

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**BRISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DA INDÚSTRIA
CALÇADISTA**

DOUTORANDA: MARIANA PORTO VIANA

ORIENTADOR: PROF. D.Sc JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO

Campina Grande, Fevereiro de 2019

TESE DE DOUTORADO

**BRISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DA INDÚSTRIA
CALÇADISTA**

Tese apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

Doutoranda: Mariana Porto Viana

Orientador: Prof. Dr. José Wallace B. do Nascimento

Campina Grande - PB

Fevereiro/2019

S586s

Viana, Mariana Porto.

Brise de concreto com resíduo de borracha da indústria calçadista / Mariana Porto Viana. – Campina Grande, 2019.

120 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento".

Referências.

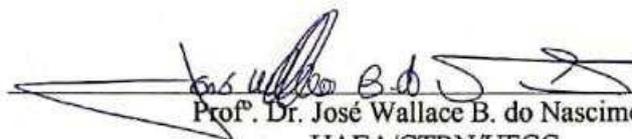
1. Agregado Miúdo. 2. Borracha de Calçados. 3. *Brises-Soleis*. 4. Reciclagem.

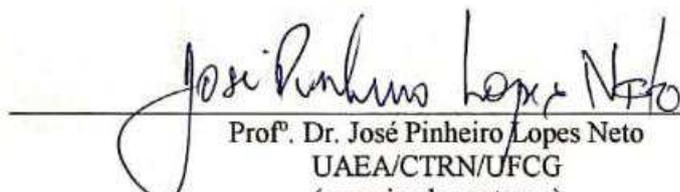
I. Nascimento, José Wallace Barbosa do. II. Título.

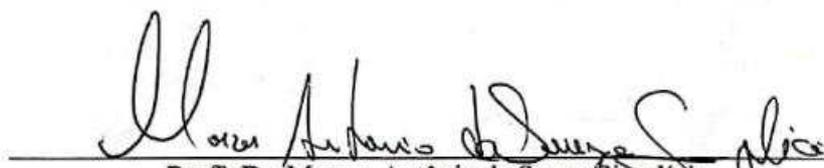
CDU 691(043)

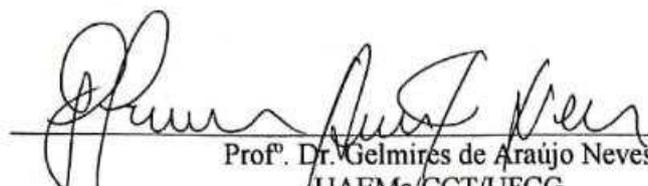
MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE
MARIANA PORTO VIANA APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

Tese de Doutorado aprovada em 28 de Fevereiro de 2019.


Prof.º Dr. José Wallace B. do Nascimento
UAEA/CTRN/UFCG
(examinador externo)


Prof.º Dr. José Pinheiro Lopes Neto
UAEA/CTRN/UFCG
(examinador externo)


Prof.º Dr. Marcos Antônio de Souza Simplicio
UAEC/CTRN/UFCG
(examinador externo)


Prof.º Dr. Gelmires de Araújo Neves
UAEMA/CCT/UFCG
(examinador externo)


Prof.ª Dra. Cássia Mendonça dos Anjos
UNIFACISA
(examinadora externa)

**"Admiro os poetas. O que eles dizem com duas palavras,
a gente tem que exprimir com milhares de tijolos."**

Vilanova Artigas

AGRADECIMENTOS

Antes e acima de tudo à **Deus**, essência de nossa existência, por ter me concedido o dom da vida e a graça de conquistar cada passo na minha caminhada.

À minha família, nas pessoas de **José Marcos** (meu pai), **Maria Emília** (minha mãe), **Anna Paula** e **Maira** (minhas irmãs), **Anna Lívia** (minha sobrinha), **Yuri** e **Pedro** (meus cunhados), **Antônio Viana** (meu avô), bem divino que me guia e orienta, razão do que hoje sou, com quem tanto compartilho e aprendo.

À meu esposo, **Nailton**, por ser meu equilíbrio, sinônimo de companheirismo e tanto me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. **José Wallace Barbosa do Nascimento**, pela orientação, auxílio, confiança, atenção e dedicação para comigo, durante as várias etapas de desenvolvimento desta pós-graduação.

Ao funcionário do laboratório **Joselito**, sempre à disposição quando foi solicitado. À **Universidade Federal de Campina Grande** e à pós-graduação em Engenharia de Processos, pelo apoio à pesquisa.

À alguns queridos da **EJNS**, que fizeram seus gestos concretos de alguma maneira e participaram indiretamente desta construção.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE QUADROS	V
LISTA DE GRÁFICOS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO 1	18
1.1 Introdução	18
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Hipóteses	21
CAPÍTULO 2	22
SUSTENTABILIDADE	
2.1 SUSTENTABILIDADE NO CENÁRIO ATUAL	22
2.2 RESÍDUO DE BORRACHA E RECICLAGEM	24
CAPÍTULO 3	29
CONCRETO	
3.1 CIMENTO PORTLAND	30
3.2 AGREGADOS	30
3.2.1 Agregados miúdos	31
3.2.2 Agregados graúdos	31
3.2.3 Teor ótimo de água	31
3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	32
3.3.1 Resistência à compressão	33
3.3.2 Resistência à tração	33
3.3.3 Módulo de Elasticidade	34
3.4 CONCRETO COLORIDO	34
3.5 PESQUISAS ENVOLVENDO CONCRETO COM BORRACHA	38
CAPÍTULO 4	44
CONTEXTUALIZANDO BRISES	
CAPÍTULO 5	52
MATERIAL E MÉTODOS	
5.1 ETAPA 1	53
5.1.1 Materiais Utilizados	53
5.1.2 Dosagem do Concreto e Preparo dos Corpos de Prova	56
5.1.3 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova	58

5.1.4 Distribuição e interação dos materiais (avaliação visual e Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV)	60
5.1.5 Massa Específica e Absorção de Água por Capilaridade	62
5.1.6 Resistência à Compressão e Resistência à Tração	63
5.1.7 Escolha da dosagem para desenvolvimento dos protótipos	64
5.2 ETAPA 2	
5.2.1 Desenvolvimento dos Protótipos do Brise em Escala Real	64
5.2.2 Desenvolvimento dos Protótipos do Brise em Escala Reduzida	68
5.2.3 Avaliação da compressão e tração na flexão em protótipos do brise	70
5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	73
CAPÍTULO 6	74
RESULTADOS	
6.1 DISTRIBUIÇÃO E INTERAÇÃO DOS MATERIAIS (AVALIAÇÃO VISUAL E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV)	74
6.1.1 Avaliação visual da distribuição dos materiais	74
6.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura	75
6.2 MASSA ESPECÍFICA	79
6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	81
6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	83
6.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	91
6.6 RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO	94
6.7 ESCOLHA DA DOSAGEM PARA SEGUNDA ETAPA DA PESQUISA	96
6.8 PIGMENTAÇÃO DOS MODELOS REDUZIDOS	97
6.9 AVALIAÇÃO DA COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO EM PROTÓTIPOS DO BRISE	99
CAPÍTULO 7	106
CONCLUSÕES	
CAPÍTULO 8	108
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	
CAPÍTULO 9	109
DIFICULDADE ENCONTRADA	
REFERÊNCIAS	110
APÊNDICES	117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Exemplos de aplicação de concreto colorido. a) Centro Cultural Comunitário Teotitlán del Vale – LGM Studio b) Casa Boaçava – Una Arquitetos.	35
FIGURA 2	Cais do Sertão Luiz Gonzaga, em Pernambuco – Brasil Arquitetura.	35
FIGURA 3	Praça das Artes, em São Paulo.	36
FIGURA 4	Pigmentos em várias cores.	36
FIGURA 5	Diagrama dos tipos de brises.	45
FIGURA 6	Brises verticais na fachada do Pavilhão Cicillo Matarazzo, também conhecido como Pavilhão da Bienal. Parque Ibirapuera – São Paulo.	46
FIGURA 7	Brises horizontais na fachada do Conjunto Copan, em São Paulo.	46
FIGURA 8	Brises combinados na fachada do MES – Rio de Janeiro.	46
FIGURA 9	Fachada do hotel Suites Avenue Aparthotel, em Barcelona, na Espanha.	47
FIGURA 10	Brise-soleil dinamizando a composição arquitetônica no Milwaukee Museum, Estados Unidos.	47
FIGURA 11	Composição de brises em edificação escolar na Inglaterra.	47
FIGURA 12	Croqui do projeto da Universidade de Brasília.	49
FIGURA 13	Brises na fachada do Centro de Artes e Comunicação da UFPE.	50
FIGURA 14	Demonstração de aplicação de brises de concreto em fachada.	50
FIGURA 15	Brises metálicos coloridos em escola em Alto de Pinheiros.	50
FIGURA 16	Execução de bloco com brises de concreto em faculdade.	51
FIGURA 17	Blocos com brise de concreto colorido em faculdade. (a)pastilhado (b)pintado.	51
FIGURA 18	Etapas da pesquisa.	52
FIGURA 19	Detalhamento etapas da pesquisa.	53
FIGURA 20	Borracha sendo inserida para trituração em partículas pequenas.	54
FIGURA 21	Borracha já triturada em partículas homogêneas, ainda no recipiente do triturador.	54
FIGURA 22	Areia, brita e borracha moída, secas para ensaio de granulometria.	54
FIGURA 23	Execução do <i>Slump Test</i> .	57
FIGURA 24	Materiais separados. a) concreto referência – sem borracha. b) concreto alternativo – com borracha.	58
FIGURA 25	Materiais sendo inseridos na betoneira.	59
FIGURA 26	Formas para moldagem do corpo de prova.	59
FIGURA 27	Corpos de prova sendo moldados.	59
FIGURA 28	Tanque com corpos de prova de concreto referência.	60
FIGURA 29	Tanque com corpos de prova de concreto alternativo.	60
FIGURA 30	Cortes dos corpos de prova para avaliação da distribuição dos agregados.	61
FIGURA 31	Amostras sendo preparadas para microscopia. a) Antes da metalização b) Após metalização.	61
FIGURA 32	Identificação e pesagem dos corpos de prova para ensaio de massa específica e absorção de água por capilaridade em balança de precisão.	62

FIGURA 33	Medição dos corpos de prova com paquímetro.	62
FIGURA 34	Corpos de prova na estufa.	62
FIGURA 35	Corpos de prova em contato com a água.	63
FIGURA 36	Corpo de prova rompido diametralmente.	63
FIGURA 37	Identificação dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão simples.	63
FIGURA 38	Corpo de prova sendo ensaiado.	63
FIGURA 39	Identificação dos corpos de prova para ensaio de resistência à tração por compressão diametral.	64
FIGURA 40	Corpo de prova sendo ensaiado.	64
FIGURA 41	Forma e armadura em aço para protótipos do brise em escala 1/1.	65
FIGURA 42	Materiais sendo misturados em betoneira.	66
FIGURA 43	Concretagem: primeira camada de concreto.	66
FIGURA 44	Concretagem: inserção da malha e segunda camada de concreto.	67
FIGURA 45	Protótipos desmoldados e identificados.	67
FIGURA 46	Protótipos do brise em tanque de cura.	67
FIGURA 47	Forma e malha em aço para moldagem do protótipo do brise em escala reduzida.	68
FIGURA 48	Concretagem do brise em escala reduzida sem pigmentação.	68
FIGURA 49	Borracha predominantemente amarela e pigmentações utilizadas.	69
FIGURA 50	Borracha predominantemente azul e pigmentações utilizadas.	69
FIGURA 51	Borracha nas cores amarela e azul, com pigmentações utilizadas.	69
FIGURA 52	Protótipos coloridos em tanque de cura.	70
FIGURA 53	Realização do teste de compressão dos brises.	71
FIGURA 54	Conferência do nivelamento dos brises.	71
FIGURA 55	Macaco hidráulico utilizado.	72
FIGURA 56	Peças em escala 1/1 posicionadas na prensa.	72
FIGURA 57	Peças em escala reduzida posicionadas na prensa.	73
FIGURA 58	Corte longitudinal em corpos de prova (todas as dosagens).	74
FIGURA 59	Corte transversal em corpos de prova (todas as dosagens).	75
FIGURA 60	Imagens MEV, concreto referência, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.	75
FIGURA 61	Imagens MEV, concreto referência, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.	76
FIGURA 62	Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.	76
FIGURA 63	Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.	76
FIGURA 64	Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.	76
FIGURA 65	Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.	77
FIGURA 66	Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.	77
FIGURA 67	Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.	77
FIGURA 68	Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.	77
FIGURA 69	Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.	78
FIGURA 70	Corpo de prova com 7 dias de cura (referência e com 5% de borracha) após ruptura em ensaio de resistência à compressão simples.	90
FIGURA 71	Corpo de prova com 7 dias de cura (20% de borracha) após ruptura em ensaio de resistência à compressão simples.	90
FIGURA 72	Corpo de prova com 7 dias de cura, após ruptura em ensaio de resistência à tração por compressão diametral – a) e b) TR; c) TB5%).	94

FIGURA 73	Corpo de prova com 7 dias de cura (20% e 30%) após ruptura em ensaio de resistência à tração por compressão diametral – sem percepção de fissuras.	94
FIGURA 74	Brises pigmentados – parte superior polida, parte inferior bruta.	99
FIGURA 75	Fissuras no brise com concreto referência.	102
FIGURA 76	Fissuras do brise com concreto referência em escala real, no ensaio de tração na flexão. a) Primeiras fissuras; b) e c) fissuras ao término do rompimento.	104
FIGURA 77	Fissuras do brise com concreto TB10% em escala real, no ensaio de tração na flexão. a) Primeiras fissuras; b) e c) fissuras ao término do rompimento.	104
FIGURA 78	Fissuras do brise em escala reduzida no ensaio de tração na flexão. a) Concreto referência; b) concreto TB10%.	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Prática de traços de concreto para uso em obras.	57
TABELA 2	Teor de água utilizado.	58
TABELA 3	Quantitativo de material para cada corpo de prova.	58
TABELA 4	Quantitativo de material para cada protótipo do brise em escala 1/1.	66
TABELA 5	Quantitativo de material para cada protótipo do brise em escala reduzida.	70
TABELA 6	Comparativo da redução da massa específica com relação ao concreto referência.	80
TABELA 7	Média da massa específica e desvio padrão.	80
TABELA 8	Comparativo da absorção de água com relação ao concreto referência.	82
TABELA 9	Média de absorção de água e desvio padrão.	82
TABELA 10	Comparativo resistência à compressão com relação ao concreto referência.	84
TABELA 11	Média de resistência à compressão e desvio padrão.	85
TABELA 12	Resistência à compressão (em MPa) em concretos com 28 dias de cura nas pesquisas citadas.	87
TABELA 13	Resistência à compressão (em MPa) na pesquisa de Sousa et al. (2016), aos 28 dias de cura.	88
TABELA 14	Comparativos da resistência à compressão de pesquisas estudadas.	88
TABELA 15	Comparativo da resistência à tração com relação ao concreto referência.	91
TABELA 16	Média de resistência à tração e desvio padrão.	92
TABELA 17	Resistência à tração por compressão diametral (em MPa) nas três pesquisas citadas, aos 28 dias de cura.	93
TABELA 18	Resistência à tração por compressão diametral (em MPa) em duas pesquisas aos 28 dias de cura.	93
TABELA 19	Coefficiente de relação entre resistência à compressão e tração.	95
TABELA 20	Custo para execução de cada brise.	96
TABELA 21	Módulo de elasticidade utilizando relação com resistência à compressão.	101
TABELA 22	Carga de ruptura no ensaio de resistência à tração na flexão.	102
TABELA 23	Resistência à tração na flexão.	102
TABELA 24	Dados de resistência à tração na flexão em duas pesquisas.	103

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Classes de agressividade ambiental.	56
QUADRO 2	Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	56

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Granulometria da areia utilizada.	55
GRÁFICO 2	Granulometria da borracha utilizada.	55
GRÁFICO 3	Granulometria da brita utilizada.	55
GRÁFICO 4	Média da massa específica nos corpos de prova ensaiados.	79
GRÁFICO 5	Média da massa específica e desvio padrão.	80
GRÁFICO 6	Média da absorção de água por capilaridade nos corpos de prova ensaiados.	81
GRÁFICO 7	Média de absorção de água e desvio padrão.	83
GRÁFICO 8	Média da resistência à compressão de corpos de prova.	84
GRÁFICO 9	Média de resistência à compressão e desvio padrão.	85
GRÁFICO 10	Resistência à compressão em concretos com borracha aos 90 dias de cura.	89
GRÁFICO 11	Média da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova.	91
GRÁFICO 12	Média de resistência à tração e desvio padrão.	92
GRÁFICO 13	Redução da resistência à compressão comparado ao concreto referência.	95
GRÁFICO 14	Redução da resistência à tração comparado ao concreto referência.	95
GRÁFICO 15	Elasticidade até ruptura dos brises referência e TB10%.	100
GRÁFICO 16	Deflexão em mesma tensão (* $p < 0,01$).	101
GRÁFICO 17	Deflexão no momento de fissura (tensão máxima suportada).	101
GRÁFICO 18	Média da resistência à tração na flexão.	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i>
MES	Ministério da Educação e Saúde
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
PVC	Policloreto de Vinila
TB	Traço com Borracha
TR	Traço Referência
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

BRISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DA INDÚSTRIA CALÇADISTA

RESUMO – O descaso com as condições climáticas do ambiente deixou os novos edifícios reféns de soluções artificiais para melhoramento térmico. Além disso, o grande consumo de insumos naturais, bem como geração de resíduo, tem causado desastres ecológicos, alertando para um cenário de necessidade de consciência sustentável. A construção civil, mesmo utilizando prioritariamente matéria-prima, sempre mostrou potencial na aplicação de resíduos, incluindo o de borracha. O concreto, em suas várias utilizações, também é aplicado em brises, que é um elemento de proteção solar inserido externamente em fachadas, para melhoramento térmico e lumínico de ambientes. Esse é um elemento de massa expressiva, que não tem norma regente no Brasil e que é tratado, em projeto, como parte integrante da estrutura, mesmo sem ter essa responsabilidade. Assim, na tentativa de encontrar um material mais sustentável e leve para produção de brises de concreto, este trabalho tem como objetivo desenvolver *brises-soleis* de concreto com utilização de resíduo de borracha da indústria calçadista em substituição de parte do agregado miúdo, através do processo de reciclagem. Inicialmente, foram testadas quatro composições de dosagem, substituindo 5%, 10%, 20% e 30% do agregado miúdo (areia) pela borracha moída. Estes foram comparadas à dosagem convencional, a partir de corpos de prova cilíndricos, denominada de concreto referência. Foram feitos ensaios de massa específica, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e resistência à tração, além da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Em segunda etapa, após escolha da dosagem com melhores características (TB10%), foram desenvolvidos protótipos do brise em escala real, para observar flexão e avaliar deformação e fissuras, além de alguns protótipos em escala reduzida para teste de pigmentação. Já que o elemento em questão não tem necessidade de grande resistência, pelos resultados foi possível mostrar que é possível, com substituição de resíduo, se obter uma peça mais leve, com resistência adequada para suportar seu próprio peso, sem permitir danos na armadura. Foi obtido elemento com características adequadas para o uso indicado e que ainda pode compor as edificações de maneira lúdica. Conclui-se que a contribuição da pesquisa se dá no contexto sustentável, a partir de desenvolvimento de novo produto.

Palavras-chave: agregado miúdo, borracha de calçados, *brises-soleis*, reciclagem.

BRISE WITH RUBBER RESIDUE OF THE FOOTWEAR INDUSTRY

ABSTRACT – The disregard for the climatic conditions of the environment left the new buildings hostage to artificial solutions for thermal improvement. In addition, the large consumption of natural inputs, as well as waste generation, has caused ecological disasters, alerting to a scenario of the need for sustainable awareness. Civil construction, even using primarily raw materials, has always shown potential in the application of waste, including rubber. The concrete, in its various uses, is also applied in brises, which is an element of solar protection inserted externally in facades, for thermal and luminous improvement of environments. This is an element of expressive mass, which has no governing regent in Brazil and which is treated, in design, as an integral part of the structure, even without having this responsibility. Thus, in an attempt to find a more sustainable and light material for the production of concrete brises, this work aims to develop brises-soleis concrete using rubber residue of the footwear industry to replace part of the small aggregate, through the process recycling. Initially, four dosage compositions were tested, replacing 5%, 10%, 20% and 30% of the small's aggregate (sand) with the ground rubber. These were compared to conventional dosing, from cylindrical specimens, referred to as reference concrete. Specific gravity, water absorption by capillarity, compressive strength and tensile strength tests were performed in addition to scanning electron microscopy (SEM) analysis. In the second step, after choosing the best characteristics (TB10%), brise prototypes were developed in real scale, to observe bending and evaluate deformation and cracking, as well as some small scale prototypes for pigmentation test. Since the element in question does not need high resistance, the results it was possible to show that it is possible, with residue replacement, to obtain a lighter part, with adequate strength to support its own weight, without allowing damage to the reinforcement. It was obtained element with characteristics suitable for the indicated use and that can still compose the buildings in a playful way. It is concluded that the contribution of the research is given in the sustainable context, from the development of a new product.

