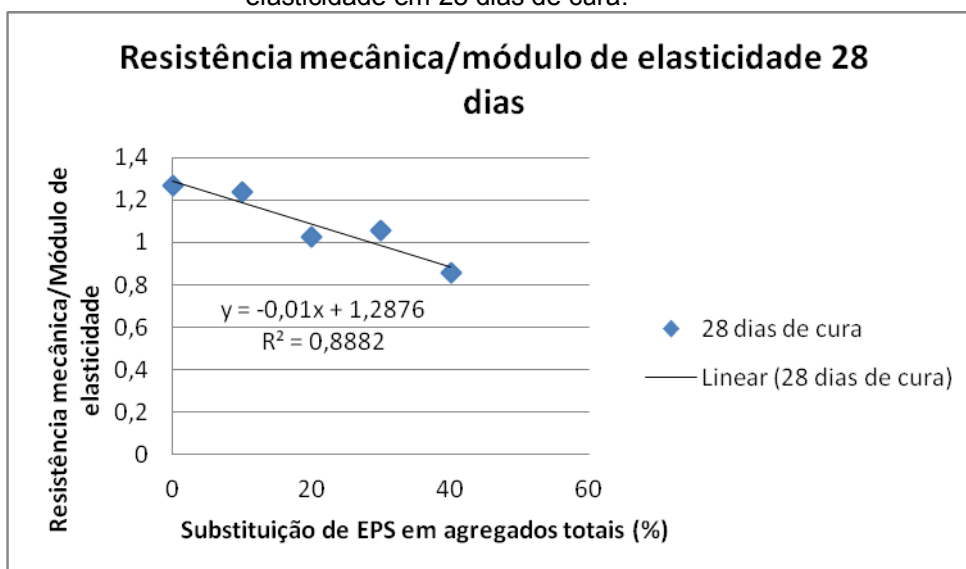
Pela observação das Figuras 51 e 52, é possível observar que ao valor da resistência à compressão simples acompanha o nível de rigidez do material. O ganho de resistência à compressão axial ocorre a taxas de variação menores do que as do valor do módulo de elasticidade. Em vista disso, a Figura 53 e a Figura 54, obtidas com auxílio de informações das Tabelas 16 e 18 apresentam a variação dos valores da relação “resistência à compressão simples/módulo de elasticidade” em função do teor de EPS incorporado em substituição em 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Figura 53 - Variação do valor da relação resistência à compressão simples axial/módulo de elasticidade em 7 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 54 - Variação do valor da relação resistência à compressão simples axial/módulo de elasticidade em 28 dias de cura.



Fonte: Dados do próprio autor.

Conforme observação da variação dessa relação, acredita-se que com o aumento da incorporação do EPS em substituição exista modificação nas condições de rigidez, de modo que os valores do módulo de elasticidade tendem a sofrer incrementos maiores do que os da resistência à compressão. Pereira Neto e Djanikian (1996) consideram que a variação do valor do módulo de elasticidade em função de tipo de agregado e da sua dimensão máxima varia em compatibilidade com os valores dos módulos de elasticidade dos agregados e da matriz.