Keywords: small aggregate, shoe rubber, brises, recycling

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A tendência natural das pessoas é viver nas cidades, o que tem tornado o processo de urbanização inevitável no mundo. Em geral, o funcionamento das cidades, com suas construções, atividades, serviços e transportes, tem levado, por um lado, a um processo de grande consumo de energia e de matéria-prima (recursos naturais) disponíveis e, por outro lado, a um aumento da emissão dos gases responsáveis pela mudança climática global. Além disso, têm-se o crescimento na geração de resíduos sólidos de forma generalizada.

Uma área que sempre esteve muito vinculada a questões pertinentes a perdas e desperdícios foi o da Construção Civil, campo este que ainda tem grande importância dentro da economia no Brasil. Neste, o setor é responsável por cerca de quase 1/3 do consumo dos recursos naturais extraídos, equivalendo a centenas de toneladas por ano destinadas, por exemplo, à produção de concretos e argamassas.

A extração de matérias primas para diversas aplicações, além de deteriorar a natureza, também gera, em certas áreas, desajustes ecológicos, como se pode notar na maioria das regiões de extração mineral. O crescimento das indústrias e do consumo de seus produtos tem sido também responsável por um considerável aumento na geração de resíduos sólidos. Sabe-se que o destino final destes resíduos, assim como seu tratamento inadequado, traz sérios problemas para o meio ambiente, em função do agravamento deste problema, a legislação ambiental nos últimos anos tem se tornado mais rigorosa, obrigando os geradores de resíduos a trata-los de maneira adequada.

Tratando-se de empresas geradoras de resíduos com o intuito de destinos adequados para eles, há na cidade de Campina Grande-PB a grande produção de calçados de borracha, conhecida mundialmente. O destino dos resíduos da indústria de calçados, geralmente tem sido alimentar os fornos de indústrias de cimento, mesmo tendo esse material bastante potencial de ser reciclado, incluindo aplicação como agregado leve para a produção de compósitos para construção civil. O grande volume de resíduos (cerca de 200 t/mês em apenas uma das indústrias na Paraíba que tem grande produção, cerca de 132 milhões de sandálias/ano) (POLARI FILHO, 2005) gerados no processo industrial do setor calçadista demanda muito espaço para armazenagem, em razão de o material

possuir baixa densidade. Sabe-se que a borracha é um material de difícil decomposição, sendo mais viável para o meio ambiente que seja reabsorvida pela indústria.

Esse contexto tem despertado a atenção para novas políticas de minimização e reciclagem de resíduos. Assim, os resultados das pesquisas com materiais não convencionais são importantes para respaldar as alternativas de destino para estes. A reutilização de materiais vem sendo, há algum tempo, um caminho significativo para diminuir o impacto do setor de construção no meio ambiente. Logo, é cada vez mais visível a utilização de materiais alternativos na construção civil, a exemplo da borracha como material alternativo.

Encontram-se significativas pesquisas neste universo de aplicação para pavimentação, principalmente com a utilização de borracha de pneu. Trata-se, então, de concreto, que é um dos materiais mais utilizados mundialmente, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). A borracha, então, é sugerida em substituição de parte do agregado miúdo do concreto. Tal aplicação, além de diminuir a extração de recursos naturais, também pode diminuir o acúmulo desses resíduos nas áreas urbanas.

Dentre as várias aplicações do concreto, encontra-se o brise. O brise-soleil é uma peça arquitetônica de proteção solar externa à edificação. Além de alto desempenho térmico, estes dispositivos favorecem a adequada distribuição da luz natural dentro do ambiente, controlando a penetração da radiação solar direta e o excesso de luz natural difusa, contribuindo também para o conforto luminoso. Podem ser horizontais ou verticais, fixos ou móveis, composto de vários materiais diferentes, sendo então elemento importante para auxiliar no conforto das edificações, principalmente diante de um universo com grandes alterações climáticas.

Os brises de concreto, no Brasil, tem seu cálculo supondo a peça como parte da estrutura da edificação, uma vez que não existe norma estabelecida especificamente para este fim. No entanto, este não é um elemento estrutural, valendo destacar ainda a sobrecarga desnecessária que ele causa à estrutura, diante do seu grande peso.

Assim, a composição de brises de concreto com a utilização de resíduos gerados da reciclagem da borracha da indústria calçadista, em substituição de parte do agregado miúdo, é entendida como uma solução inovadora e viável, até quando se pretende diminuir o peso deste.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

- Desenvolver *brises-soleis* de concreto com resíduo de borracha da indústria calçadista em substituição de parte do agregado miúdo, através do processo de reciclagem.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar melhor teor de água para os diferentes traços propostos para utilização do resíduo, buscando a trabalhabilidade adequada e melhor resistência do concreto;
- Verificar distribuição do resíduo de borracha no concreto, avaliando ainda a interação entre os elementos de sua composição;
- Encontrar a massa específica do concreto testado, uma vez que com a massa total, tem-se o peso da peça, o qual tem grande importância no cálculo e manutenção do elemento, bem como no cálculo da estrutura da edificação onde o brise será inserido;
- Identificar a porosidade do novo concreto, através de teste de absorção de água, visando manter a durabilidade da armação em aço utilizada dentro dos elementos;
- Comparar as propriedades mecânicas do concreto convencional com o concreto alternativo, por meio de ensaios laboratoriais de resistência à compressão e à tração, para escolha do percentual de substituição do agregado miúdo (composição) mais indicado para produção dos protótipos;
- Testar comportamento do brise em escala real (1/1) quanto à flexão, deformação e fissuração, bem como, em modelos reduzidos, sua pigmentação, para desenvolvimento da peça colorida.

1.3 HIPÓTESES

Baseando-se nos estudos de utilização de borracha em concreto, foram desenvolvidas as seguintes hipóteses:

1. O resíduo de borracha pode ter aplicação na produção do brise de concreto, elemento este que pode ficar mais leve, possibilitando até diminuir os esforços da estrutura de edificações, que permita suportar o próprio peso;
2. O concreto alternativo com borracha pode ficar poroso o suficiente para permitir que a água que penetre nele prejudicando a armadura interna da peça em aço.

CAPÍTULO 2

SUSTENTABILIDADE

Neste capítulo, tem-se os estudos que fundamentaram a pesquisa a ser desenvolvida, tratando de sustentabilidade, borracha como resíduo na construção civil.

2.1 SUSTENTABILIDADE NO CENÁRIO ATUAL

Os conceitos de Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade envolvem o crescimento econômico contínuo através do tempo, um crescimento benigno ao ambiente e que contemple, ao mesmo tempo, dimensões culturais e sociais (LIMA, 2012).

De acordo com Medeiros (2006), o desenvolvimento sustentável é definido como o crescimento tecnológico e social que garante a manutenção adequada das condições ambientais tanto no presente, quanto no futuro. Este conceito visa promover o equilíbrio entre a integridade dos sistemas naturais e o suprimento das necessidades humanas, permitindo a continuidade desta inter-relação.

A industrialização, a implantação de grandes projetos de infra-estrutura e a exploração de recursos minerais e agropecuários para fins de exportação fazem parte das estratégias que têm produzido impactos negativos no ambiente. Isso tudo, aliado ao acelerado processo de urbanização que ocorreu nas grandes cidades, causou uma série de degradações ao ambiente urbano (GRANZOTTO, 2010).

O crescimento das indústrias e do consumo de seus produtos tem sido também responsável por um considerável aumento na geração de resíduos sólidos urbanos. Sabe-se que o destino final destes resíduos, assim como seu tratamento inadequado, traz sérios problemas para o meio ambiente. Nos últimos anos, devido ao agravamento deste problema, a legislação ambiental tem se tornado mais rigorosa, obrigando os geradores de resíduos a tratar de maneira adequada seus resíduos. Entretanto, muitas empresas ainda depositam seus resíduos em aterros clandestinos.

Na visão de Leite e Medina (2001), para se buscar uma saída para a crise ambiental, é preciso começar um processo de reconstrução do pensamento, que nos leve

a uma mudança de paradigmas, nomeadamente do econômico para o ambiental, que é mais humanizador. Nesse processo, temos que abandonar nossa conceituação histórica de separação entre o homem e o meio ambiente e buscar entender as relações sociedade-natureza que nele se processam.

Esse contexto tem despertado algumas indústrias para novas políticas de minimização e reciclagem de resíduos, como forma de diminuir os custos advindos para se cumprir às exigências da lei. Neste processo, os resultados das pesquisas com materiais reciclados, que avaliam o aproveitamento de resíduos, são importantes para respaldar as alternativas de destino para esses resíduos.

Com o passar dos anos a responsabilidade ambiental das empresas passou a ser um ponto chave em suas estratégias de conquistar e manter mercados, cada vez mais procurando aliar a reutilização de resíduos industriais às práticas do processo produtivo, visando produtos mais sustentáveis com menor impacto ao meio ambiente (FERRARI, et al. S/D).

Já Temer (2010) diz que à medida que o sistema produtivo nacional se diversifica, cresce o compromisso das empresas com o impacto ambiental dos resíduos de seus produtos e com sua reutilização e armazenagem. Sabe-se que a reciclagem de resíduos tem sido um método cada vez mais aceito em todo mundo, pois diminui problemas de poluição e ainda preserva os recursos naturais (matérias primas), eliminando ainda custos de armazenamento e tratamento dos resíduos, o que constitui uma contribuição significativa para o desenvolvimento sustentável. Existindo um sistema de coleta seletiva bem estruturada, a reciclagem se torna uma atividade rentável, já que gera emprego e renda.

O surgimento significativo de obras utilizando essas técnicas deu-se posteriormente a 2ª Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias. Visando dar uma solução final aos entulhos e ruínas gerados, e atendendo a demanda por agregados na época, o homem começou a desenvolver técnicas de produção de concreto com agregados reciclados (WEDLER e HUMMERL, 1946 apud LEVY e HELENE, 2002).

As questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo internacional de forma penetrante, trazendo novos paradigmas, com destaque para o contexto europeu no final da década de 1980 e início da década de 1990. A arquitetura

modernista brasileira mostrou características bioclimáticas, especialmente no período de 1930 a 1960, das quais podemos destacar o emprego de cobogós e brises-soleil, muito usados por arquitetos desse período (MELO, 2012).

A Arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações (CORBELLA e YANNAS, 2003 apud GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Na visão de Melo (2012), o tema sustentabilidade vem influenciando diversos tipos de abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e também conta com exemplos e iniciativas das mais diversas condições urbanas e ambientais. Extrapolando as relações com a eficiência energética e as questões de conforto ambiental, fazem parte das variáveis que vêm sendo exploradas através de formulação e propostas de menor impacto ambiental: os recursos para a construção e a operação do edifício, como materiais, energia e água.

2.2 RESÍDUO DE BORRACHA E RECICLAGEM

Diante de um futuro cada vez mais sombrio no campo dos recursos naturais não renováveis e com o aumento em escala quase que exponencial da produção dos mais diversos tipos de resíduos, dentre os quais se destacam aqueles que necessitam de grande tempo para entrar em decomposição, há uma necessidade crescente de reduzir o consumo do primeiro e desenvolver uma solução para o segundo (MOREIRA, FIDELIS, DIAS, 2014). Frente a este cenário, considera-se o desafio de desenvolver concretos que atendam às características mínimas de desempenho para vários usos, com minimização de utilização de agregados naturais.

Diferentes resíduos vêm sendo estudados como agregados para o concreto, tais como: resíduos da construção civil, escória granulada de alto forno, cinza volante, sílica

ativa, poliestireno, garrafa pet triturada, chifre de boi, fibra de vidro e borracha de pneu. Os diferentes resíduos estudados para a incorporação na construção civil passam por diferentes processos de reciclagem devido a suas diferentes propriedades. Estudos já realizados apontam que o concreto com agregados reciclados pode ser aplicado de diferentes formas, desde concretos de baixa resistência a concretos de alta resistência, além de argamassas. O uso da borracha de pneu como agregado no concreto, vem sendo amplamente estudado, apresentando diferentes características (GRANZOTTO, 2010).

A utilização primitiva da borracha se faz anterior ao ano de 1500, onde os índios Latino-Americanos, dentre outras aplicações, já elaboravam de forma rudimentar, bolas destinadas a brincadeiras e seringas para armazenamento de líquidos. Estas seringas mais tarde deram origem ao nome popular de seringueiras às árvores da espécie *Hevea Brasilienses*, as quais quando submetidas a incisões na sua casca segregam o látex, um líquido branco e denso que depois de coagulado resulta na borracha natural (MARTINS 2005).

Ainda segundo Martins (2005), com o descobrimento das Américas os europeus foram tomando conhecimento deste material único para a época, uma vez que apresentavam em conjunto as propriedades de flexibilidade e impermeabilidade, assim, com os relatos de expedicionários e pesquisadores determinados, a borracha foi ganhando diversas aplicações no Velho Mundo.

A destinação inadequada inclui o descarte em córregos e cursos d'água, onde criam barreiras. A simples deposição em terrenos baldios, ou fundos de quintais, onde acabam por acumular água, servindo de repositório para mosquitos e local de esconderijo de roedores. Além disto, podem ser utilizados como combustível, sem que haja controle da emissão de gases, o que os torna perigosos, devido à liberação de substâncias tóxicas durante a queima (FIORITI, INO, AKASAKI, 2010).

A partir da década de 1970, aconteceu o despertar da sociedade para o reaproveitamento dos resíduos sólidos, principalmente os urbanos. Para atender a essa necessidade, foram desenvolvidos programas de conscientização que acabaram por introduzir novos conceitos ambientais, difundindo a importância da reciclagem e reuso de materiais. Cada vez mais a sociedade vem considerando a preservação do meio ambiente uma das questões fundamentais em seus princípios (DOEBBER, 2011).

O desenvolvimento tecnológico traz inúmeros benefícios à sociedade. Contudo, há um preço a ser pago: não é raro descobrirmos que determinados materiais, que nos beneficiam em diversas áreas, são altamente poluentes e o EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*/Etileno Acetato de Vinila) é um deles (ANDRADE e MEDEIROS, 2012). O copolímero EVA é obtido por polimerização, via radicais livres, do Etileno com Acetato de Vinila em reatores de alta pressão. Sua elevada homogeneidade na concentração de acetato de Vinila garante estabilidade no processamento, assegurando qualidade uniforme ao produto final (GARLET, 1998).

A principal aplicação do EVA é na produção de chapas reticuladas e expandidas, para obtenção de solados, entresolas e palmilhas na indústria calçadista, a qual responde por cerca de 69% do mercado de EVA no Brasil (PREZOTTO, 1990 apud GARLET, 1998). O consumo total de EVA cresceu, na década de 80, a uma taxa de 40% ao ano, atingindo em 1989, por volta de 30.000 t/ano. O mesmo autor também previa um forte crescimento do consumo deste produto na década seguinte, principalmente em função do crescente consumo de EVA na área de solados. Outras aplicações, como laminação, revestimento por extrusão e outros materiais expandidos, são apontadas com potencial para crescer e ocupar posições mais significativas no mercado, a exemplo dos mercados europeus e norte americano.

Ainda conforme Garlet (1998) este material é fornecido para a indústria em forma de placas expandidas, nas quais é recortado o formato da sola, através de máquinas especiais. De acordo com as necessidades de cada empresa, estas placas podem ser produzidas em diferentes cores e tamanhos. Na produção das placas de EVA, os resíduos gerados consistem basicamente em sobras recortadas após o processo de expansão das placas e do pó de EVA, obtido no processo de lixamento das placas na fase de acabamento. Estes resíduos representam em torno de 2% a 3% da produção, de acordo com dados fornecidos por algumas empresas do setor, e já são quase que totalmente reaproveitados, como cargas, no processo de fabricação das placas.

Um calçado conhecido mundialmente é a sandália Havaiana, com grande produção em Campina Grande-PB. A história da Alpargatas no Brasil começou em abril de 1907, com a chegada do escocês Robert Fraser, vindo da Argentina, que associou-se a um grupo inglês e começou a construir a Fábrica Brasileira de Alpargatas e Calçados no bairro da Mooca, em São Paulo. Logo no ano seguinte a fábrica começou a produzir

Alpargatas Roda, Lonas e Encerados. O sucesso desses produtos foi imediato e em 1909, a empresa mudou o nome para São Paulo Alpargatas Company S.A. (BARBOSA, 2010). Há 33 anos em Campina Grande, conta com cerca de 7.000 funcionários que produzem 650 mil pares/dia das “famosas” Sandálias Havaianas – produto exclusivo da Unidade desta cidade, até a montagem de fábrica de Montes Claros, 5 anos atrás.

Grande parte dos resíduos dessa produção volta para o processo inicial e é reaproveitada de modo direto. A parte inviável para este uso, quando geradas o que a empresa chama de “bolhas” na borracha, é encaminhada para outras indústrias que reciclam o resíduo, sendo esta absorvida quase que em sua totalidade pela cimenteira, que transforma a borracha em combustível para seu maquinário. Há ainda uma pequena porção que é destinada para pesquisas e reuso diverso, estando neste universo o material a ser utilizado nesta pesquisa.

No mercado brasileiro vêm surgindo diversos materiais que visam suprir ou melhorar o desempenho das práticas construtivas existentes. Os novos produtos originários de pesquisas vêm substituindo ou adicionando novos materiais para aplicação em construções, porém, esse uso exige a compreensão e o estudo do comportamento desses materiais (MENDES, 2016).

Cabe aqui fazer uma referência à terminologia empregada nesta área. Há quem faça certa confusão entre os termos reduzir, reutilizar e reciclar. Maia (1995) apud Garlet (1998) sugere a seguinte distinção para estes termos: Reduzir - significa evitar, de todas as maneiras possíveis e imagináveis, a formação de determinado resíduo durante o desenvolvimento de certa atividade; Reutilizar - Se depois da tentativa de redução de resíduos, ainda existir material sólido, deve-se reutilizar o mesmo, ou seja, dar um uso diferente ao mesmo; Reciclar - Processo pelo qual é possível conferir determinadas propriedades a um subproduto ou resíduo que permita a sua incorporação no processo de fabricação de novos materiais.

A utilização de resíduos descartados está sendo cada vez mais explorada pela construção civil, tendo como o objetivo a incorporação de novas propriedades ao concreto, conservando os materiais finitos usados como o agregado miúdo e graúdo, e diminuindo os impactos ambientais em nossa sociedade (CANHADA et al, 2017).

Dentre os vários usos de materiais alternativos visando utilizar o concreto com adições de borracha para aplicação em elementos pré-moldados, normalmente empregados como pavimentação, barreiras acústicas e separadores de tráfego, tornam-se necessários estudos mais detalhados de dosagem para a obtenção de um concreto adequado. Segundo Santos et al. (2004), isto se dá devido ao fato de que nestes elementos construtivos a baixa resistência ao impacto e o alto módulo de elasticidade conduzem a um curto tempo de vida útil.

O resíduo de pneu tem se mostrado viável na aplicação de concretos com baixas resistências, normalmente aplicados em elementos de pavimentação. Isto se dá pela redução da resistência a compressão observada em várias pesquisas (GRANZOTTO, 2010). No entanto, o resíduo da sandália havaiana ainda é pouco utilizado na construção civil, se comparado ao da borracha de pneu.

A reciclagem de borracha envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes, transformando resíduos em matérias primas que serão direcionadas ao mercado, contribuindo para a preservação dos recursos naturais (GRANZOTTO, 2010). As várias granulometrias de borracha utilizadas nas diferentes pesquisas são obtidas através dos processos de trituração, moagem e peneiramento.

Assim, pode ser observado através da literatura, que a granulometria, assim como a relação água/cimento e quantidade de borracha adicionada, interferem no material obtido e, conseqüentemente, na sua trabalhabilidade. Na pesquisa de Kamimura (2002) é mencionado que quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e, esse custo pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais.

CAPÍTULO 3

CONCRETO

Há muito tempo estuda-se o concreto. Estudiosos já diziam que no momento em que o concreto é misturado, deve permitir condições que facilitem a trabalhabilidade para sua aplicação. Segundo Ribeiro (2010), o concreto está entre os materiais mais utilizados em obras no mundo, contribuindo para desenvolvimento e avanço da qualidade de vida do homem, por ser muito aplicado em construções de infraestrutura, a fim de proporcionar conforto e segurança.

O concreto de cimento Portland é o material mais utilizado em construções, e isso decorre de suas inúmeras vantagens, como sua aplicação em estruturas com infinitas variações de forma. É capaz de apresentar grande variação de suas propriedades em função do tipo e das proporções de seus componentes (MENDES, 2016). A dosagem não é nada mais que as indicações das proporções e quantificação dos materiais componentes da mistura, a fim de obter um concreto com determinadas características previamente estabelecidas (GRANZOTTO, 2010).

Assim, o concreto de cimento Portland exige elaboração do 'traço', geralmente expresso em massa seca de materiais. Tais materiais aplicados nas dosagens são: os variados cimentos, os agregados graúdos e miúdos (industrializados, artificiais, naturais ou reciclados), os aditivos e adições, podendo-se acrescentar os pigmentos e as fibras. Esta junção pode desenvolver, por exemplo, o bloco de concreto.