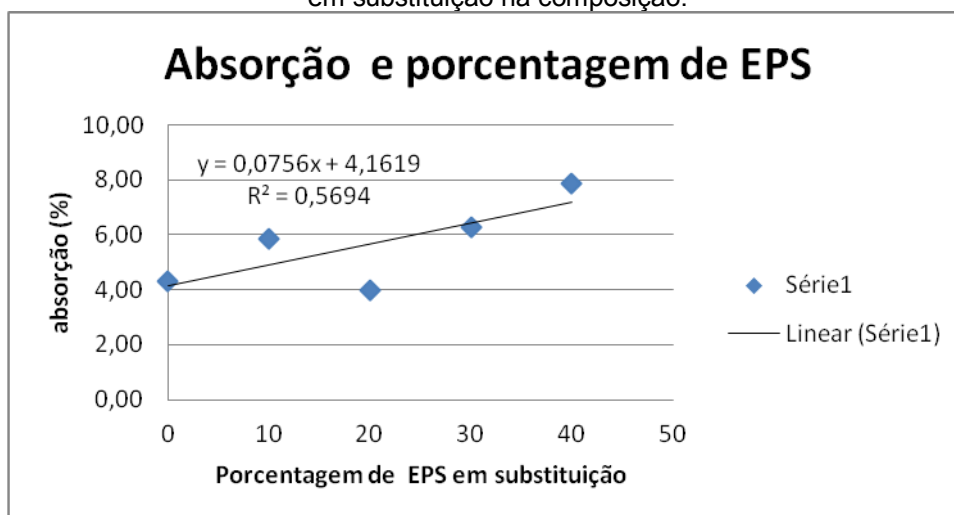
Considerando um desconfinamento das misturas e um aumento percentual de finos, um melhor desempenho da matriz mostrou-se mais compatível com a influência dos agregados graúdos.

Observa-se também um indicativo de que a incorporação progressiva de EPS contribui no aumento da fragilidade do concreto.

6.3.2.2 Análise dos resultados de absorção

Conforme se apresenta a Tabela 19, os valores da absorção tendem a ser crescentes com o aumento do teor de EPS em substituição parcial aos agregados miúdos e agregados graúdos. A isso se pode atribuir o desconfinamento da composição, conforme foi apresentado na Tabela 9 envolvendo a relação percentual das composições em relação à composição de referência, e ao aumento da porosidade da fase da argamassa, como se subentende através do aumento do conteúdo de EPS em relação à composição de referência. A Figura 55, obtida nas informações da Tabela 19, procura apresentar a correlação entre os valores da absorção em relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição.

Figura 55 - Correlação entre os valores da absorção em relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição.

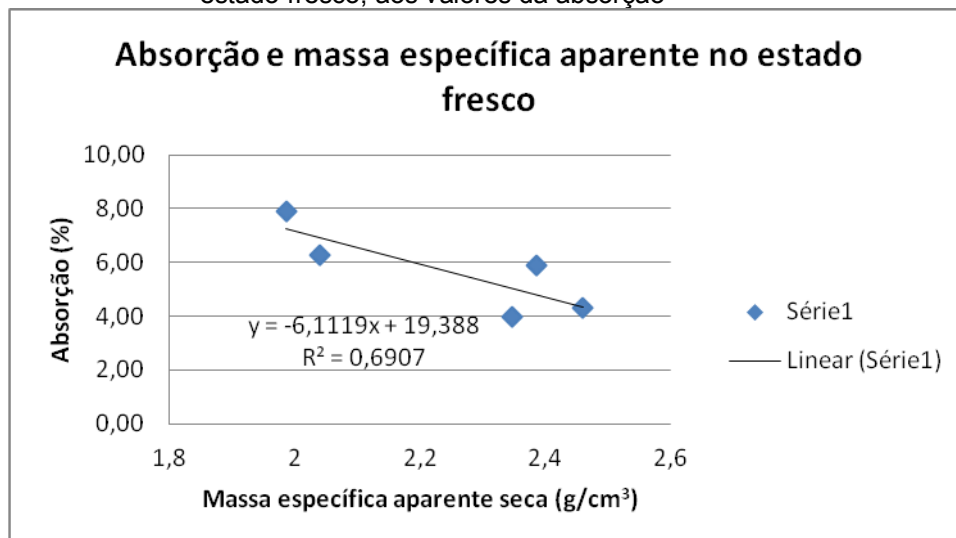


Fonte: Dados do próprio autor.

As condições de compacidade do concreto no estado fresco permitiriam diferentes condições de adensamento, as quais podem ter sofrido a influência das condições de mobilidade na trabalhabilidade. Nesse sentido, a Figura 56, obtida nas informações das Tabelas 15 e 19 apresenta o valor da correlação entre os valores

da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção.

Figura 56 - Correlação entre os valores da massa específica aparente alcançadas em estado fresco, aos valores da absorção



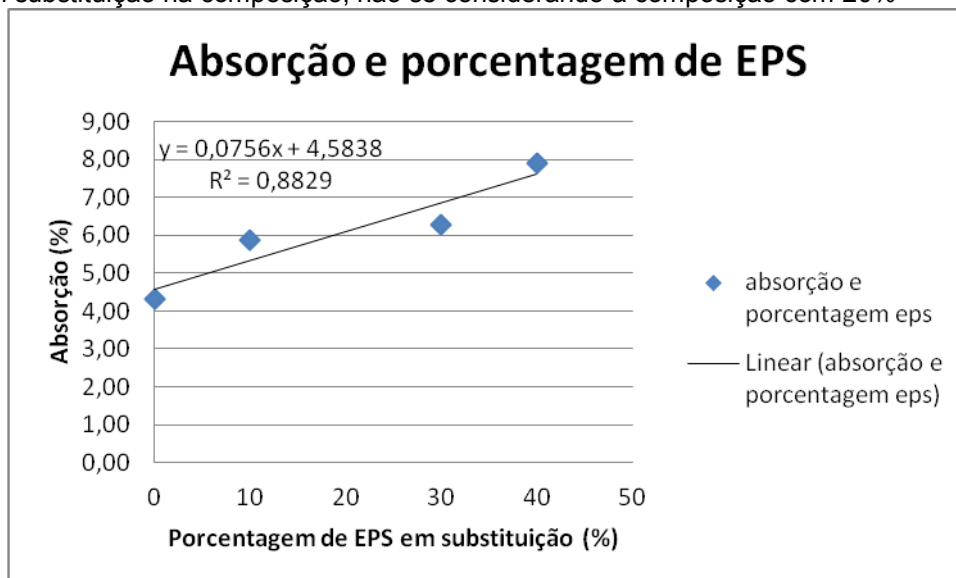
Fonte: Dados do próprio autor

Observa-se que o valor da absorção vem a ter um indicativo de que seja inversamente proporcional ao valor da compactação alcançada no estado fresco de modo similar aos casos da resistência mecânica. Compreende-se que seja em decorrência de que a composição 20% apresentou um valor atípico para a série.

Uma tentativa de ajuste, eliminada essa composição conduziu a valores médios e desvio padrão dados por 6,10% e 1,47. O valor da absorção deveria ser pelo menos da ordem de 4,63%, muito maior do que o valor de 3,99%.

Considerando-se as demais composições, foi elaborada a Figura 57, a qual aponta melhores tendências de correlação com os valores da porcentagem de EPS e da absorção.

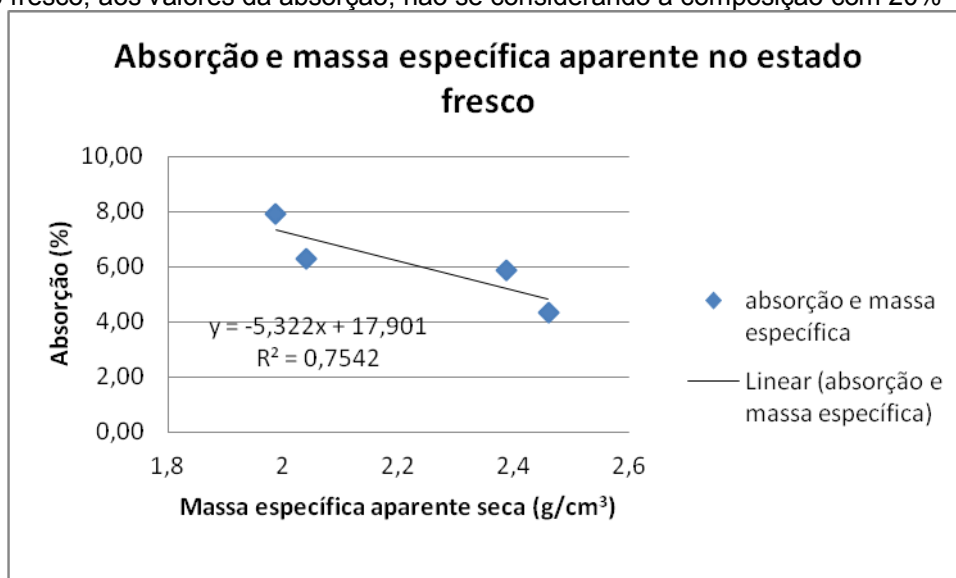
Figura 57 - Correlação entre os valores da absorção em relação aos valores do teor de EPS em substituição na composição, não se considerando a composição com 20%