Bloco de concreto pode ser definido como a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, basicamente composta de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo e água, conformada através de vibro-compressão. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes. Já a segunda influencia no adensamento e controle da altura dos blocos.

O concreto tem características próprias, entretanto pode ser classificado dentro de dois grupos, de acordo com seu comportamento, que permite definir propriedades como resistência à compressão, entre outras: os plásticos e os secos. Para a fabricação de blocos de concreto, utiliza-se o concreto seco.

3.1 CIMENTO PORTLAND

Por norma, cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais, nos teores especificados (NBR 11578, 1991). *CAEMENTU*, do latim, foi quem deu origem a palavra CIMENTO, que era uma espécie de rocha natural de rochedos e não esquadrejada na velha Roma, a cerca de 4.500 anos. Utilizava-se antes no Egito antigo uma liga composta por uma mistura de gesso calcinado. Nas principais obras romanas e gregas, como o Panteão e o Coliseu, foram utilizados para construção solo de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou próximo de Pozzoulli cidade italiana, que possuía propriedades que endurecia em contato com água (BATTAGIN, 2009).

Ribeiro, Pinto e Starling (2006) mostram que existem diversos tipos de cimento Portland, divididos conforme suas propriedades, como adições e a composição química do clínquer. Dentre eles, os principais normalizados pela ABNT são:

- Cimento Portland Comum – CP I;
- Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filer);
- Cimento Portland de Alto-forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico – C3S, que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

3.2 AGREGADOS

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não deve conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura

contra corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Conforme Romano (2004), os agregados exercem grande influência tanto no ponto de vista técnico, como no ponto de vista econômico, pois colaboram com o aumento da resistência ao desgaste e a retração, sem alterar as propriedades de esforços mecânicos, pois existem agregados que apresentam resistência mecânica acima das propriedades da pasta aglomerante.

3.2.1 Agregados miúdos

São agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

De acordo com Petrucci (1975), compreende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou pedriscos obtidos através da moagem de rochas, com dimensões que fiquem retidas no máximo 15% do material na peneira de 4,8mm.

3.2.2 Agregados graúdos

Conforme a NBR 9935 (2011), agregado graúdo refere-se aos grãos que passam pela peneira com abertura de malha 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Segundo Petrucci (1975), pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, oriunda da moagem de pedras estáveis, é conhecido como agregado graúdo, tendo no limite de 15% passando na peneira 4,8mm.

3.2.3 Teor ótimo de água

De acordo com Granzotto (2010), outro ponto de destaque no preparo do concreto é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso

evaporar. A relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem é chamada de fator água/cimento (a/c).

Sabe-se que a quantidade de água na dosagem de concreto, além de ser determinante na resistência à compressão, interfere na trabalhabilidade da mistura, que por sua vez deve ser adequada ao processo de produção adotado. Essa quantidade de água é conhecida como teor de umidade do concreto fresco ou teor de água/materiais secos do concreto, aqui simplificada como teor ótimo de água.

O desejável, tendo em vista a qualidade do pré-moldado, é que a dosagem com teor de água da mistura bem definido permita compatibilizar a maior compacidade dos materiais recém misturados com a capacidade de vibração e prensagem do equipamento, utilizado no processo de moldagem.

Geralmente, esse teor ótimo de água corresponde à máxima resistência mecânica que a peça de concreto pode alcançar. Portanto, para cada tipo de equipamento existe um teor ótimo de água diferenciado, sendo esse valor determinado especificamente para cada caso particular e experimentalmente.

De acordo com Petrucci (1975), a água usada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento.

Determina-se, ainda, segundo Branco e Pieretti (2012), que a água influencia na porosidade da pasta de cimento durante a reação, água e aglomerante. Nota-se que o índice de vazios e o grau de adensamento serão influenciados pela relação água/cimento.

A quantidade de água na mistura com o cimento é considerada baixa, sendo esta utilizada para melhorar a trabalhabilidade, respeitando os limites estabelecidos na dosagem, uma vez que a água pode ser um fator prejudicial da resistência do cimento.

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Para Pinheiro et al. (2004), as principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas.

Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações. De acordo com Helene e Terzian (2001), a resistência à compressão é a propriedade do concreto geralmente adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. E esta é a propriedade do concreto que melhor o qualifica.

De acordo com Santos (2005) a resistência à compressão é considerada índice de qualidade, pois está relacionada com outras propriedades: módulo de elasticidade, durabilidade, absorção de água etc.

3.3.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão simples, denominada f_c , é considerada a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 (2015), os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 (2018).

3.3.2 Resistência à tração

Pinheiro et al. (2004) apontam que os conceitos relativos à resistência do concreto à tração direta, f_{ct} , são análogos aos expostos no item sobre resistência à compressão. No estudo da tração encontra-se três tipos de ensaio normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão. O ensaio de compressão diametral fornece resultados mais uniformes do que os da tração direta.

a) Ensaio de tração direta

Neste ensaio, considerado o de referência, a resistência à tração direta, f_{ct} , é determinada aplicando-se tração axial, até a ruptura, em corpos de prova de concreto simples. A seção central é retangular, medindo 9cm por 15cm e as extremidades são quadradas, com 15cm de lado.

b) Ensaio de tração na compressão diametral (*splitting test*)

Para esta propriedade, é o ensaio mais utilizado. Também é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro. Para a sua realização, um corpo de prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento).

c) Ensaio de tração na flexão

Para a realização deste ensaio, um corpo de prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura, podendo ser com 3 ou 4 pontos.

d) Relações entre os resultados dos ensaios

Como os resultados obtidos nos dois últimos ensaios são diferentes dos relativos ao ensaio de referência, de tração direta, há coeficientes de conversão. Na falta de ensaios, as resistências à tração direta podem ser obtidas a partir da resistência à compressão.

Para relação entre os dados de tração, usam-se os coeficientes de conversão 0,9 e 0,7 aplicados aos resultados de compressão diametral e de flexão, respectivamente, para encontrar tração direta. Logo, o valor da resistência à tração por compressão diametral é um pouco maior que o obtido no ensaio de tração direta. Já os valores encontrados para a resistência à tração na flexão são maiores que os encontrados nos ensaios citados anteriormente.

3.3.3 Módulo de Elasticidade

Ainda conforme Pinheiro et al. (2004), outro aspecto fundamental no projeto de estruturas de concreto consiste na relação entre as tensões e as deformações. Sabe-se da Resistência dos Materiais que a relação entre tensão e deformação, para determinados intervalos, pode ser considerada linear.

3.4 CONCRETO COLORIDO

Quando trata-se da coloração do concreto, geralmente associa-se ao cinza. O traço tradicional deste material, que utiliza cimento, brita, areia e água pode apresentar variações por conta dos seus elementos compositivos, mas sempre varia entre o cinza claro e o escuro. No entanto, um recurso que vem sendo cada vez mais utilizado é o de agregar pigmentos a essa mistura, para se alcançar cores variadas na aparência final da obra, já que tornam todo o concreto, por dentro e por fora, colorido (SOUZA, 2019).

Cada vez mais usado por construtores e arquitetos, o concreto colorido pode ter diversas aplicações, desde pré-moldados, passando pelo piso intertravado, blocos e telhas de cimento, até as grandes estruturas em paredes de concreto personalizadas ou industrializadas. Ele está presente em paredes, fachadas de edifícios (Figura 1), pontes, pisos, ciclovias, calçadas e marcações de áreas específicas, podendo ainda reduzir o tempo de obra (CIMENTO MAUÁ, 2017).

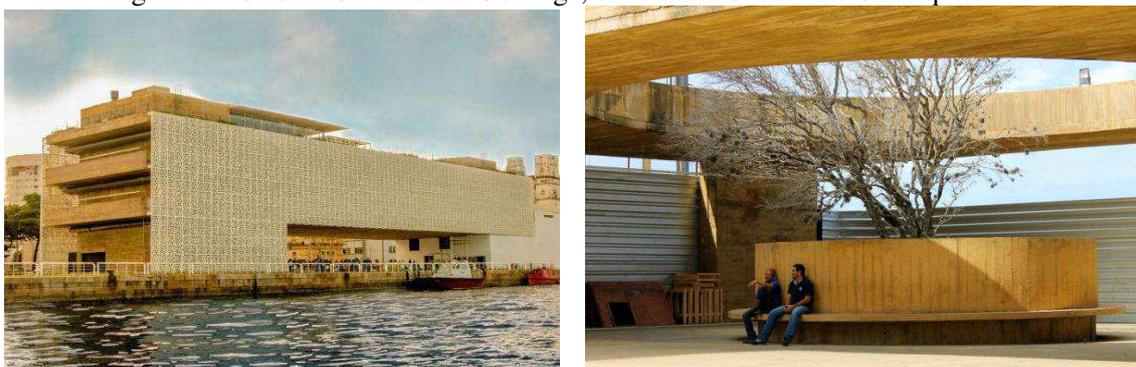
Figura 1 – Exemplos de aplicação de concreto colorido. a) Centro Cultural Comunitário Teotitlán del Vale – LGM Studio b) Casa Boaçava – Una Arquitetos.



FONTE: Archdaily.

O museu Cais do Sertão Luiz Gonzaga (Figura 2) é construído em concreto colorido amarelo e faz parte do projeto Porto Novo, desenvolvido pela secretaria de Desenvolvimento Econômico do estado de Pernambuco. Com a construção do museu, o porto ganha uma obra sofisticada e que intensifica a cultura local, já que apresenta aspectos regionais em sua concepção. Outro exemplo é complexo cultural Praça das Artes (Figura 3), em São Paulo, que é integralmente construído em concreto colorido vermelho e marrom, outro exemplo bem-sucedido da solução aplicada na prática. Além da baixa manutenção, garante estética e personalidade à obra (AECWEB, 2018).

Figura 2 – Cais do Sertão Luiz Gonzaga, em Pernambuco – Brasil Arquitetura.



FONTE: Blog Janelas Abertas e UOL.

Figura 3 – Praça das Artes, em São Paulo.



FONTE: Aecweb.

De acordo com Souza (2019), pigmentar o concreto pode ir além da função estética. Pode funcionar para evidenciar um volume, mesclar a edificação ao entorno, ou mesmo referenciar-se a uma intenção projetual. O concreto pigmentado possibilita a utilização do material em várias cores e tons, sem perder suas propriedades essenciais, como a robustez e personalidade características do concreto tradicional. A pigmentação permite ainda a substituição do uso de revestimentos, como tintas ou pastilhas. Além de seu caráter estético, o concreto colorido apresenta outras propriedades, como a baixa necessidade de manutenção, mantendo a cor resistente às intempéries. Segundo Milanez (2003) a grande diferença entre um pigmento (Figura 4) e um corante está na solubilidade, ou seja, um pigmento é insolúvel enquanto que um corante é solúvel ao meio aplicado, seja ele água ou qualquer outro solvente. Ou seja, de uma forma resumida, um pigmento é um produto que não é solúvel ao meio em que é aplicado, desta forma pode ser utilizado em concretos e argamassas, sem serem lavados pela água das chuvas.

Figura 4 – Pigmentos em várias cores.



FONTE: Aecweb.

A diversidade de cores possíveis também é uma vantagem, existindo uma gama muito grande de possibilidades, como vermelho, amarelo, preto, verde, azul, entre outros. A partir dessas primárias, é possível desenvolver uma série de outras tonalidades. Para Souza (2019), essas tonalidades decorrem da adição de óxidos: as cores amarelo, vermelho e suas derivações (marrons) são obtidas com a adição do óxido de ferro, enquanto que o óxido de cromo e de cobalto criam o efeito de cor verde e azul, respectivamente. Para o concreto preto, geralmente inclui-se óxido de ferro preto e óxido de carbono, combinados com cimento pozolânico.

Sabe-se que os óxidos de ferro e os óxidos de cromo são os pigmentos mais utilizados. No entanto, é importante que os pigmentos sejam inorgânicos, necessitando atender quatro parâmetros: ser inerte para não interferir nas propriedades do concreto, em especial em sua resistência; ser insolúvel, ou seja, quando integrado à matriz do concreto não pode ser extraído (lixiviado) do produto final; deve ter alto poder de tingimento, permitindo que se alcance cores intensas mesmo quando adicionadas pequenas quantidades de pigmentos; e, por último, deve ter alta resistência a intempéries e a ação da luz do sol, para que a cor não desbote com o passar dos anos (AECWEB, 2018).

A utilização de pigmentos orgânicos também se faz erroneamente devido ao alto poder de tingimento que estes pigmentos possuem. Porém, por se tratarem de ligações orgânicas, cadeias grandes e de cristais extremamente finos, podem acontecer os seguintes fenômenos: migração intensa do pigmento orgânico durante cura/adensamento/prensagem; quebra das ligações orgânicas, gerando subprodutos que podem deste alterar a cor do concreto (por exemplo, do azul para o vermelho) até a descoloração total da peça; tornarem-se sais solúveis provocando manchas nas peças de sistemas base cimento; ter o tempo de pega/cura de uma argamassa ou concreto retardado devido a produtos químicos comumente associados à produção destes pigmentos (KUPINSKI, 2009).

Existem fatores importantes que influenciam na cor final de um produto de concreto pigmentado, como mostrado pela Kupinski (2009):

- **Procedência e cor do cimento:** O cimento tem fator determinante, se for brancas as cores serão mais puras, o cinza deixa as tonalidades mais escuras e diferentes tipos de cimento apresentam diferentes tonalidades,

logo, em uma obra é recomendável à utilização de apenas uma marca e tipo de cimento;

- **Acabamento Superficial:** A superfície lisa reflete melhor os raios de luz, dando a aparência mais viva nas cores do que uma superfície áspero-rugosa, que possui o efeito contrário, de escurecer a tonalidade da cor;
- **Eflorescência:** No concreto cinza não é quase notada devido à aproximação de cores entre os sais carbonados na superfície do concreto e a própria cor (cinza), porém, numa superfície colorida, este fenômeno é mais notado, logo, um controle mais rígido deve acontecer para evitar este fenômeno;
- **Relação com a quantidade de poros:** Diretamente relacionada ao fenômeno de eflorescência e ao acabamento superficial;
- **Relação água/cimento:** É comprovado que um excesso de água, além de provocar eflorescência, ainda deixa o concreto colorido mais claro do que com relação água/cimento quantidade baixa, logo, na dosagem deve ser mantido a mesma relação água/cimento para garantir uniformidade de cores;
- **Agregados:** Os agregados são recobertos por camada de cimento pigmentado (exceto quando expostos intencionalmente), logo, influenciarão pouco na cor final, porém, cuidados quanto à seleção de baixos teores de materiais pulverulentos, controle de granulometria e homogeneidade dos agregados se faz sempre necessário;
- **Quantidade de pigmento:** Relacionada com a intensidade de cor do produto final.

3.5 PESQUISAS ENVOLVENDO CONCRETO COM BORRACHA

Durante a fabricação do calçado, geram-se resíduos na forma de retalhos das placas expandidas, usadas para a obtenção dos formatos pretendidos, e resíduos em forma de pó, oriundos do lixamento do calçado na fase de acabamento. Garlet (1998) mostra que o setor calçadista é um dos maiores segmentos industriais do Brasil, entretanto é reconhecido como grande gerador de resíduos. O estado da Paraíba possui várias empresas produtoras de calçados, onde são utilizadas solas e palmilhas obtidas a partir de

mantas de EVA. Sabe-se que a produção média de resíduos EVA (aparas das mantas supracitadas) na Paraíba é muito grande, e o fato de ser um material leve (180 kg/m^3) e não biodegradável torna difícil encontrar forma adequada de armazenar o resíduo (PIMENTEL et al, 2004).

Bezerra (2002) já indicou que se pode incorporar até 70% do resíduo de EVA como agregado leve, atingindo resistência à compressão de até 2,5 MPa, que é o valor mínimo estabelecido na Norma (NBR 7184, 1992, norma substituída por NBR 12118, 2006) para blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. A questão é que, para isso, tem-se utilizado alto consumo de cimento Portland, aumentando o custo unitário dos produtos propostos. Melhores resultados associados a menores consumos de cimento Portland são possíveis na fabricação dos blocos de EVA, porém com menores resistências.

Conforme Melo e Lima Filho (2009), o custo adicional quando se opta por tratamentos térmicos dados ao agregado EVA, presente em pesquisas, significa um aumento no custo do beneficiamento do agregado, mas se deve considerar a vantagem associada à alteração nas características das partículas do EVA (redução de tamanho e aumento de densidade) e o ganho de resistência à compressão dos blocos EVA. Destaca-se ainda a economia de energia no processo de obtenção do agregado, pela redução do tempo de trituração do resíduo. Logo, é importante mencionar que a trituração da borracha calçadista ainda é uma dificuldade encontrada pelas pesquisas.

Várias são as pesquisas envolvendo o concreto com resíduo. Esses resíduos variam de fibras, cerâmicas, pó de serra, borracha, até entulhos da própria construção civil. Como este trabalho utiliza o EVA da indústria calçadista, foram estudados alguns trabalhos que aplicam este material, como referência para esta pesquisa. No entanto, destaca-se que estes trabalhos utilizam condições ou ensaios diferentes do proposto por esta pesquisa, a exemplo do corpo de prova testado ou o agregado substituído (maioria faz substituição em volume e não em massa, como esta pesquisa propõe). Seguem:

- Rocha et al. (2013) apresentam o artigo **Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social**, que aborda o resultado de uma ampla pesquisa que tem como pressuposto o incentivo à experimentação de

novos materiais com baixo impacto ambiental nos projetos arquitetônicos. O objetivo foi oferecer uma alternativa à problemática do destino de resíduos de EVA da indústria de calçados gerados na Paraíba, investigando o potencial de aproveitamento desses resíduos como agregados leves, na fabricação de blocos cimentícios vazados sem função estrutural (bloco EVA);

- Polari Filho et al. (2006), apresentam o trabalho **Avaliação De Desempenho Mecânico De Blocos E.V.A.: Uma Alternativa Às Alvenarias Das Construções**, que trata do fato da construção civil apresentar um elevado potencial absorvedor de resíduos, buscando mostrar a viabilidade da reciclagem do resíduo proveniente da fabricação de sandálias (EVA - Etileno Acetato de Vinila) na produção de blocos vazados leves de vedação (bloco EVA) para aplicação na construção civil;
- Viana e Melo (2008), publicaram o artigo **Reciclagem de resíduos da indústria de calçados em materiais alternativos na construção civil: desenvolvimento de blocos EVA para piso inter-travados**, onde abordam reciclagem de resíduos de EVA para pavimentação, chegando a sugerir o novo produto para passeios de pedestres e bicicletas.
- Andrade e Medeiros (2012) publicaram o artigo **Reaproveitamento de Rejeitos de E.V.A. para a Produção de Placas Utilizáveis na Construção Civil**, onde apresentam estudo sobre a viabilidade de utilizar o E.V.A., poliacetato de vinila, resíduo gerado pela indústria calçadista, como agregado em micro concreto leve e testam ainda sua capacidade como isolante acústico.

Foi percebido que a borracha de pneu é mais utilizada na produção de concreto alternativo, o que despertou o interesse por buscar também trabalhos com resíduo desse tipo de borracha, para completar a discussão. Assim, seguem listados em ordem cronológica alguns trabalhos que estudaram esse tipo de aplicação e foram referências nas análises desta pesquisa. Nestes trabalhos, foi possível uma aproximação maior com o universo desta pesquisa, já que foram encontrados ensaios realizados em corpos de prova semelhantes, bem como a utilização de substituições mais parecidas com as testadas por este trabalho.

- Albuquerque et al. (2005) apresentaram em congresso o trabalho: **Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo**. Neste trabalho utilizaram-se aditivos poliméricos de base acrílica, vinílica e estireno-butadieno com o objetivo de criar pontes de ligação entre a borracha e a matriz de cimento. Foram testadas amostras de concreto convencional (CCV) e compactado com rolo (CCR) com adição de borracha de pneu de três diferentes granulometrias, em teores de 5% a 25%, submetidas ou não ao tratamento superficial com os aditivos, totalizando 62 diferentes condições estudadas. O MEV foi a principal referência deste trabalho;
- Granzotto (2010) apresentou a dissertação: **Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável**. A autora utilizou o traço 1:2:3, substituindo 10% do agregado miúdo por borracha de pneu, com duas relações água/cimento distintas, fazendo testes de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral;
- Brandão (2013) apresentou a dissertação: **Análise de características concreto com adição de raspas de pneu e pó de mármore**. O autor trabalha com adição de 10% de borracha, para encontrar concreto com menor massa específica e melhor trabalhabilidade quanto à impacto e tração. Como ele utiliza dosagens com outro resíduo além da borracha, este trabalho foi referência apenas para o MEV;
- Selung et al. (2013) publicou o trabalho: **Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneus**. Eles substituíram 15%, 25% e 35% do agregado graúdo (brita) pela borracha, utilizando o traço 1:7,2:4,8, na produção de blocos de concreto. Apresentaram ensaio de resistência à compressão;
- Moreira, Fidelis e Dias (2014), publicaram o trabalho: **Concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovias**. Utilizando o traço 1:1,4:2, substituíram 12,5%, 25%, 50% do agregado miúdo por borracha de pneu em lascas, para aplicação em pisos de ciclovias. Para teste, utilizaram-se do teste de resistência à compressão;

- Santos (2015) apresentou seu Trabalho de Conclusão de Curso com o título: **Concreto não estrutural com substituição de agregado miúdo por raspas de resíduo de pneu**. A partir do traço 1:2,5:2,6, o autor substituiu a areia por 15% e 30% do resíduo de borracha de pneu, realizando o teste de resistência à compressão;
- Sousa et al. (2016) apresentaram em congresso o trabalho: **Propriedades mecânicas e morfologia da fratura de concreto com resíduo de borracha de pneus do processo de recapagem**. Em dosagem 1:1,71:2,61, substituíram 5% da areia por borracha de pneu. Já para o traço 1:2:3, substituíram 10% do mesmo agregado por resíduo. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão e à tração;
- Silveira et al. (2016) publicaram o trabalho: **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu**. Estudaram vários traços distintos, incluindo o 1:2:3, onde utilizaram sempre a substituição de parte da areia por resíduo de borracha em 10%. A borracha utilizada estava em grão, tendo sido feitos os testes de resistência à compressão e à flexão;
- Altoé (2017) publicou o trabalho: **Avaliação da resistência mecânica de pavers fabricados com resíduos de pneus em substituição parcial do agregado miúdo**. Este pesquisador utilizou borracha em grão, em substituição de parte do agregado miúdo, nos percentuais de 2%, 5%, 7% e 10%, no traço 1:2,6: 1,35. Foi feito teste de resistência à compressão e absorção de água por capilaridade;
- Canhada et al. (2017) publicaram o trabalho: **Caracterização física e morfológica de compósitos de concreto com resíduos de borracha vulcanizada**. Estes substituíram 0%, 5%, 10% e 15% da areia por borracha, realizando os ensaios de resistência à compressão e absorção de água por capilaridade;
- Cardoso e Cabral (2017) publicaram o artigo: **Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de pneus automotivos**, trabalho este que não substituiu o agregado miúdo, mas adicionou a este agregado 5% e 10% de resíduo de borracha de pneu. Por diferir da proposta desta

pesquisa que trabalha com substituição do agregado, a referência foi importante na discussão do MEV;

- Santos (2018) apresentou seu Trabalho de Conclusão de Curso com o título: **Sugestões de aplicação concreto borracha em obras civis**. A pesquisadora testou três traços sem adição de borracha: padrão (1:2:3) e os outros dois que ela chamou de traço pobre e traço rico (1:2,75:3,75 e 1:1,25:2,25 respectivamente). A partir do traço padrão, ela substituiu 5%, 10% e 15% do agregado miúdo por resíduo de borracha e realizou o teste de resistência à compressão;
- São Thiago e Bicalho (2018) publicaram o trabalho: **Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados**. Foram confeccionados corpos de prova com dosagens de borracha em 5%, 10%, 15% e 20% (em volume). Trabalho importante na discussão do MEV, uma vez que a composição para intertravados difere da composição de concreto estudada nesta pesquisa.

Ao selecionar e estudar os trabalhos elencados, identifica-se que a maioria das pesquisas com EVA substituem o agregado em volume. Já quando se utiliza o resíduo de pneu, a predominância é a substituição em massa. Acontece também o destaque para a substituição do agregado miúdo, frente a poucas pesquisas que substituem o agregado graúdo.

A quantidade significativa de referências para teste de resistência à compressão, com poucos trabalhos avaliando tração, com ainda déficit maior em referências para comportamento quanto à flexão. Percebe-se, ainda, que os trabalhos com EVA aplicam os testes já nos protótipos, enquanto que as pesquisas com borracha de pneu utilizam corpos de prova indicados por norma, para as avaliações. O resíduo da fábrica de calçados também não aparece com frequência em análises de interação entre os materiais.

Nota-se que o uso de grandes percentuais de borracha é pouco encontrado, possivelmente pela redução significativa das propriedades do concreto. O quadro resumo das pesquisas citadas (Quadro A) encontra-se nos apêndices.

CAPÍTULO 4

CONTEXTUALIZANDO BRISES

Desde a antiguidade existe uma preocupação muito grande do homem em relação ao conforto do ambiente em que ele vive. Ao longo dos anos, o homem buscou encontrar formas inteligentes de utilizar as características do meio em que ele se encontrava para criar habitações mais confortáveis, seguras e estáveis. As edificações eram construídas aproveitando-se a intensidade dos ventos, a incidência da luz solar, a brisa do mar, a sombra das árvores e dos relevos (DOEBBER, 2011).

Em uma arquitetura, as trocas de energia (luz e calor) entre os meios exterior e interior têm como cerne os envelopes construtivos, que envolve o ser humano. No estudo desses “envelopes” devem-se considerar, simultaneamente, todos os fatores que intervêm no problema. Um deles é a radiação solar, diante da qual os materiais de construção se comportam de modo distinto (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004).

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura. É possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas a localização geográfica onde será inserida à edificação, o conforto térmico e visual dos ocupantes e a economia de energia (VETTORAZZI, 2014).

A iluminação natural é um elemento que poderá ser explorado trazendo benefícios energéticos, e também representando algo imaterial, abstrato, infinito, materializado através das formas, revelando e surpreendendo (TRAPANO e BASTOS, 2007).

Mesmo sendo o brise-soleil uma criação de Corbusier, é no Brasil que os arquitetos viabilizam e exploram à máxima potência as possibilidades deste elemento. Considerando estas colocações, a importância dos condicionantes climáticos na consolidação da identidade e caráter da arquitetura moderna brasileira é evidente, sendo tanto o quebra-sol quanto os planos perfurados atores fundamentais neste processo de construção desta imagem (OLIVEIRA, 2013).

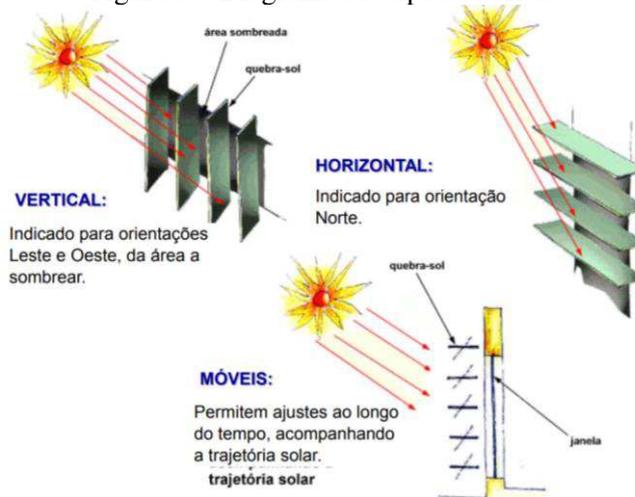
Desde a sua sistematização como elemento de arquitetura presente na produção modernista nas décadas de 1930 e 1940, o brise-soleil passou a fazer parte da paisagem construída brasileira. Muito utilizado por Le Corbusier e presente em edificações emblemáticas como a Unidade de Habitação de Marseille e o prédio do Ministério da Educação e Saúde (MES), ao longo dos séculos XX e XXI, tem sido utilizado nas diferentes correntes de arquitetura nas mais variadas formas (CUNHA, 2011).

O brise-soleil tornou-se um dos elementos marcantes da arquitetura brasileira e passou a ser aplicado em diversos projetos, como se pode observar, entre outros, na Obra de Berço, de Oscar Niemeyer (1937), no conjunto Residencial do Pedregulho, de Affonso Reidy (1950-1965), e nos vários projetos de Lúcio Costa (SILVA, 2007).

Estudos de Silva (2007) apontam ainda que, além de reduzir o consumo energético, a utilização dos brises diminui as cargas térmicas, evita problemas de ofuscamentos e contrastes, fornece níveis de iluminação mais satisfatórios que a iluminação artificial, assim como efeitos estimulantes, devido à variação de cor ao longo do dia. Como consequência, propicia bem estar aos usuários do ambiente, contribuindo em uma melhor produtividade dos mesmos.

Vettorazzi (2014), diz que, considerado um dos principais elementos da arquitetura que regulam a entrada de luz natural e também controlam a radiação solar incidente no interior de uma edificação, os brises (que podem ser verticais ou horizontais, móveis ou fixos – Figura 5) corretamente dimensionados e orientados auxiliam consideravelmente no conforto térmico e também na eficiência energética da edificação.

Figura 5 – Diagrama dos tipos de brises.



FONTE: USP.

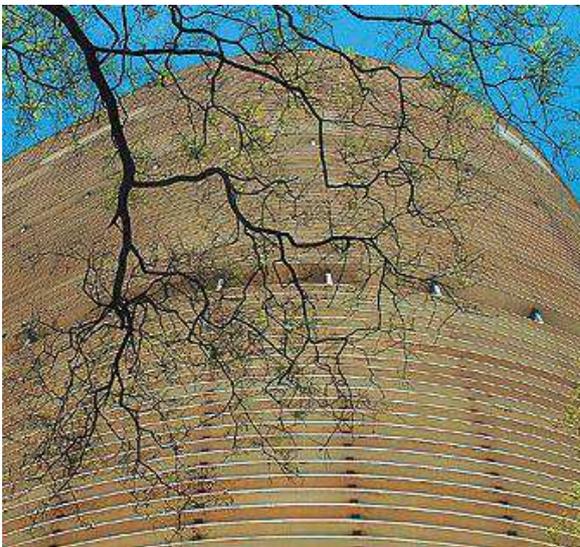
Bittencourt (2000) descreve os brises verticais (Figura 6) como placas fixas ao plano perpendicular da fachada a ser protegida e são mais indicados para fachadas onde a maior parte da incidência solar se afasta da perpendicular à mesma. Já os horizontais (Figura 7) como placas cujos eixos estão paralelos à fachada a ser protegida e ao plano horizontal, protegendo dos ângulos solares mais altos. Os combinados (Figura 8) são a mistura dos elementos dos dois tipos, além dos mais indicados, pois os elementos se completam eficientemente.

Figura 6 – Brises verticais na fachada do Pavilhão Cicillo Matarazzo, também conhecido como Pavilhão da Bienal. Parque Ibirapuera – São Paulo.



FONTE: Archdaily.

Figura 7 – Brises horizontais na fachada do Conjunto Copan, em São Paulo.



FONTE: Revista Casa e Jardim.

Figura 8 – Brises combinados na fachada do MES – Rio de Janeiro.



FONTE: Guilherme Brandão *in* Vitruvius.

Com relação ao seu efeito visual, a utilização dos brises permite a quebra da monotonia e rigidez nas fachadas planas, valorizando a possibilidade de movimento na leitura das fachadas (Figuras 9, 10 e 11). No entanto a forma, o tratamento do material, bem como a cor, podem ser fatores que influenciam no resultado das placas enquanto protetoras solar. Assim, deve ser estudado o melhor projeto para a peça (enquanto material, forma, posicionamento, cor e textura, como já mencionado), para melhorar a eficiência dos mesmos, em seus diversos aspectos.

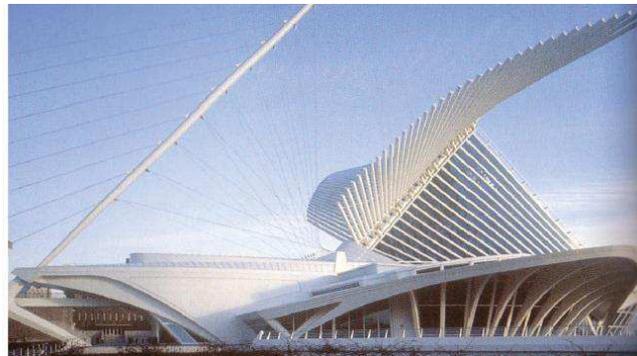
Para Baker (1998), “o brise-soleil atua como um filtro, criando uma película permeável ao redor do edifício que permite a penetração no espaço interno e suaviza o impacto da forma (...)”. E comenta que esse elemento “levou ao abandono do efeito cúbico das primeiras casas (...)” modernistas.

Figura 9 – Fachada do hotel Suites Avenue Aparthotel, em Barcelona, na Espanha.



FONTE: Projeto Melhor.

Figura 10 – *Brise-soleil* dinamizando a composição arquitetônica no Milwaukee Museum, Estados Unidos.



FONTE: Jodídio.

Figura 11 – Composição de brises em edificação escolar na Inglaterra.



FONTE: Foster.

O conceito de textura, assim como de ritmo, está relacionado à ação de repetição. Uma composição ritmada não necessariamente remete ao movimento, já que a sua associação aos princípios de regularidade, como a simetria, podem preservar uma ordem

de extrema rigidez. A arquitetura moderna explorou novas estratégias também no uso do ritmo, valorizando assimetrias e o equilíbrio, ao invés da repetição espelhada (OLIVEIRA, 2013).

A concepção do brise-soleil faz parte do processo de projeto. Extrapola a função e se afirma como um elemento de composição arquitetônica. O resultado plástico formal da aplicação desse elemento funcional nas edificações brasileiras conferiu identidade a arquitetura nacional contemporânea (GUTIERREZ e LABAKI, 2005).

Conforme Cunha (2011), em muitos projetos de arquitetura, a ênfase não está na tecnologia. Nesses projetos, as definições dos materiais de construção vinculam-se ao reforço do caráter da edificação, entendendo o caráter como o lado subjetivo da composição. Uma outra característica a ser destacada desses projetos é a própria definição simplificada no âmbito da composição de alguns elementos de arquitetura, como os próprios sistemas de proteção solar.

Em se tratando de seus materiais, além do concreto armado, existem as placas de concreto celular, chapas de aço, chapas de aço perfuradas, perfis de alumínio, telas, vidros, brises fotovoltaicos, que captam a energia solar, policarbonatos ou outro material transparente, além de sistemas inovadores para bloqueio solar e captação de luz, como os painéis prismáticos (SILVA, 2007).

Segundo Cerpolo (2015), brises ao contrário do que se pensa, precisa sim de manutenção periódica, pois a falta desta pode prejudicar sua funcionalidade, material e estrutura. A atividade pode ser simples dependendo do material o qual ela for feita, mas é necessário que antes da instalação ela seja projetada ao alcance das pessoas que irão executar a manutenção. O autor comenta ainda, a respeito dos vários materiais para fabricação do brise e aponta:

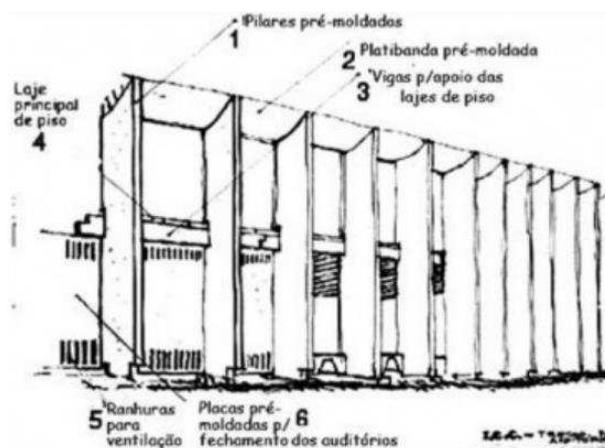
- Madeira: para esta, é necessário constantes pinturas com verniz e limpeza, pois é um material biodegradável, que sofre com as ações da natureza e ataques de insetos e cupins;
- Concreto: este já é um material mais fácil de manter os cuidados, por ser feito em uma massa que atinge rigidez e força por um longo período. Nesse caso, a manutenção é composta apenas pelo uso do concreto para reparar

esfacelamentos ou rachaduras, que raramente aparecerão. Já o retoque de pintura só é necessário se essa for feita na hora da aplicação;

- PVC: um material mais resistente e duradouro, a manutenção das lâminas de PVC só ocorre com a limpeza do mesmo, em água e sabão neutro;
- Metais: contra-indicados para o uso em litorais, o metal é um material mais usado em cidades grandes. Sua manutenção ocorre com a troca das lâminas em caso de corrosão e sua lavagem pode ser feita como a do PVC (Policloreto de Vinila), de forma prática e simples;
- Cerâmica: um dos materiais mais fáceis de fazer a manutenção, por ser uma superfície lisa e simples. Para casos de brises cerâmicos, o indicado é a lavagem constante, para a remoção de resíduos e sujeiras;
- Vidro: a manutenção requer muitos cuidados, pois vidro pode ser um material mais sensível. Para tal, requer a lavagem e muitas vezes a troca das lâminas por material mais resistente, pois deve se levar em conta que o vidro pode sofrer acidentes, como rachaduras e lascas, que influenciam no estético e funcionalidade do mesmo.

O concreto foi um material de suma importância para a arquitetura moderna, por proporcionar aos arquitetos uma série de novas possibilidades espaciais e plásticas (Figura 12), mas também expressivas em termos de superfícies (PINTO e MOREIRA, 2013). A Universidade de Brasília – Instituto Central de Ciências, por exemplo, tem sua obra foi feita inteiramente com concreto pré-moldado (ANDRADE e MELO, 2013).

Figura 12 – Croqui do projeto da Universidade de Brasília.



FONTE: ANDRADE e MELO.

O brise de concreto geralmente é trabalhado na posição vertical, uma vez que na horizontal a possibilidade de flexão da peça é mais provável. Por não existir normatização para sua execução, este é projetado como peça integrante da estrutura. No entanto, não é esta sua função, sendo o elemento uma peça em concreto armado, que resiste a seu próprio peso e, quando inserido em edificações de alto gabarito, à ação do vento. Vale destacar que só é levado em consideração a carga da ação do vento, em edificações acima de três pavimentos, a começar do térreo.

Vários conceitos projetuais fazem uso do brise de concreto com intenção formal (Figuras 13 e 14). Importante perceber que os brises de concreto aparecem, na maioria das vezes em sua cor natural, enquanto que diversas cores são encontradas quando se aplicam outros materiais (Figura 15).

Figura 13 – Brises na fachada do Centro de Artes e Comunicação da UFPE.



FONTE: Pedro Valadares.

Figura 14 – Demonstração de aplicação de brises de concreto em fachada.



FONTE: Diana Brooks.

Figura 15 – Brises metálicos coloridos em escola em Alto de Pinheiros.



FONTE: Archdaily.

Ressalta-se o grande número de edificações de uso educacional (destacando-se universidades e institutos federais) e industrial que apresentam o brise de concreto como solução formal e de conforto. O uso desse elemento em concreto vem diminuindo, segundo relatos de profissionais da área, devido ao custo envolvido por sua execução. No entanto, uma faculdade em João Pessoa, criada recentemente (1998) se comparada às instituições de ensino da cidade, tem seu campus configurado por blocos marcados por brises de concreto (ver execução na Figura 16), criando identidade aos setores que se revelam reconhecidos pela cor aplicada aos seus brises (com 10cm de espessura), seja por revestimento em pastilha ou por pintura (Figura 17).

Figura 16 – Execução de bloco com brises de concreto em faculdade.



FONTE: Iesp.

Figura 17 – Blocos com brise de concreto colorido em faculdade. (a) pastilhado (b) pintado.



FONTE: Iesp.

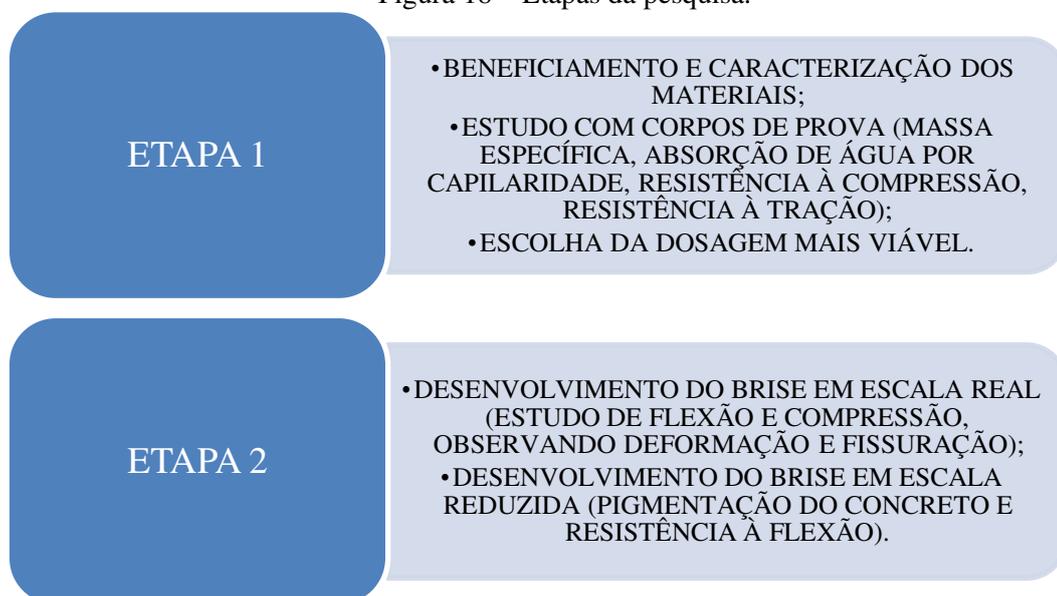
CAPÍTULO 5

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados neste estudo foram selecionados tomando como base normas, bem como padrões determinados em outros estudos. Visa-se selecionar melhor traço alternativo a partir do desenvolvimento de corpos de prova de concreto referência, com 0% de substituição do agregado miúdo, comparados aos alternativos, com substituição de 5%, 10%, 20% e 30% do mesmo agregado por resíduo de borracha moída, da indústria calçadista.