Fonte: Dados do próprio autor.

Da mesma maneira que a Figura 56, a Figura 58 ilustra a correlação entre os valores da massa específica aparente alcançados em estado fresco aos valores da absorção, em se desconsiderando o caso da composição de 20%.

Figura 58 - Correlação entre os valores da massa específica aparente alcançada sem estado fresco, aos valores da absorção, não se considerando a composição com 20%



Fonte: Dados do próprio autor.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- De modo geral, o pó de mármore demonstrou bom desempenho quando utilizado como finos do concreto autoadensável, visto que os concretos com ele fabricados atenderam aos ensaios de validação quando no estado fresco, requeridos para o concreto autoadensável.

- O EPS comportou-se de modo a não se incompatibilizar com desempenho requerido dos concretos autoadensáveis quando no estado fresco, atuando dentro de tolerâncias para as exigências do CAA, tendo ele aparentemente comportado como um agente no aumento da coesão interna, e atuou refreando a mobilidade em contrapartida à diminuição das forças de inércia causada pela diminuição dos agregados, minimizando as tendências à segregação do concreto e promovendo boas condições de fluxo em escoamento confinado, em sinergia com a diminuição da influência da inércia e do atrito promovidos pelos agregados. O EPS não comprometeu a habilidade passante do concreto dentro dos teores utilizados em substituição.

- Considera-se relevante ressaltar que o tipo de concreto investigado foi o CAA. Nesse caso, o adensamento deveria se dar unicamente sob a ação mecânica do seu peso próprio, de modo a promover as melhores condições de compacidade do concreto. As condições de trabalhabilidade do concreto estiveram sujeitas às variações dos teores de EPS em substituição, e, as propriedades reológicas do concreto fresco tornaram-se relevantes. A incorporação do EPS não comprometeu as propriedades requeridas a CAA.

- A substituição parcial de agregados miúdos e de agregados graúdos pelo EPS trouxe modificações à capacidade portante do concreto, no sentido de se promover a diminuição desta, tendo em vista que os agregados são de modo geral os elementos mais resistentes do compósito “concreto”, em especial nos níveis de tensão aplicados, e pelo fato de que a presença do eps contribui para a formação de vazios no material. Um outro aspecto que pode ter sido relevante na variação dos valores da resistência mecânica é o das condições de trabalhabilidade, as quais puderam influenciar nas condições de adensamento de maximização das condições de

compacidade.

- Os valores da resistência à compressão diametral apresentam variações em concordância com os valores de resistência à compressão axial. Isso vem a ser um bom indicativo do nível de cimentação interna, de modo a não se descaracterizar o comportamento típico dos concretos.

- Do mesmo modo que, para o caso da capacidade portante, a substituição parcial de agregados miúdos e de agregados graúdos pelo EPS trouxe modificações às propriedades elásticas do concreto como um compósito, no sentido de se aumentar a deformabilidade do concreto, visto que os agregados, de modo geral, apresentam-se menos deformáveis, frente a um nível de tensão, do que a fase argamassa ou a pasta, de maneira que, no conjunto, a influência da substituição seja perceptível.

- Tendo em vista que tanto a capacidade portante como a deformabilidade do concreto se encontraram sujeitas às mesmas variações quanto aos fatores de composição, de modo coerente, elas se mantiveram em concordância quanto à sua variabilidade.