Assim, a metodologia proposta para desenvolvimento desta pesquisa é realizada em duas etapas (ver Figura 18): na primeira são determinados os traços do concreto alternativo, para a produção de corpos de prova, conforme NBR 5738 (2015), testados quanto a sua massa específica, resistência à compressão e à tração, além de avaliar sua porosidade por meio do teste de absorção de água por capilaridade e a distribuição dos materiais, bem como interação em sua composição a partir do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), ensaios estes também baseados nas normas brasileiras pertinentes; na segunda, foi desenvolvido o brise em escala 1/1, com dosagem escolhida a partir dos resultados da primeira etapa, para avaliar seu comportamento com relação a compressão e flexão, sendo ainda produzidos protótipos dos brises em escala reduzida, em mesmo traço, para teste de pigmentação e flexão.

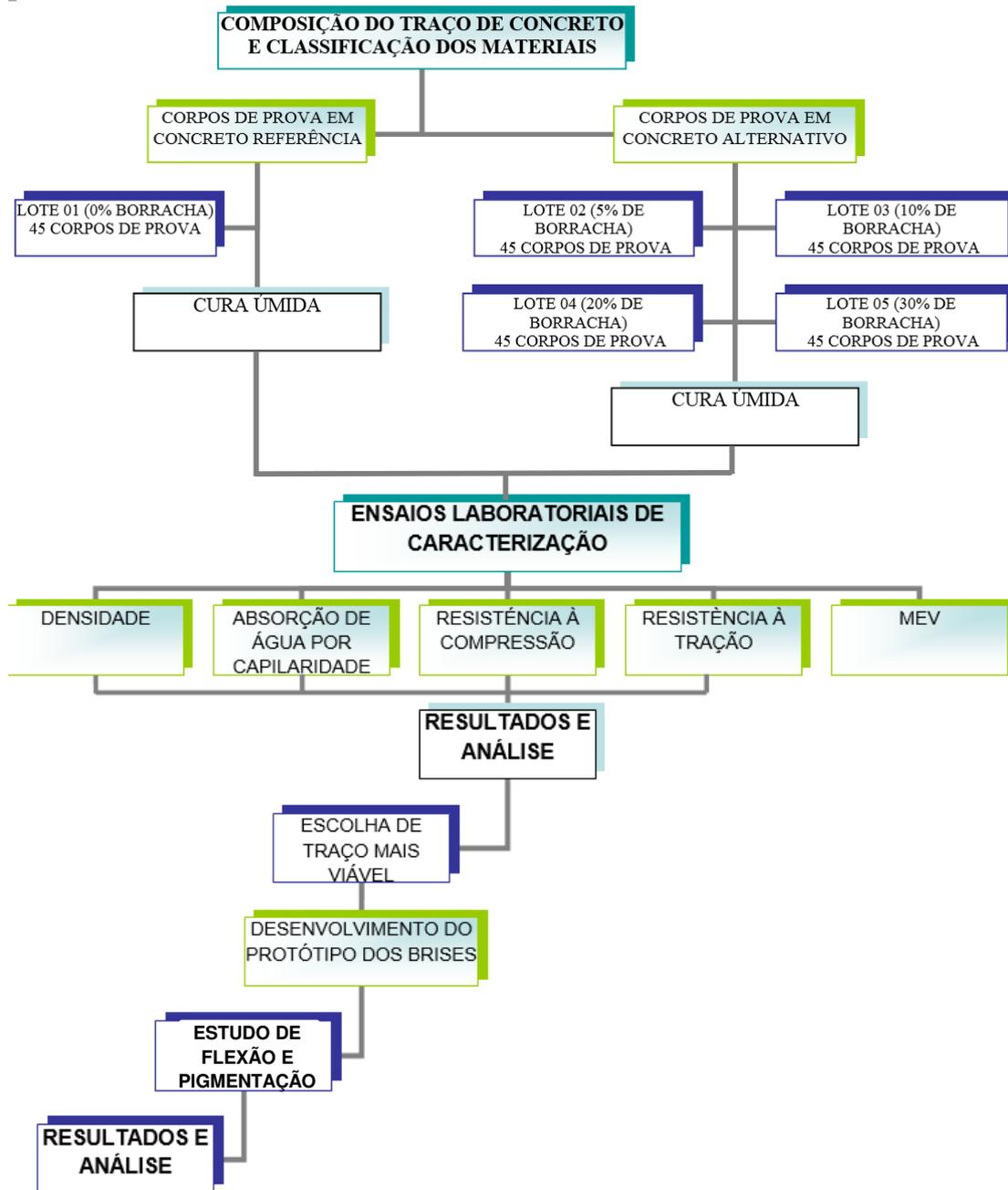
Figura 18 – Etapas da pesquisa.



FONTE: O autor.

As etapas descritas teve suas atividades distribuídas conforme Figura 19.

Figura 19 – Detalhamento das etapas da pesquisa.



FONTE: O autor.

5.1 ETAPA 1

5.1.1. Materiais Utilizados

As sandálias utilizadas para composição do resíduo de borracha foram doadas por estarem inutilizadas. Essas, após exposição ao sol para retirar umidade, foram trituradas

em partículas de dimensões uniformes (Figuras 20 e 21), para criar a dosagem de substituição e aplicar no concreto para moldagem dos corpos de prova.

Figura 20 – Borracha sendo inserida para trituração em partículas pequenas.



FONTE: O autor.

Figura 21 – Borracha já triturada em partículas homogêneas, ainda no recipiente do triturador.



FONTE: O autor.

Como agregados naturais foram utilizados a areia (agregado miúdo) e a brita (agregado graúdo). Ensaio de granulometria foi realizado conforme ABNT NBR NM 248 (2003), com os materiais utilizados (areia, brita e borracha – Figura 22), para melhor caracterizar as dosagens utilizadas na pesquisa. Foi utilizada a sequência padrão de peneiras, conforme indicadas nos gráficos 1, 2 e 3.

Figura 22 – Areia, brita e borracha moída, secas para ensaio de granulometria.

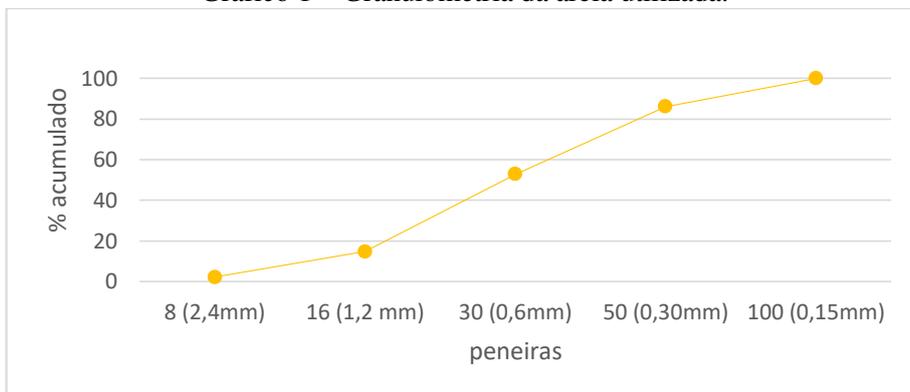


FONTE: O autor.

O diâmetro máximo encontrado na areia foi de 2,4mm e seu módulo de finura foi 2,54. Já na borracha, com uma dimensão de grão maior que a da areia, encontrou-se diâmetro entre 2,4mm e 4,8mm, uma vez que não houve retenção na peneira nº 4 (4,8mm),

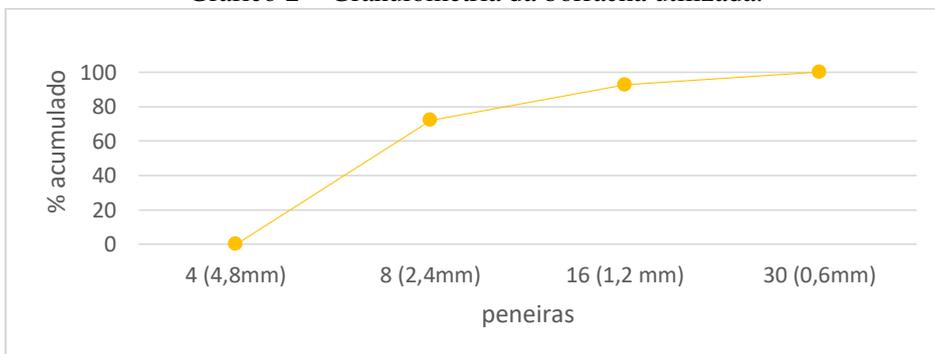
obtendo-se acúmulo de 72% na peneira nº 8 (2,4mm). O módulo de finura do resíduo de borracha foi de 2,64. Para a brita, o diâmetro máximo encontrado entre as partículas foi de 19,1mm. A seguir estão os gráficos com curva granulométrica dos agregados estudados.

Gráfico 1 – Granulometria da areia utilizada.



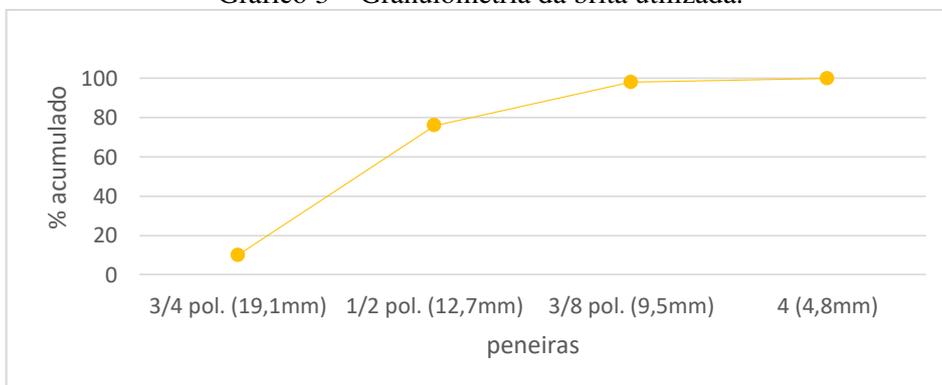
FONTE: O autor.

Gráfico 2 – Granulometria da borracha utilizada.



FONTE: O autor.

Gráfico 3 – Granulometria da brita utilizada.



FONTE: O autor.

Como material aglomerante, utilizou-se o cimento portland composto CPII-Z-32. Todos os materiais foram estocados nas dependências do laboratório, sendo o cimento protegido da umidade e da exposição direta ao sol.

5.1.2. Dosagem do Concreto e Preparo dos Corpos de Prova

Para determinar o traço de referência utilizado no estudo para confecção do concreto alternativo, foi considerado um ambiente urbano. Portanto, de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), item 6.4.2 (ver Quadro 1), para tal ambiente, tem-se a classe de agressividade II, cuja agressividade é definida como moderada.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

FONTE: ABNT NBR 6118, item 6.4.2.

Observando a correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto no item 7.4.2 da mesma norma (ver Quadro 2), verifica-se que para a classe II a classe de concreto armado a ser utilizado deve ser no mínimo C25, ou seja, com a resistência característica à compressão (fck) de, pelo menos, 25 MPa. Vale destacar que o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) determina uma resistência de 15 MPa quando se trata de um concreto sem aplicação estrutural, que seria o caso da aplicação do brise.

Quadro 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS:
1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655.
2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

FONTE: ABNT NBR 6118, item 7.4.2.

Para obtenção da referida resistência, tem-se o traço em volume de 1:2:3, sendo cimento:areia:brita, conforme o uso indicado pela tabela prática de traços para obra (Tabela 1).

Tabela 1 – Prática de traços de concreto para uso em obras.

EMPREGO OU UTILIZAÇÃO	RESISTÊNCIA PROPOSTA NA COMPRESSÃO (Kf/cm ²)	TRAÇO EM VOLUME	CONSUMO DE ... (material) ... FORM3 DE CONCRETO						FUNDO 35 X 45 ALTURA DA FADOLA		NUMERO DE PADIOLAS POR SACO DE CIMENTO			FATORES			RENDIMENTO POR SACO CIMENTO (kg/sac)	TRAÇO EM MASSA CORRESPONDENTES
			CIMENTO (Kg)	AREIA SECA (l)	AREIA UMIDA (l)	BRITA 1 (l)	BRITA 2 (l)	ÁGUA (l)	AREIA (cm)	BRITA (1 E 2) (cm)	AREIA	BRITA 1	BRITA 2	água/cim l/Kg	cim/água Kg/l	água/cim l/sac		
	400	1 : 1 : 2	514	363	465	363	363	226	28,7	22,4	1	1	1	0,44	2,27	22,0	97,2	1 : 1,08 : 1,56
	350	1 : 1 1/2 : 3	387	409	524	405	405	189	21,5	33,6	2	1	1	0,49	2,04	24,5	129,2	1 : 1,63 : 2,94
	298	1 : 2 : 2 1/2	374	528	676	330	330	206	28,7	28,1	2	1	1	0,55	1,82	27,5	133,2	1 : 2,17 : 2,44
Obras de responsabilidade	254	1 : 2 : 3	344	486	622	364	364	210	28,7	33,6	2	1	1	0,61	1,84	50,5	145,5	1 : 2,17 : 2,94
	228	1 : 2 1/2 : 3	319	562	719	337	337	207	25,9	33,6	3	1	1	0,65	1,54	32,5	157,9	1 : 2,71 : 2,74
Colunas Baldames e Vigas médias	210	1 : 2 : 4	297	420	538	420	420	202	28,7	22,4	2	2	2	0,68	1,47	34,0	168,3	1 : 2,17 : 3,52
	195	1 : 2 1/2 : 3 1/2	293	517	662	362	362	208	23,9	19,6	3	2	2	0,71	1,41	35,5	170,6	1 : 2,71 : 3,42
Estrut. De conor. Armado	185	1 : 2 1/2 : 4	276	487	625	350	350	204	23,9	22,4	3	2	2	0,73	1,37	35,5	181,2	1 : 2,71 : 3,52
Cintas de amarração, pequenas lajes	157	1 : 2 1/2 : 5	246	435	557	435	435	195	23,9	28,0	3	2	2	0,79	1,27	33,5	203,3	1 : 2,71 : 4,59
	124	1 : 3 : 5	229	486	622	405	405	202	28,7	28,0	3	2	2	0,88	1,14	44,0	218,1	1 : 3,25 : 4,88
	100	1 : 3 : 6	208	441	564	441	441	198	28,7	33,6	3	2	2	0,95	1,05	47,5	240,8	1 : 3,25 : 5,87
Letos e Camadas Preparatorias	50	1 : 4 : 8	161	456	584	456	456	194	28,7	29,9	4	3	3	1,20	0,83	50,0	312,5	1 : 4,34 : 7,83

FONTE: Recursos Engenharia.

A determinação do teor ótimo de água também foi feita seguindo a indicação da norma para o concreto referência (conforme Quadro 2), ajustando-a no concreto alternativo, a partir da trabalhabilidade do mesmo (Tabela 2), testada pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (Figura 23), o *Slump Test* (conforme ABNT NBR NM 67:1998), onde coloca-se uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes. Este ensaio é feito para avaliação numérica da consistência e coesão do concreto fresco.

Figura 23 – Execução do *Slump Test*.



FONTE: O autor.

Tabela 2 – Teor de água utilizado.

	Referência	5% borracha	10% borracha	20% borracha	30% borracha
Teor de água	0,60	0,60	0,60	0,70	0,90
Slump Test	8,5cm	9cm	9cm	11cm	12cm

FONTE: O autor.

5.1.3. Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram moldados seguindo a NBR 5738 (2015), tendo como base a massa média estimada para o corpo de prova de concreto referência (2,5kg). Para cada bloco foram utilizadas as quantidades de material mostradas na Tabela 3, tendo sido dosado em massa, inclusive as substituições.

Tabela 3 – Quantitativo de material para cada corpo de prova.

Materiais	Referência	5% borracha	10% borracha	20% borracha	30% borracha
Cimento	0,41kg	0,41kg	0,41kg	0,41kg	0,41kg
Areia	0,82kg	0,78kg	0,74kg	0,66kg	0,58kg
Brita	1,23kg	1,23kg	1,23kg	1,23kg	1,23kg
Borracha	-	0,04kg	0,08kg	0,16kg	0,24kg
TOTAL	2,46kg	2,46kg	2,46kg	2,46kg	2,46kg

FONTE: O autor.

Foram moldados 225 corpos de prova, sendo 45 para cada traço (referência, 5% de borracha, 10% de borracha, 20% de borracha e 30% de borracha), executado de uma única vez. Os materiais eram pesados separadamente (ver Figura 24) e misturados em betoneira (Figura 25).

Figura 24 – Materiais separados. a) concreto referência – sem borracha. b) concreto alternativo – com borracha.



FONTE: O autor.

Figura 25 – Materiais sendo inseridos na betoneira.



FONTE: O autor.

O molde do corpo de prova foi feito em cano de PVC (Figura 26), medindo 20cm de altura e 10cm de diâmetro, com corte vertical para auxiliar o desmolde, envoltos por saco plástico e travados com abraçadeiras plásticas. Foi utilizado ainda desmoldante, para diminuir a aderência do concreto ao molde, facilitando sua retirada.

Figura 26 – Formas para moldagem do corpo de prova.



FONTE: O autor.

O concreto foi inserido nos moldes em camadas, sendo golpeado e vibrado, conforme indicação da norma (Figura 27).

Figura 27 – Corpos de prova sendo moldados.



FONTE: O autor.

O sistema de cura adotado nesta pesquisa levou os blocos imediatamente após a sua desforma, que acontece 24 horas após a moldagem, para cura úmida, com imersão em um tanque com água, sendo separados os tanques dos blocos com borracha e sem (Figuras 28 e 29).

Figura 28 – Tanque com corpos de prova de concreto referência.



FONTE: O autor.

Figura 29 – Tanque com corpos de prova de concreto alternativo.



FONTE: O autor.

Os corpos de prova foram para cura com primeira identificação: TR (traço referencia), TB 5% (traço com 5% de substituição da areia por borracha), TB 10% (traço com 10% de substituição da areia por borracha), TB 20% (traço com 20% de substituição da areia por borracha), TB 30% (traço com 30% de substituição da areia por borracha). Nesses tanques, os blocos permaneceram por 7, 21 e 28 dias, para posterior realização dos ensaios laboratoriais. A cada idade de cura e dosagem, 15 corpos de prova foram ensaiados, onde 5 foram utilizados para massa específica e absorção de água por capilaridade, 5 para resistência à compressão e 5 para resistência à tração.

5.1.4. Distribuição e interação dos materiais (avaliação visual e Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV)

Com o intuito de observar a distribuição e interação entre os materiais da composição do concreto, os corpos de prova foram partidos inicialmente no sentido longitudinal. Posteriormente foram cortados em sentido transversal, gerando amostras conforme Figura 30. Foi feita uma análise visual para confirmar se os agregados estavam distribuídos de maneira uniforme, uma vez que sua má distribuição dos materiais pode acarretar consequências negativas em seu comportamento nos ensaios realizados, ou seja, a eficiência do concreto pode variar caso seus agregados não estejam posicionados de maneira homogênea na peça.

Figura 30 – Cortes dos corpos de prova para avaliação da distribuição dos agregados.



FONTE: O autor.

Destas amostras, foram retiradas as porções para realização do MEV, realizado na UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), no laboratório de caracterização dos materiais.

As amostras foram preparadas separadas (referência e com borracha) e passaram pelo processo de metalização, onde receberam recobrimento com ouro (Figura 31), para serem direcionadas à varredura. As imagens foram geradas em dois pontos de cada amostra, com zoom de 100x, 500x, 1000x e 2000x.

Figura 31 – Amostras sendo preparadas para microscopia. a) Antes da metalização b) Após metalização.

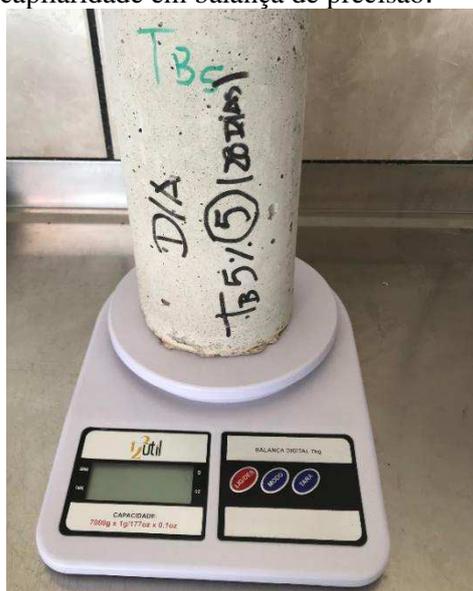


FONTE: O autor.

5.1.5. Massa Específica e Absorção de Água por Capilaridade

A cada idade de cura do concreto, 5 corpos de prova eram utilizados para definir massa específica e avaliar porosidade. Estes foram identificados (exemplo: D/A – TB5% – 1 – 7 dias) e pesados em balança de precisão (Figura 32), além de medidos com paquímetro (altura e diâmetro – ver Figura 33), para cálculo da massa específica.

Figura 32 – Identificação e pesagem dos corpos de prova para ensaio de massa específica e absorção de água por capilaridade em balança de precisão.



FONTE: O autor.

Figura 33 – Medição dos corpos de prova com paquímetro.



FONTE: O autor.

LEGENDA

D/A: Massa específica/Absorção de água

TB 5%: Traço do concreto com adição de 5% de borracha em substituição da areia.

5: Corpo de prova 5.

28 dias: tempo de cura.

Os mesmos blocos eram colocados em estufa por 24 horas (ver Figura 34), a temperatura de 100°C, conforme indicação da NBR 9779 (2012), para determinação da absorção de água por capilaridade. Os corpos de prova ficaram em contato com água por 72h (Figura 35), onde eram pesados nos horários determinados (inicialmente e após 3, 6, 24, 48 e 72 horas), para posterior cálculo de absorção, que é feito dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo de prova. Ao final eram rompidos diametralmente, para avaliação da altura da região úmida (Figura 36).

Figura 34 – Corpos de prova na estufa.



FONTE: O autor.

Figura 35 – Corpos de prova em contato com a água.



FONTE: O autor.

Figura 36 – Corpo de prova rompido diametralmente.



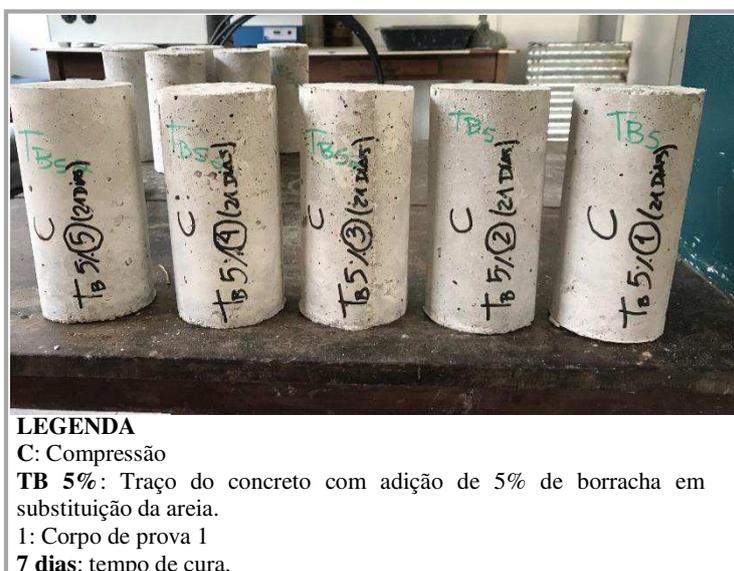
FONTE: O autor.

5.1.6. Resistência à Compressão e Resistência à Tração

Para teste de resistência, de acordo com as normativas, avaliou-se compressão simples (NBR 5739, 2018) e tração por compressão diametral (NBR 7222, 2011).

Na resistência à compressão, os blocos já capeados para regularização da superfície, eram identificados (ver Figura 37), para posteriormente serem posicionados verticalmente um a um na prensa, para rompimento (Figura 38). Para obtenção deste resultado, divide-se a carga de ruptura pela área de seção transversal do corpo de prova.

Figura 37 – Identificação dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão simples.



LEGENDA

C: Compressão

TB 5%: Traço do concreto com adição de 5% de borracha em substituição da areia.

1: Corpo de prova 1

7 dias: tempo de cura.

FONTE: O autor.

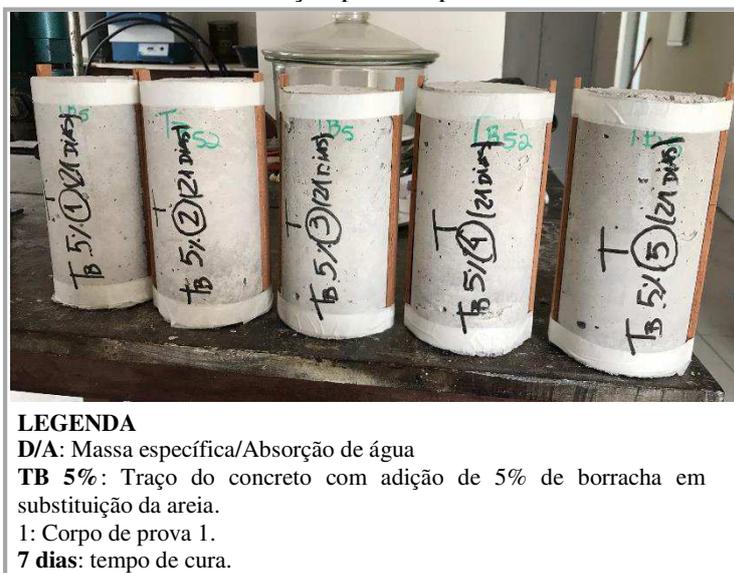
Figura 38 – Corpo de prova sendo ensaiado.



FONTE: O autor.

Já para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova foram identificados e preparados com tiras de chapa dura de fibra de madeira, isentas de defeitos (Figura 39), como indicado pela NBR 7222 (2011). Então, cada bloco foi inserido horizontalmente na prensa, para rompimento (Figura 40).

Figura 39 – Identificação dos corpos de prova para ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



FONTE: O autor.

Figura 40 – Corpo de prova sendo ensaiado.



FONTE: O autor.

5.1.7. Escolha da dosagem para desenvolvimento dos protótipos

Após avaliação dos dados para as dosagens estudadas, frente aos ensaios realizados, foi escolhido um dos traços com substituição de areia por resíduo de borracha, com melhor comportamento com relação aos aspectos analisados. Esta escolha fecha a primeira etapa da pesquisa.

5.2. ETAPA 2

5.2.1. Desenvolvimento dos Protótipos do Brise em Escala Real

A segunda etapa se inicia com a produção dos protótipos dos brises em escala real (1/1), para avaliação de flexão e fissuração, comparados à brises desenvolvidos com concreto referência. Importante repetir que o brise de concreto é sempre feito sob medida, a depender da esquadria ou abertura que irá proteger, bem como do efeito estético que se deseja dar à edificação. Uma dimensão determinante foi a espessura do elemento, onde foi levado em consideração primeiramente que conforme NBR 6118 (2014), elementos

de superfície plana, sujeitos principalmente à ações normais a seu plano, são denominadas de placas, mas usualmente chamadas de lajes. Assim, foi identificada a espessura mínima de lajes de concreto armado, que é 5 cm para lajes de cobertura não em balanço. Espessura de 7cm é usada para lajes de piso ou de cobertura em balanço. Observando-se espessuras de brises executados, percebeu-se uma variação de dimensão entre 5cm e 10cm. Logo, adotou-se a medida de 7cm, por ser uma dimensão média entre as pesquisas realizadas, não sendo tão estreita, que possibilitasse, após inserção da borracha, que a porosidade do material oferecesse risco à armadura. Assim, foi proposta por esta pesquisa uma peça com as seguintes dimensões: 1,10m x 0,40m x 0,07m, pensando na dimensão de uma esquadria padrão que tem entre 1,00m e 1,10m de peitoril, bem como altura.

Pela ausência de trabalhos que tratem de cálculo de armadura de brise de concreto, além da ausência de norma para este tipo de aplicação, foi feita consultoria com engenheiros civis calculistas, incluindo engenheiros da UFCG, identificando-se que nas peças com esta finalidade, tem-se uma malha de aço 6mm ou 8mm espaçados 7cm ou 10cm. Todos os engenheiros consultados confirmaram que deve ser utilizada armadura mínima, uma vez que a peça não sofre ações de grandes cargas. Assim, foi definida a malha de 10cm de espaçamento, com aço 6mm para este estudo. As formas foram produzidas em madeira maciça (Figura 41).

Figura 41 – Forma e armadura em aço para protótipos do brise em escala 1/1.



FONTE: O autor.

Foram desenvolvidos 14 peças, sendo 7 com o concreto referência e 7 com a dosagem TB 10%. Com relação ao quantitativo de material, foi utilizado o exposto na Tabela 4, tendo como base uma estimativa de massa de uma peça para as dimensões propostas (aproximadamente 74kg). Os materiais foram misturados em betoneira (Figura 42). Foi mantido o fator água/cimento 0,60, trabalhado nos corpos de prova.

Tabela 4 – Quantitativo de material para cada protótipo do brise em escala 1/1.

Materiais	Referência	10% borracha
Cimento	12,33kg	12,33kg
Areia	24,66kg	22,194kg
Brita	36,99kg	36,99kg
Borracha	-	2,466kg
TOTAL	73,98kg	73,98kg

FONTE: O autor.

Figura 42 – Materiais sendo misturados em betoneira.



FONTE: O autor.

A concretagem foi feita de acordo com as seguintes etapas: foi colocada uma primeira camada de concreto com 3,5cm (metade da espessura da peça); foi inserida a armadura em aço; completou-se a peça com a outra metade do concreto, sendo o material sempre vibrado. Ao final, foi feita regularização da superfície com régua (ver Figuras 43 e 44).

Figura 43 – Concretagem: primeira camada de concreto.



FONTE: O autor.

Figura 44 – Concretagem: inserção da malha e segunda camada de concreto.



FONTE: O autor.

Após 24 horas da moldagem, as peças foram desmoldadas e identificadas (TR e TB10%), como ilustrado pela Figura 45, para serem levadas para cura úmida em tanque com água (Figura 46). A cura aconteceu por 7 dias, para então serem iniciados os ensaios de flexão e compressão.

Figura 45 – Protótipos desmoldados e identificados.



FONTE: O autor.

Figura 46 – Protótipos do brise em tanque de cura.



FONTE: O autor.

5.2.2. Desenvolvimento dos Protótipos do Brise em Escala Reduzida

Com a mesma dosagem escolhida, foram desenvolvidos protótipos da peça em escala reduzida (1/3), para estudo de viabilidade de coloração do elemento. A partir das dimensões reais de uma peça proposta (1,10m x 0,40m x 0,07m), tem-se o protótipo reduzido medindo 0,37m x 0,13m x 0,023m (comprimento x largura x espessura), reduzindo um terço de cada cota. Para esta produção, foram desenvolvidas formas metálicas. Ao centro da peça foi inserida uma malha em aço 4,2mm (Figura 47), mantendo a prática de produção de brises que possui armadura em sua composição, mesmo estas peças sendo apenas para teste de cor e não de resistência à esforços. A concretagem feita seguindo o mesmo processo da realizada para os brises em tamanho real (Figura 48).

Figura 47 – Forma e malha em aço para moldagem do protótipo do brise em escala reduzida.



FONTE: O autor.

Figura 48 – Concretagem do brise em escala reduzida sem pigmentação.



FONTE: O autor.

A princípio foram feitos dois brises reduzidos sem pigmentação, sendo um deles com concreto referência e um com dosagem TB 10%. Já para coloração, as concretagens foram feitas todas com dosagem TB10%. Utilizou-se pigmentação em pó para concreto, em quantidade aproximada a indicada pelos fabricantes (ver Tabela 5).

Avaliou-se a cor do resíduo de borracha alteraria a pigmentação. Assim, foram feitos testes em 4 peças: 2 com borracha predominantemente amarela, sendo uma com

pigmentação amarela e outra com pigmentação azul (Figura 49); 2 com borracha predominantemente azul, sendo uma com pigmentação amarela e outra com pigmentação azul (Figura 50).

Figura 49 – Borracha predominantemente amarela e pigmentações utilizadas.



FONTE: O autor.

Figura 50 – Borracha predominantemente azul e pigmentações utilizadas.



FONTE: O autor.

Com a possibilidade de se ter o maior número de cores, foi testado se era possível atingir outras cores a partir da mistura das pigmentações. Assim, foram feitos mais dois brises, com borracha nas cores azul a amarela misturadas: um com pigmentação verde e outro misturando as pigmentações amarela e azul (Figura 51). Além, deles, um outro protótipo foi desenvolvido, com um conceito de mosaico, onde parte do concreto utilizado era azul e parte verde.

Figura 51 – Borracha nas cores amarela e azul, com pigmentações utilizadas.



FONTE: O autor.

As quantidades de materiais utilizados estão mostradas na Tabela 5. Estes foram calculados com base na estimativa do peso média da peça, que é de 4,08kg, também sendo utilizado o fator água/cimento 0,60.

Tabela 5 – Quantitativo de material para cada protótipo do brise em escala reduzida.

Materiais	Referência	
	Sem pigmentação	TB 10%
Cimento	0,68kg	0,68kg
Areia	1,36kg	1,224kg
Brita	2,04kg	2,04kg
Borracha	-	0,136kg
TOTAL	4,08kg	4,08kg
Pigmento	-	50g

FONTE: O autor.

A cura dos modelos reduzidos se deu nos mesmos tanques do protótipos em escala real (ver Figura 52).

Figura 52 – Protótipos coloridos em tanque de cura.



FONTE: O autor.

5.2.3. Avaliação da compressão e tração na flexão em protótipos do brise

Como já citado neste, o brise de concreto é usado na posição vertical. Assim, foi proposta uma avaliação de compressão, realizada no Laboratório da Atecel (Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior). Sem parâmetro e referência para realização do ensaio em brises e levando em consideração a dimensão da peça, foi utilizada uma prensa hidráulica, onde o elemento foi posicionado centralizado à prensa, sendo instalado ainda um relógio comparador no meio dele, para avaliar a flecha de deflexão, a partir da aplicação da carga (ver Figura 53). Foram ensaiados 5 peças com concreto referência e 5 peças com TB10%.

Figura 53 – Realização do teste de compressão dos brises.



FONTE: O autor.

Importante mencionar que foi preciso inserir ao pórtico duas barras metálicas horizontais, para melhorar o posicionamento da peça na prensa, sem permitir que a mesma inclinasse com a aplicação da carga. Antes da aplicação da carga, era conferido se o brise estava devidamente nivelado (Figura 54).

Figura 54 – Conferência do nivelamento dos brises.



FONTE: O autor.

A carga era dada por um macaco hidráulico (ver Figura 55). A cada 10kN de força aplicada, esperava-se 2 minutos e então era feita leitura no relógio. Ao final, após ruptura, era observado o comportamento do brise quanto às fissuras.

Figura 55 – Macaco hidráulico utilizado.



| FONTE: O autor.

Foi realizado ainda, no laboratório de Engenharia Civil da UFCG, o ensaio de tração na flexão na peça em escala 1/1 e em escala reduzida, tomando como base o indicado pela norma NBR 12142 (2010). Vale destacar que o teste foi feito na peça em estudo e não em corpos de prova prismáticos. O elemento foi posicionado centralizado à prensa, apoiados em três pontos, sendo dois abaixo e um acima, centralizado (ver Figura 56). Os cutelos na parte inferior foram afastados 70cm. Foram ensaiados 4 brises em dimensão real (2 com concreto referência e 2 TB10%) e 4 em escala reduzida (2 com concreto referência e 2 TB10%).

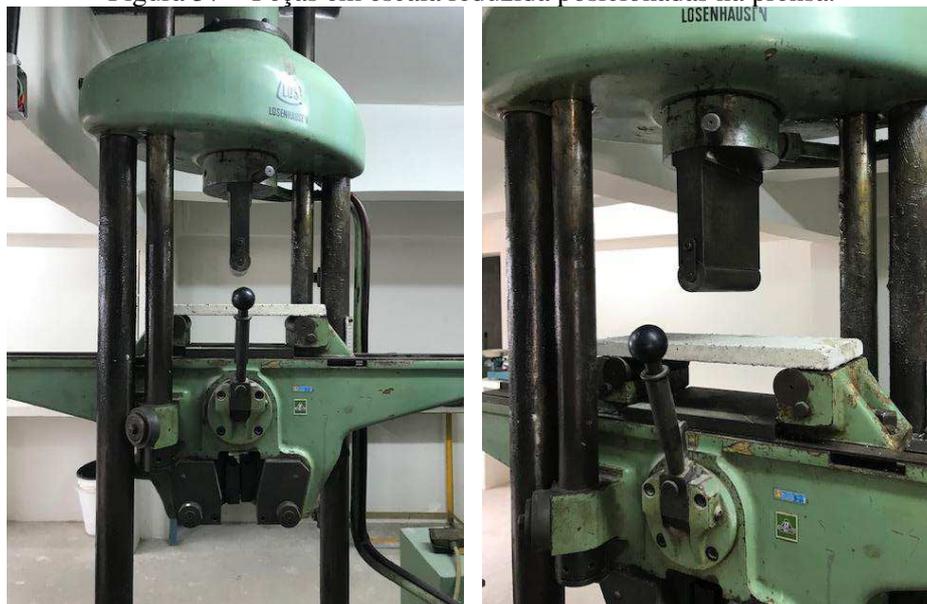
Figura 56 – Peças em escala 1/1 posicionadas na prensa.



| FONTE: O autor.

Devido ao tamanho das peças, as com escala reduzida foram ensaiadas em prensa distinta da utilizada para os brises em escala real (ver Figura 57), mas foram mantidos os três pontos, estando os cutelos de baixo afastados 30cm.

Figura 57 – Peças em escala reduzida posicionadas na prensa.



FONTE: O autor.

5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis dependentes foram investigadas com o teste não paramétrico de *Shapiro-Wilk* e medidas de assimetria e curtose (ambos com limites entre -1,96 e 1,96 do valor *Zscore*). Desse modo, para comparação das médias entre os tempos de cura foi realizado uma análise de variância de dois fatores (ANOVA-two way), seguido do teste de comparações múltiplas Tukey. Em todas as análises foram mantidos um nível de significância de 95% de confiança para um erro do tipo I ($p < 0,05$). Os resultados são apresentados em média e desvio padrão em ilustrações compostas por tabelas e gráficos. O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o pacote computadorizado *Statistical Package for the Social Science* (SPSS) versão 24.0 for IBM® e o *software GraphPad Prism version 7.00for Windows*.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 DISTRIBUIÇÃO E INTERAÇÃO DOS MATERIAIS (AVALIAÇÃO VISUAL E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV)

6.1.1. Avaliação visual da distribuição dos materiais

Tratando da avaliação visual da distribuição dos materiais, percebe-se homogeneidade na composição, onde todos os agregados estão espalhados por toda a peça. Não é detectada concentração demasiada de algum agregado em pontos específicos, confirmando que os materiais foram bem misturados. É possível ver a borracha em todo o corpo de prova, sendo interessante comparar o aumento gradativo do acréscimo de borracha nas dosagens (Figura 58).

Figura 58 – Corte longitudinal em corpos de prova (todas as dosagens).



FONTE: O autor.

A seguir, encontram-se as imagens do corte transversal dos corpos de prova (Figura 59), para cada dosagem estudada, para que seja confirmada a leitura anteriormente descrita. É possível perceber como a substituição em massa gera grande concentração de borracha, principalmente nas dosagens com maior substituição do agregado miúdo, justificada pela diferença entre as massas específicas. Na dosagem TB30%, por exemplo, são de fácil percepção apenas a brita e a borracha.

Figura 59 – Corte transversal em corpos de prova (todas as dosagens).

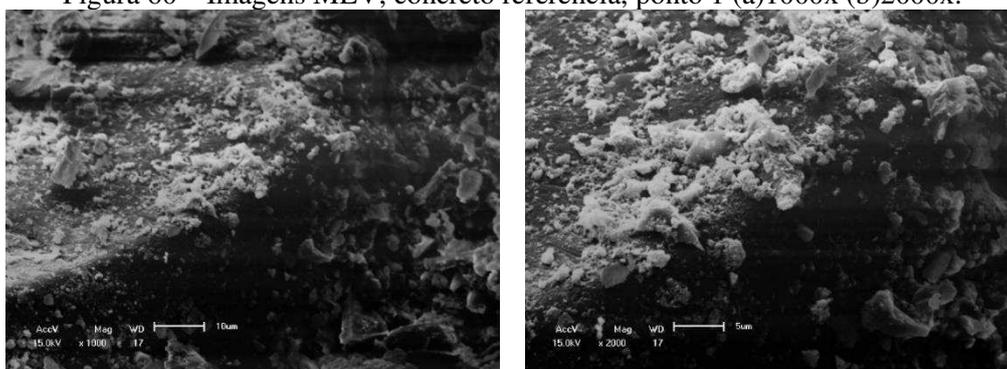


FONTE: O autor.