- Observa-se que as variações de valores das propriedades mecânicas apresentam, na maioria, um comportamento aproximadamente linear, conforme a curva ajustada, e um valor de correlação associado, de modo a oferecer o indicativo para um modelo previsível do comportamento mecânico, de modo que, para outros valores de substituição desejados, possam ser estimados os valores de resistência mecânica, os quais estarão em conformidade com as exigências de projeto.

- Em relação aos valores da absorção, acredita-se que a variação desta se deu pelo fato de haver o aumento de vazios no material em decorrência da substituição de agregados pelo EPS. Convém ressaltar que os valores encontrados para a absorção dentro das piores condições se encontram muito abaixo dos que são prescritos pela norma para esse aspecto.

- Pelas imagens observadas das superfícies rompidas dos corpos de prova por compressão diametral, aparentemente o teor de 40% de EPS apresenta-se como um valor limite, em decorrência das possíveis concentrações e distribuição do EPS no interior da mistura cimentícia na

produção do CAA. Os aspectos das superfícies e dos agregados rompidos fornecem um indicativo de que as condições de aderência entre a pasta e os agregados sejam bastante favorecidas.

7 CONCLUSÕES

Pelo que se depara com os resultados alcançados e analisados, conclui-se que:

- O pó de mármore mostra-se adequado para a utilização como finos na fabricação do concreto autoadensável.
- O EPS apresenta papel relevante na acentuação das propriedades viscosas do concreto autoadensável.
- O EPS não compromete as propriedades requeridas para a viabilização do concreto autoadensável.
- O EPS em substituição a agregados graúdos ou miúdos contribui n diminuição da capacidade portante e no aumento da deformabilidade dos concretos, de modo a ter variações proporcionais à variação do teor de incorporação deste.
- A variação das propriedades mecânicas do concreto autoadensável com a substituição parcial de EPS em relação aos agregados apresenta-se de modo a estabelecer um modelo previsional de modo a ter valores estimados de resistência, a partir de ábacos pré-estabelecidos.
- O aumento dos valores da absorção causado pela substituição do EPS aos agregados miúdos e graúdos apresenta-se proporcional aos valores adotados em substituição e não comprometem o desempenho do material.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G. S. G; COUTINHO, L. G. A.; OLIVEIRA, M. J. E. Estudo da adição de agregado reciclado ao concreto. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., 2002. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. p. 277-282.
- AÏTICIN, P.C **Concreto de elevado desempenho**. São Paulo: PINI, 2000, 667p.
- ALCANTARA, M. A. M. **Bétons auto-plaçants et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique**. 2004. 192 p.Thèse (Doctorat INSA Spécialité Genie Civil) - l'institut National des Sciences Appliquees de Toulouse - INSA, Toulouse, 2004.
- ALCÂNTARA, A. M.; LIMA, G. G. S. O uso de cinzas de casca de arroz e do pó de pedra como finos na produção do concreto auto-adensável. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 2., São Carlos. **Anais...** São Carlos: [s. n.], 2009. p. 1-14.
- ALCÂNTARA, A. M.; SANTOS, B. V. **O uso de resíduos como finos na fabricação do concreto autoadensável**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL, 1, 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: [s. n.], 2012.
- ALMEIDA, I. R. **Concretos de alto desempenho**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2. p. 1159-1193.
- ANDRADE, J. J. O; TUTIKIAN, B. F. Resistência mecânica do concreto, In: ISAIA, G. C.(Ed.) **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2011, p. 615-651
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001. 8 p.
- _____. **NBR NM 45: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.
- _____. **NBR NM 49: agregado: fino-determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.
- _____. **NBR NM 52: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- _____. **NBR NM 65: cimento Portland: determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
- _____. **NBR NM 67: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

_____. **NBR NM 76:** cimento Portland: determinação da finura pelo método de permeabilidade ao Ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998. 12 p.