6.1.2. Microscopia Eletrônica de Varredura

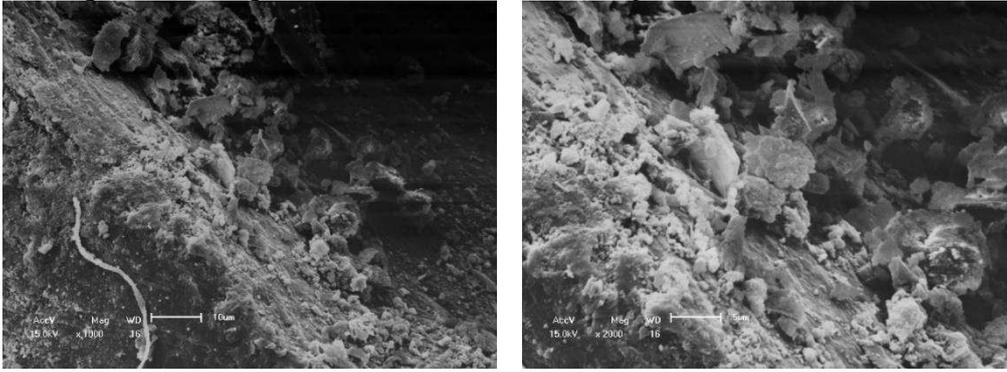
Foi percebido pela avaliação das Figuras 60 a 65, que o concreto referência, TB5% e TB10% apresentam aderência entre os materiais, com ocorrência de alguns vazios em torno da borracha nos concretos em que o resíduo é inserido. Nas dosagens TB20% e TB30% já aparecem vazios mais significativos (indicados com setas amarelas nas Figuras 66 a 68), sendo percebida na última composição a predominância da borracha (Figura 69), frente aos outros materiais, o mesmo já identificado na análise visual da distribuição. Nos apêndices estão outras imagens dos mesmos pontos com outros aumentos.

Figura 60 – Imagens MEV, concreto referência, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.



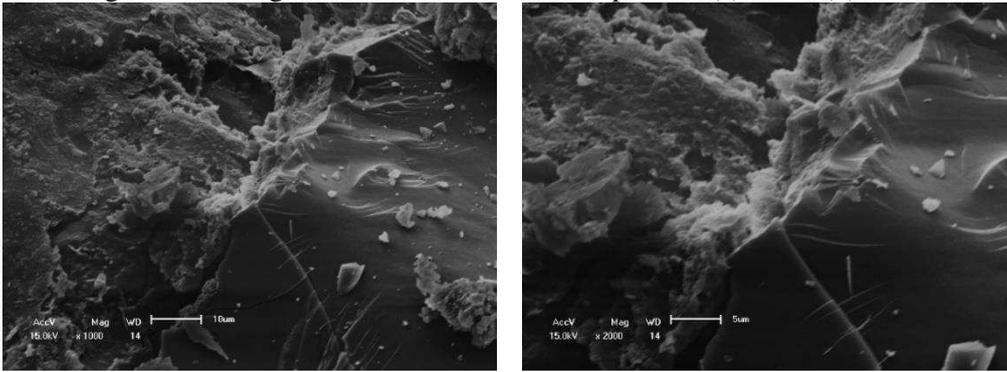
FONTE: O autor.

Figura 61 – Imagens MEV, concreto referência, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.



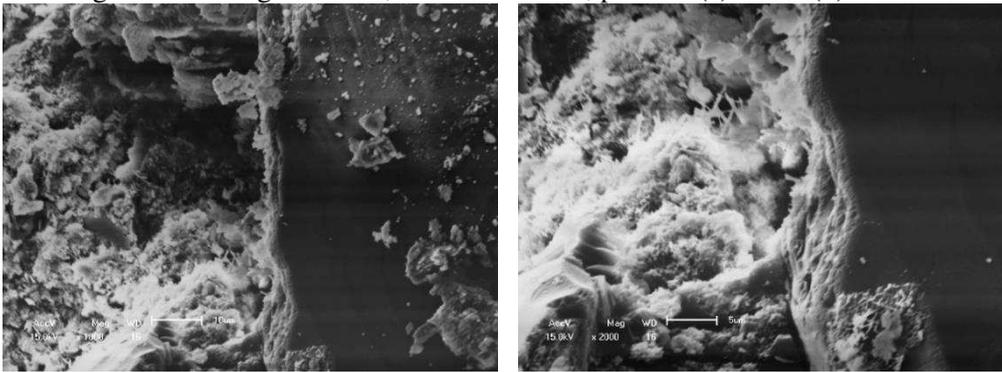
FONTE: O autor.

Figura 62 – Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.



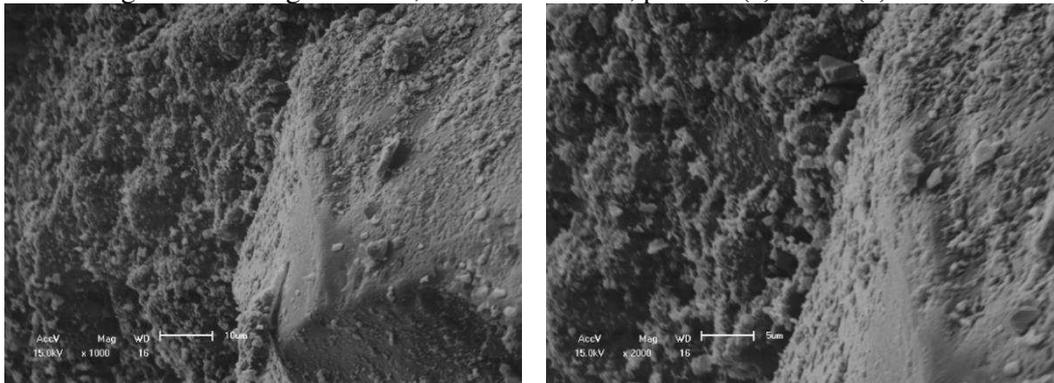
FONTE: O autor.

Figura 63 – Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.



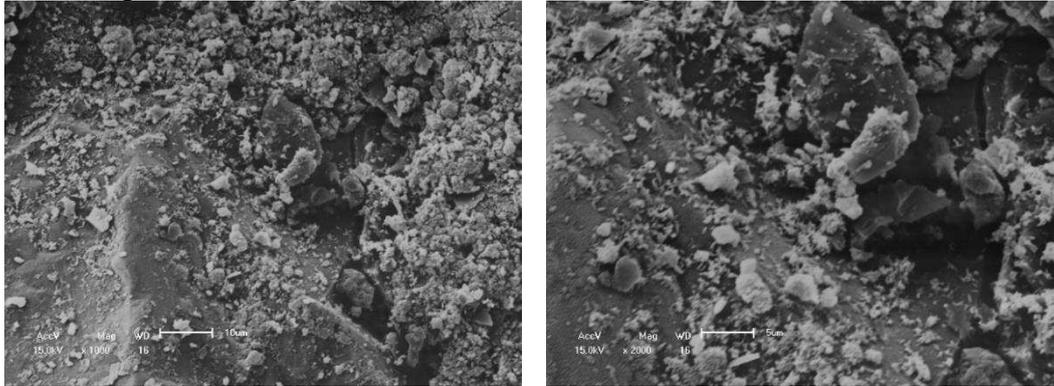
FONTE: O autor.

Figura 64 – Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.



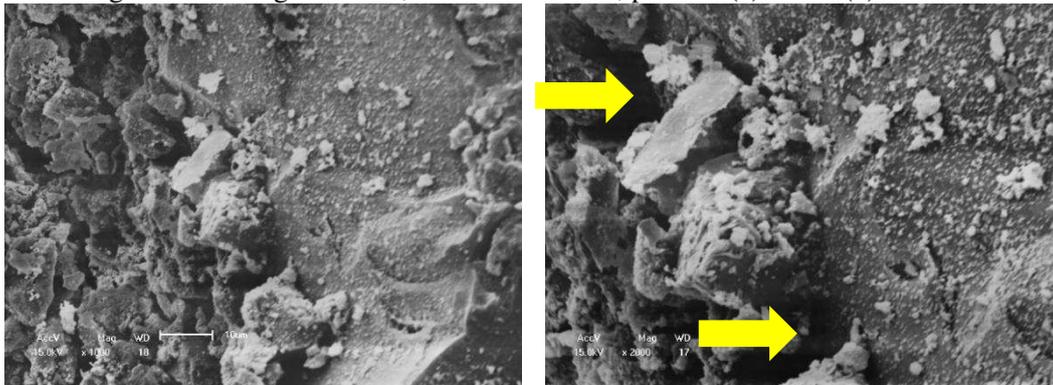
FONTE: O autor.

Figura 65 – Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.



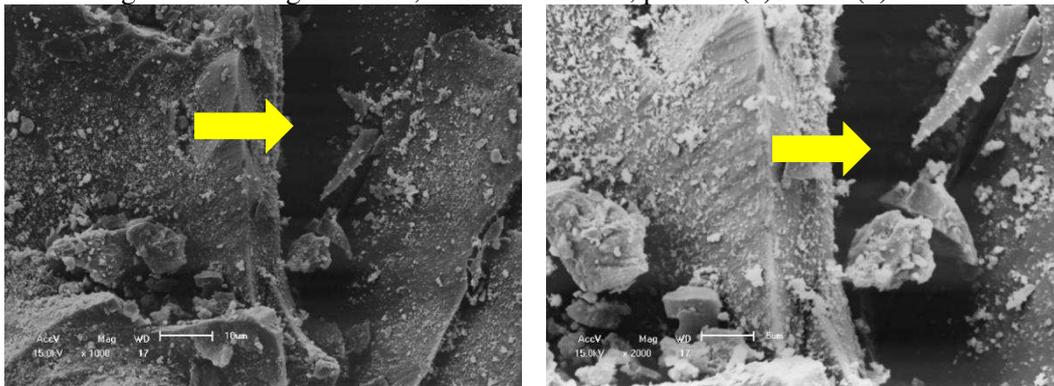
FONTE: O autor.

Figura 66 – Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.



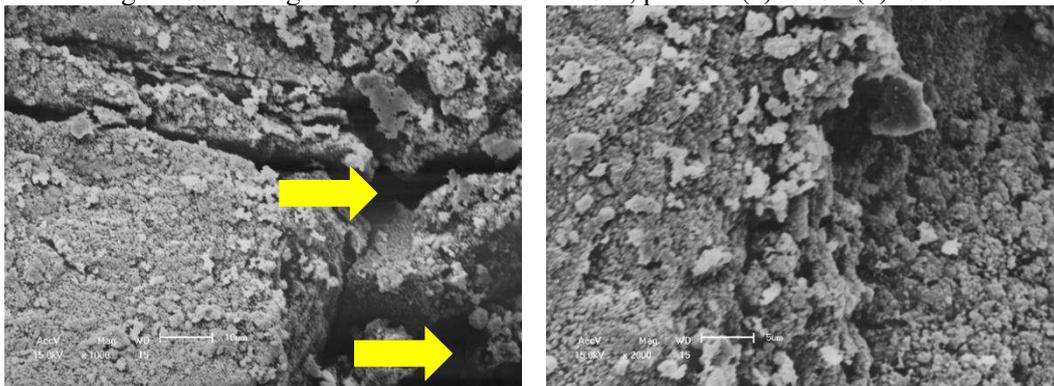
FONTE: O autor.

Figura 67 – Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.



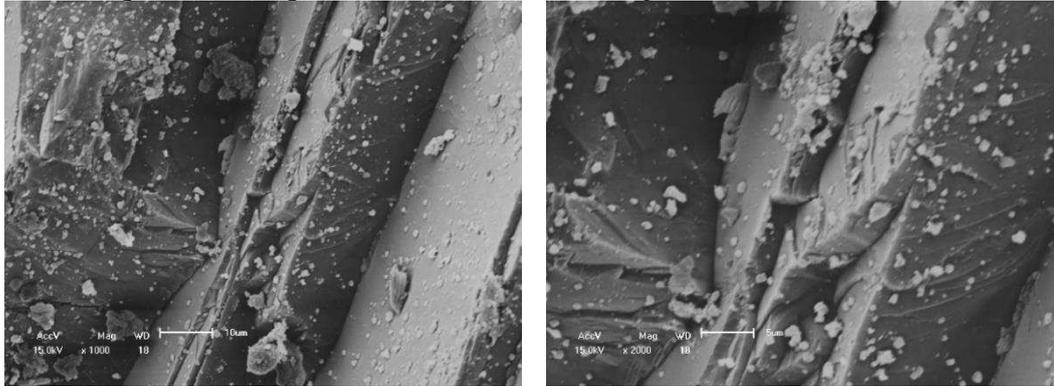
FONTE: O autor.

Figura 68 – Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 1 (a)1000x (b)2000x.



FONTE: O autor.

Figura 69 – Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 2 (a)1000x (b)2000x.



FONTE: O autor.

Comparando a análise das imagens com as análises de outros trabalhos, inicia-se com a pesquisa de Sousa et al. (2016). Eles identificam que o aumento da incorporação de partículas de borracha provocou um aumento nas quantidades de microporos presente na matriz. Além disso, verificam-se algumas regiões de fraca aderência da borracha com a matriz, aderência esta dificultada a medida que a porcentagem de partículas de resíduo aumenta, o que também é percebido nas imagens desta pesquisa, com as dosagens TB20% e TB30%.

Cardoso e Cabral (2017) mostram que não há uma homogeneização total entre os elementos da matriz. Eles consideram apenas que o pneu agrega propriedades no produto final. Já São Thiago e Bicalho (2018) mostram a borracha de pneu parcialmente encoberta pela matriz de cimento Portland, indicando ainda potencial para utilização de borracha, mesmo sendo a partícula de grande dimensão.

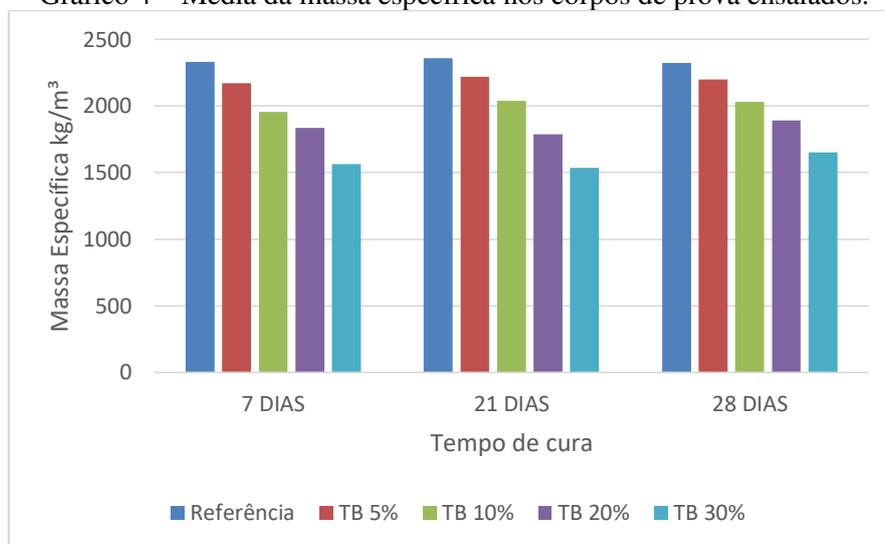
Albuquerque et al. (2005) estudam microscopia de vários concretos com tratamentos realizados na superfície das partículas de borracha com aditivos de base polimérica, na tentativa de proporcionarem melhor desempenho dos concretos, quando comparados àqueles contendo borracha sem tratamento superficial. Foi possível observar no trabalho citado que com partículas sem tratamento e com adição de 10% de borracha (mesma condição aplicada nesta pesquisa), em diferentes granulometrias, que as partículas de borracha menores incorporam quantidade de ar ao concreto. Na visão de Nirschl et al. (2002) a dimensão da granulometria é uma das características que interferem nos resultados obtidos. Em ensaios realizados pelos autores, foram comparados resíduos de menores dimensões, concluindo-se que a resistência à tração entre amostras contendo borracha de 3 a 1mm de diâmetro e menores que 1mm de diâmetro são próximas, embora a resistência seja levemente menor para as granulometrias mais finas. No estudos desta pesquisa, utiliza-se partículas de granulometria próxima (2,4 e 4,8mm) à utilizada pela

pesquisa referência. No entanto, como não foram utilizadas granulometrias distintas para o resíduo, focando-se assim no volume da borracha em TB20% e TB30%, que gerou vazios entre matriz e o resíduo, comprometendo as propriedades do concreto, como confirmado pelos ensaio de resistência e absorção, mostrados a seguir.

6.2 MASSA ESPECÍFICA

Foram coletados dados de 15 corpos de prova para cada dosagem (referência – TR e TB5%, TB10%, TB20% e TB30% de borracha), sendo 5 para cada idade de cura do concreto. No Gráfico 4 visualizam-se tais dados. Neste gráfico percebe-se que os corpos de prova com concreto referência estão com massa específica em conformidade com o estimado pela literatura e que, com o acréscimo da borracha, tem-se uma redução da massa específica, que pode ser comparada com a referência em termos percentuais (Tabela 6). Sabe-se que concretos convencionais têm sua massa específica variando entre 2300 e 2500 kg/m³, enquanto os leves chegam a atingir massas próximas a 500 kg/m³. Tem-se nesta pesquisa substituição de um agregado com menor volume e maior massa específica (areia) quando comparado ao resíduo utilizado, o que permite essa redução da massa específica do material testado, sem comprometer a resistência para a aplicação proposta.

Gráfico 4 – Média da massa específica nos corpos de prova ensaiados.



FONTE: O autor.

Tabela 6 – Comparativo da redução da massa específica com relação ao concreto referência.

Composição do concreto	Redução da massa específica comparada ao concreto referência		
	7 dias de cura	21 dias de cura	28 dias de cura
TB5%	7%	6%	5,5%
TB10%	16%	14%	13%
TB20%	22%	24%	19%
TB30%	32%	35%	29%

FONTE: O autor.

Percebe-se que para todas as dosagens, o percentual redução da massa específica comparada ao concreto referência, reduz com o aumento tempo de cura. Nota-se que, para 28 dias de cura, o percentual de diminuição da massa específica se assemelha ao percentual de substituição de borracha, sendo o traço TB10% o que mais se afasta dessa situação, tendo o maior percentual de redução da massa específica (13%).

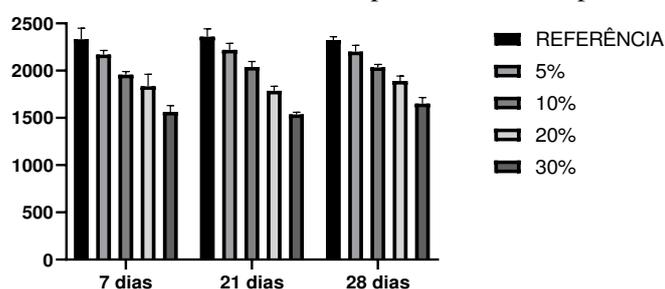
Analisando estatisticamente os dados, tem-se a Tabela 7 e o Gráfico 5 com a média e o desvio padrão para redução da massa específica em cada dosagem e tempo de cura.

Tabela 7 – Média da massa específica e desvio padrão.

	Referência		TB5%		TB10%		TB20%		TB30%	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
7 dias	2.331,414	118,242	2.170,086	43,474	1.957,491 b,e	32,981	1.833,977 c,f	127,323	1.564,468 d,g,i,j	64,875
21 dias	2.358,403	84,809	2.220,698	67,598	2.038,255 b,e	58,746	1.787,062 c,f,h	48,044	1.536,406 d,g,i,j	23,429
28 dias	2.324,497	35,649	2.201,108	66,655	2.033,577 b	31,152	1.891,398 c,f,h	51,944	1.651,857 d,g,i,j	63,683

FONTE: O autor.

Gráfico 5 – Média da massa específica e desvio padrão.



FONTE: O autor.

A análise estatística, quando comparadas as composições do concreto, mostra ausência de significância nas médias entre:

- Para cura de 7 dias – referência e TB5% (p=0,161); TB10% e TB20% (p=0,415);
- Para cura de 21 dias – referência e TB5% (p=0,344);
- Para cura de 28 dias – referência e TB5% (p=0,128); TB5% e TB10% (p=0,061).

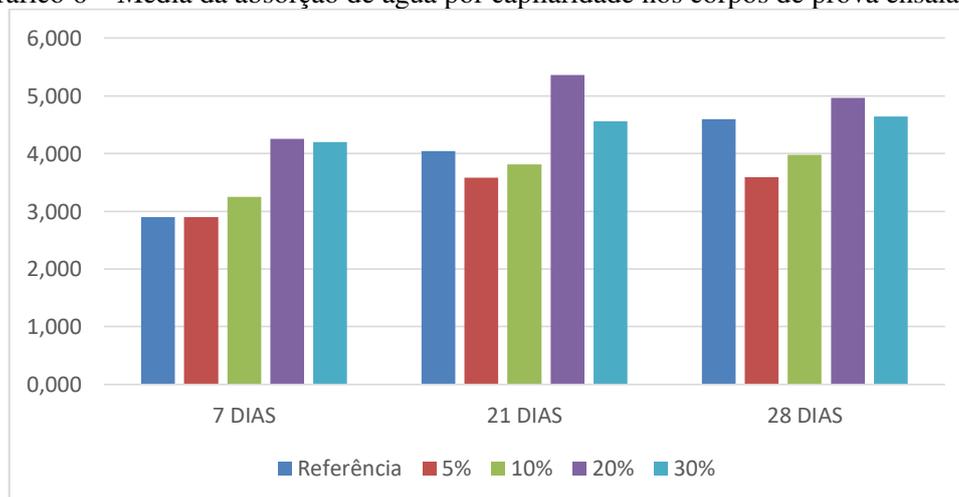
Já na comparação dos dados com outros trabalhos, mostra-se inicialmente a pesquisa de Moreira, Fidelis e Dias (2014), que trabalha com borracha de pneu, onde conseguiram redução de 7% e 16% no peso do bloco com substituição de 12,5% e 25% de borracha, respectivamente. Percebe-se que na pesquisa desenvolvida neste trabalho foi encontrada uma redução maior da massa específica, o que pode valorizar a substituição da areia por EVA para a aplicação em brises, uma vez que torna possível aliviar esforços na estrutura em que estarão apoiados.