_____. **NBR 5733:** cimento portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5738:** modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2008. 6 p.

_____. **NBR 7215:** cimento Portland: determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 1997. 8 p.

_____. **NBR 8522:** concreto: determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 10004:** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE GENIE CIVIL (AFGC). **Bétons autoplaçants, recommandations provisoires.** Departamento de Engenharia Civil .Paris, 2000. 7p.

BARBOZA, A. S. R. et al. **Concreto auto-adensável uma opção para os pré – moldados.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC, 2005. 11p. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/127.pdf > Acesso em: 20 set. 2013

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** Rio de Janeiro: LCT, 1994. v. 2. 531 p.

BERTÉ, D. D. S. **Estudo de otimização e análise de variáveis de comportamentos do solo:** cimento auto-adensável para uso em habitações. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Estrutura) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2012.

BENTUR, A. Cimentitious materials: nine millenia and a new century, past, present, future. **Journal of Materials of Civil Engineering**, Reston, v. 14, n.4, 2003, p. 2-22. Disponível em: < <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282002%2914%3A1%282%29>>. Acesso em: 10 nov. 2013

PEDRO, R. **Reologia e modificadores reológicos.** São Paulo: Revista HC, 2001. Disponível em: <http://www.freedom.inf.br/artigos_tecnicos/hc56/ricardopedro.asp>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRANCO, P. **Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável.** 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Estrutura) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2012.

BUTTLE, A. M.; MACHADO Jr, E. F. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto**: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

COSTA, S. F. **Introdução ilustrada á estatística (com muito humor!)** São Paulo : Harbra, 1988. 266 p.

ESPERANÇA, V. J. **Adição do pó de mármore como agregado no concreto convencional**: estudo da viabilidade do reaproveitamento do resíduo do pó de mármore. 2012. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2012.

FURNAS, equipe laboratório de concreto. Departamento de apoio e controle técnico. **Concreto, massa, estrutura, projetado e compactado com rolo**: ensaios e propriedades. São Paulo: PINI, 1997. 1260 p.

GUIMARÃES, A. T. C. Propriedades do concreto fresco. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1. p. 473-494.

GOMES, P. C. C.; BARROS A. R. **Métodos e dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009. 165 p.

_____. **Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete**. 2002. 139 p. Tesis (Doctoral) - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

INO, A. et al. **Materiais de construção civil e princípio de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACOM, 2010. v. 1. 832 p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/livre%20doc%C3%A4ncia%20vmjohn.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2011.

LISBOA, E. M. **Obtenção de concreto autoadensável utilizando resíduo do beneficiamento de mármore e granito e estudo das propriedades mecânicas**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

LI, V.; KONG, H.; BIKE S. Constitutive rheological design for developement of self-compacting engineered cementitious composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 2., 2001, Tokyo. **Proceedings of ...** Tokyo: [s. n.], 2001. p. 147-158

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedade e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MITRÓPAPAS, R. B. M. **Estudo da influência de uso do pó de mármore na resistência mecânica do concreto produzido com cimento Ari**. 2012. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2012.

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

PEREIRA NETO, P. M., DJANIKIAN, J. G. **A influência do tipo de agregado e da dimensão máxima característica nos módulos de elasticidade do concreto de alto desempenho**. São Paulo: IBRACON, 1996.

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: Globo, 1980. 307 p.

SHEATA, L. C. D. Propriedades elasto-plásticas do concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 653-671.

SILVA, E.J. da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Estrutura) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2009.

TEIXEIRA, A. M. et al. Produção de concreto autoadensável utilizando resíduos de mármore. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2012. 11 p.

TUTIKIAN, B.F.; MOLIN, D.C.D. **Concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.

_____. **Método para dosagem de concreto autoadensável**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

_____. **Preposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis**. 2007. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WALRAVEN, J. Evolution of concrete. **Structural Concrete**, London, v. 1, p. 03-11, 1999.