Na pesquisa de Rocha et al. (2013), que utiliza EVA, aponta-se uma redução de massa de aproximadamente 63% obtida com o uso do concreto leve em relação ao concreto convencional. No entanto, eles trabalham com grandes substituições, chegando a utilizar 80% de EVA. Nesta pesquisa, encontra-se melhor resultado com relação a este parâmetro.

6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os mesmo corpos de prova utilizados para identificação da massa específica, foram utilizados para o ensaio de absorção de água por capilaridade. Observando o Gráfico 6, nota-se que o concreto referência em suas diferentes idades de cura, teve um crescimento constante na absorção de água. O concreto com TB5% teve sua absorção estabilizada entre as curas de 21 e 28 dias, sendo ela menor que a do concreto referência aos 28 dias de cura. A composição TB10% teve comportamento semelhante ao TB5%, embora sua absorção tenha sido maior à composição com borracha comparada. Os corpos de prova TB20% tiveram os maiores índices de absorção de água, maior até que o da composição com TB30%.

Gráfico 6 – Média da absorção de água por capilaridade nos corpos de prova ensaiados.



FONTE: O autor.

O concreto é um material poroso e praticamente todos os processos e mecanismos que provocam a sua deterioração estão relacionados com a facilidade com que a água (pura ou contaminada) se move através deste material. A relação da absorção de água das dosagens com borracha, comparadas ao concreto referência estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo da absorção de água com relação ao concreto referência.

Composição do concreto	Percentual de Absorção de água comparada ao concreto referência		
	7 dias de cura	21 dias de cura	28 dias de cura
TB5%	0%	-11%	-22%
TB10%	11%	-6%	-13%
TB20%	46%	32%	8%
TB30%	45%	12%	1%

FONTE: O autor.

Nota-se que nos traços TB5% e TB10%, a absorção de água é menor que a do concreto referência, desde os 21 dias de cura. Sabe-se que a absorção de água depende também da estrutura da borracha, isto é, se é uma borracha compacta (sólida) ou se é uma borracha celular. E, neste último caso, se é um material celular de célula aberta ou de célula fechada. Esta característica da borracha é muito importante em determinados tipos de produtos. As borrachas do tipo celular – geralmente do tipo de célula fechada, são muito utilizadas na produção de componentes para calçado (solas) e devem também apresentar um baixo nível de absorção de água (CAETANO, 2018). A este fato pode-se associar a baixa absorção de água nos concretos com utilização da borracha da indústria calçadista, para os traços TB5% e TB10%.

Já para os traços com maiores percentuais de resíduo de borracha (TB20% e TB30%), percebe-se uma tendência da absorção, aos 28 dias de cura, aproximar-se à do concreto referência.

Para análise estatística, como apresentada na Tabela 9 e Gráfico 7, identifica-se que, mesmo sendo percebidas as diferenças de absorção já expostas, não se aponta interação significativa quando se compara as composições, exceto entre TB10% e TB30% para cura de 7 dias, ($p=0,027$).

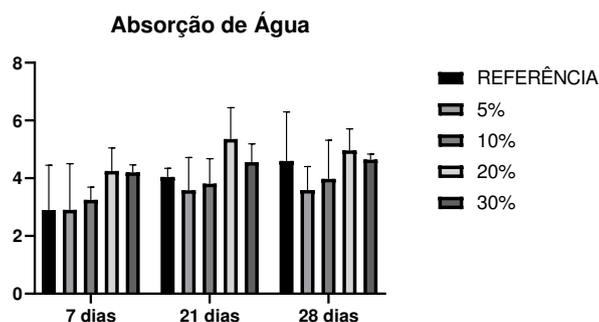
Tabela 9 – Média de absorção de água e desvio padrão.

	Referência		TB5%		TB10%		TB20%		TB30%		Valor p
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	
7 dias	2,898	1,549	2,903	1,601	6,051	0,784	4,251	0,801	3,200 ⁱ	0,261	0,931
21 dias	4,046	0,297	3,581	1,138	3,811	0,865	5,359	1,087	4,555	0,637	0,105
28 dias	4,598	1,698	3,590	0,816	3,978	1,338	4,966	0,745	3,041	0,439	0,595

DP = desvio padrão; p valor = significância. ⁱ $p < 0,05$ 10% vs. 30%.

FONTE: O autor.

Gráfico 7 – Média de absorção de água e desvio padrão.



FONTE: O autor.

Partindo para comparação dos dados com outras pesquisas, inicia-se com o trabalho de Altoé (2017), que testa borracha de pneu para pavimentos. Ele faz uso de 4 dosagens alternativas, utilizando 2% (T1), 5% (T2), 7% (T3) e 10% (T4) de borracha em substituição ao agregado miúdo. Comparando T2 e T4 aos resultados desta pesquisa em mesma composição, observa-se menor absorção de água com a utilização do resíduo do calçado, uma vez que neste trabalho encontra-se os índices 3,59 e 3,97, para 5% e 10% respectivamente, enquanto na dele tem-se 5,95 e 6,64. O traço na pesquisa de Altoé (2017) é mais fraco (1:2,6:1,35) do que o utilizado nesta pesquisa, podendo este fato ter alguma influência na diferença dos resultados, uma vez que tanto a borracha de calçados, como a de pneus, apresentam composição com baixa absorção de água.

Já Canhada et al. (2017) trabalha com Caracterização Física e Morfológica de Compósitos de Concreto com Resíduos de Borracha Vulcanizada e para absorção em suas dosagens com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo por borracha, encontram, respectivamente, 6,40 e 10,10, índices esses também superiores ao encontrados no uso de borracha de calçado.

O desempenho positivo com relação à absorção de água por parte de alguns traços de concreto com borracha, ou seja, a diminuição da absorção do líquido, sinaliza adequada aplicação em brises, uma vez que mostra que a substituição da areia por borracha não fragiliza a peça quanto à oxidação da armadura.

6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

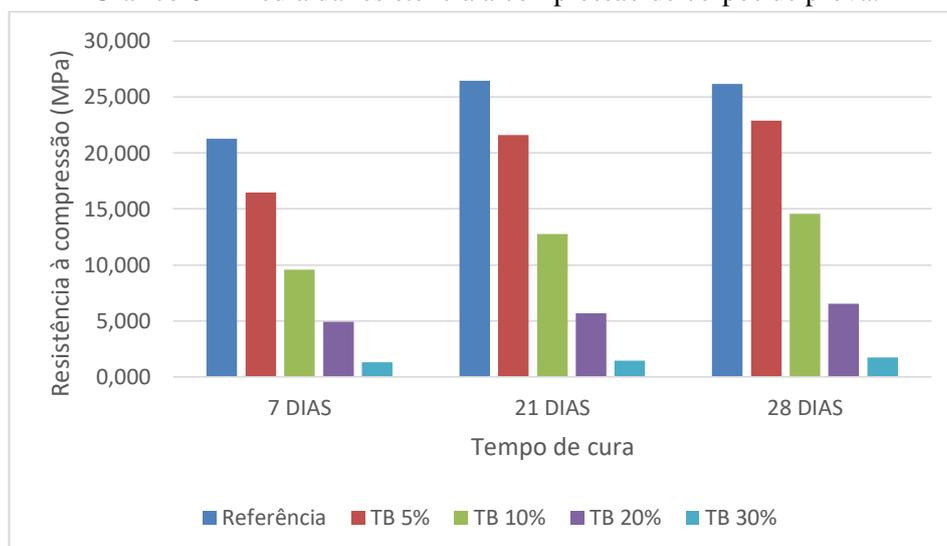
Este é o teste de maior aplicação quando se estuda o comportamento mecânico do concreto. Foram ensaiados 5 (cinco) corpos de prova para cada idade (7, 21 e 28 dias de

cura) e dosagem (referência – TR, TB5%, TB10%, TB20%, TB30%). Logo fazem parte da coleta de dados deste teste 75 corpos de prova.

Já foi citado neste trabalho que para composições estruturais, o concreto precisa resistir à 25MPa. Analisando o Gráfico 8, percebe-se que nos corpos de prova ensaiados, tem-se a confirmação da dosagem adequada para o concreto referência (sem utilização de borracha), uma vez que sua média com 28 dias de cura atinge 26MPa.

Quanto mais é adicionada borracha na composição, mais a resistência à compressão é diminuída. Chega-se a valores muito baixos em TB20% e TB30% (6,5MPa e 1,7MPa, respectivamente). Já na composição TB5%, consegue-se uma resistência (22MPa) quase compatível com o concreto referência. A dosagem TB10% chega a uma resistência (14,6MPa) em torno de 58% daquela indicada para fins estruturais (25MPa), chegando a ser quase a indicada para concreto sem fins estruturais (15MPa).

Gráfico 8 – Média da resistência à compressão de corpos de prova.



FONTE: O autor.

Na Tabela 10 é possível identificar que a perda de resistência nas dosagens TB20% e TB30% foi quase constante. Já TB5% e TB10%, o percentual de perda de resistência foi caindo com o aumento da idade de cura, ou seja, sua resistência foi aumentando.

Tabela 10 – Comparativo resistência à compressão com relação ao concreto referência.

Composição do concreto	Percentual perda de resistência comparada ao concreto referência		
	7 dias de cura	21 dias de cura	28 dias de cura
TB5%	23%	18%	12%
TB10%	55%	51%	44%
TB20%	76%	78%	75%
TB30%	94%	94%	93%

FONTE: O autor.

A partir da análise estatística, exposta na Tabela 11 e Gráfico 9, percebe-se que só não há significância nas interações entre:

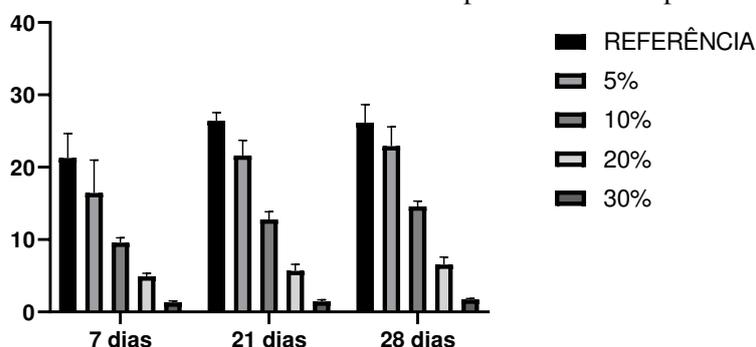
- Para cura de 7 dias – referência e TB5% (p=0,513); TB5% e TB10% (p=0,084);
- Para cura de 28 dias – referência e TB5% (p=0,360).

Tabela 11 – Média de resistência à compressão e desvio padrão.

	Referência		TB5%		TB10%		TB20%		TB30%	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
7 dias	21,267	3,367	16,460	4,521	9,597 _b	0,644	4,914 _{c,f,h}	0,435	1,312 _{d,g,i,j}	0,193
21 dias	26,433	1,121	21,607 _a	2,109	12,773 _{b,e}	1,067	5,684 _{c,f,h}	0,913	1,434 _{d,g,i,j}	0,235
28 dias	26,154	2,506	22,906	2,674	14,581 _{b,e}	0,736	6,557 _{c,f,h}	1,010	1,727 _{d,g,i,j}	0,115

FONTE: O autor.

Gráfico 9 – Média de resistência à compressão e desvio padrão.



FONTE: O autor.

Inicia-se esta discussão mostrando trabalhos que utilizam resíduo de EVA. Andrade e Medeiros (2012), que testam vários traços de concreto utilizando principalmente o resíduo de EVA, mantendo o fator água/cimento. Os autores apontam que o melhor comportamento entre os traços que utilizam apenas resíduo de borracha, para a resistência à compressão foi o que utiliza 3% de resíduo com relação a areia, atingindo 16MPa. Em mesma pesquisa, eles conseguem resistência semelhante no traço com 20% de EVA e adição de cinza volante. O traço estudado por este trabalho possibilita maior substituição do resíduo (10%) para se obter resistência semelhante à encontrada pela pesquisa comparada.

Outra trabalho importante nessa discussão é o de Viana e Melo (2008), que propõe substituição da areia pelo resíduo de EVA na produção de blocos para pavimentação intertravada, essa substituição acontecendo em volume e não em massa como proposta

por esta pesquisa. Os autores supracitados utilizam traços pó de pedra e ainda sugerem substituição deste por pó de borracha, comprovando não ser viável tal substituição, que proporciona redução significativa da resistência do concreto. Para o uso indicado por Viana e Melo (2008), a resistência à compressão para o bloco referência é 35MPa, chegando o concreto alternativo com 50% do volume do agregado miúdo substituído pelo resíduo de borracha, considerado o traço de melhor comportamento, a uma resistência de 25MPa, ou seja, com redução de 29%. Os autores dizem que com essa dosagem, para as variáveis estudadas, tem-se a menor queda de resistência à compressão com uma maior substituição da areia por resíduo de EVA moído. Como observado na apresentação dos dados desta pesquisa, a maioria do traços tem perdas maiores de resistência, no entanto destaca-se que as substituições aqui propostas acontecem em massa.

Polari Filho et al. (2006) também trabalham com substituição dos agregados em volume, mas para blocos vazados de concreto sem função estrutural. Em sua pesquisa, eles identificam que apenas um dos quatro traços estudados (com 60% de resíduo de borracha) apresenta a resistência mínima indicada para o uso que é de 2,5MPa, parâmetro bem distinto do utilizado por esta pesquisa.

Já Paula (2011) faz uso do EVA para preservar o agregado graúdo (brita) em seu estudo do comportamento do concreto com resíduo de borracha. Este autor mostra redução de quase 63%, quando utiliza 25% de resíduo em substituição da brita, uma vez que o concreto referência atinge 36MPa e o com resíduo chega a 13,5MPa. Santos et al. (2001) testam substituições de 60%, 50%, 40%, 30% e 20% de brita pelo EVA, encontrando resultados que variaram entre 7MPa e 16MPa de resistência à compressão.

Comparando-se os resultados pesquisas que utilizam borracha de pneu, inicia-se com a de Silveira et al. (2016), que usa apenas adição de 10% de borracha em diferentes traços, utilizando até composições mais fortes do que a usada neste trabalho. Para o traço 1:2:3 com 10% de borracha, eles conseguem uma resistência à compressão de 18MPa.

Um estudo mais antigo, mas de grande referência para este trabalho, foi o de Granzotto (2010). Nesta pesquisa, que também utiliza o traço 1:2:3, tem-se a resistência à compressão 26,77MPa e 27,80MPa nas classes C20 e C25, respectivamente, para os concretos referência e 17,22MPa e 16,96MPa para os concretos com adição de 10% de borracha, expressas na Tabela 12.

Percebe-se que a resistência encontrada pelos dois trabalhos anteriormente citados é maior do que a encontrada nesta pesquisa. Este fato pode estar associado à diferença de granulometria da borracha, pois Santos et al. (2004) dizem que de forma geral, ocorre

uma redução nas propriedades físicas e mecânicas do concreto ao se adicionar borracha e que esta redução depende da forma, da quantidade e do tamanho das partículas a serem adicionadas ou substituídas.

Comparando-se a dosagem com 10%, que coincide nos três trabalhos em questão, a neste atingida é em média 85% da mostrada por Granzotto (2010) e 81% da apresentada por Silveira et al. (2016).

Também foram encontrados trabalhos com resistência à compressão menores do que a desta pesquisa. Santos (2018) mostra, para mesmos traços e substituições, resistência semelhante para o concreto referência, mas bem menores para as composições com borracha, com mostra a tabela 12. Comparando-se as dosagens com 5% e 10% de borracha, que também são trabalhados nesta pesquisa, encontra-se com a borracha de calçados, resistências à compressão 40% e 27% maior, respectivamente. Santos (2018) sugere os concretos com 5% e 10% de adição de borracha para aplicação em ciclovias, calçadas para pedestres e blocos de meio fio.

Canhada et al. (2017) não indicam qual traço utiliza, mas apresenta dado bem semelhante ao desta pesquisa para dosagem com 10% de resíduo, com resistências menores para 5% de resíduo e referência (ver Tabela 12). Mesmo assim, os autores sugerem as dosagens com 10% e 15% de borracha (resistências menores do que 15 MPa) para aplicações em mobiliários.

A seguir, a Tabela 12 mostra o comparativo entre as resistências à compressão das pesquisas citadas.

Tabela 12 – Resistência à compressão (em MPa) em concretos com 28 dias de cura nas pesquisas citadas.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	Granzotto (2010) CLASSE C20	Granzotto (2010) CLASSE C25	Santos (2018)	Canhada et al. (2017)	Viana (2018)
Referência	26,77	27,80	26,35	20,5	26,15
5% de borracha	23,10	24,30	13,39	16,5	22,9
10% de borracha	17,22	16,96	10,72	14	14,6
15% de borracha	14,04	15,06	8,37	10,5	-

FONTE: Granzotto, Santos, Canhada et al, Viana, editada pelo autor.

A pesquisa de Sousa et al. (2016) aponta resistências ainda menores para a substituição da areia por borracha nas dosagens de 5% e 10% (ver Tabela 13). A dosagem com menor substituição (5%) trabalha com traço 1:1,71: 2,61, o que pode justificar a

diferença. No entanto, o concreto com 10% de borracha utiliza o traço 1:2:3 (mesmo traço proposto por esta pesquisa), encontrando valores 75% e 95% menor do que os encontrados neste trabalho, para os concretos referência e com 10% de borracha, respectivamente. Esta queda na resistência foi atribuída, pelos autores, à falta de aderência entre a superfície da borracha e matriz cimentícia.

Tabela 13 – Resistência à compressão (em MPa) na pesquisa de Sousa et al. (2016), aos 28 dias de cura.

PERCENTUAL DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
Referência	28,36
5% de borracha	14,53
PERCENTUAL DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
Referência	6,47
10% de borracha	0,77

FONTE: Sousa et al, editada pelo autor.

Em outros trabalhos que envolvem concreto com utilização de borracha, as resistências à compressão não se aproximam ao desta pesquisa (ver Tabela 14). Porém estas usam traços diferentes do utilizado neste trabalho, devido à exigência de cada aplicação estudada. Pela diferença nos traços, não foram utilizados como parâmetros para comparativo para esta pesquisa.

Tabela 14 – Comparativos da resistência à compressão de pesquisas estudadas.

PESQUISADOR /TRAÇO	DOSAGEM									
	Referência	5%	10%	12,5%	15%	20%	25%	30%	35%	50%
Selung et al (2013)/ 1:7,2:4,8	5,97	-	-	-	3,14	-	0,78	-	0,69	-
Moreira, Fidelis e Dias (2014) 1:1,4:2	12,7	-	-	11,8	-	-	10,6	-	-	9,8
Santos (2015) 1:2,5:2,6	16,81	-	-	-	11,94	-	-	6,62	-	-
Altoé (2017) 1:2,6:1,35	33,83	23,07	6,82	-	-	-	-	-	-	-

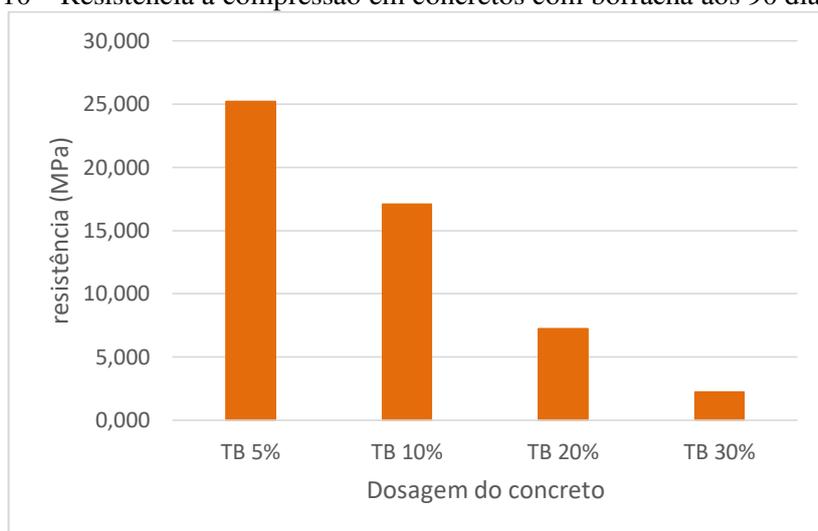
FONTE: O autor.

Foi percebido que concretos com baixas resistências à compressão foram indicados para usos diversos, mas não para o elemento proposto por este trabalho. Destaca-se novamente, a ausência de normatizações para brises, não se tendo parâmetros importantes de resistências, como tem para outros usos. No entanto, é válido sempre lembrar que brises recebem apenas a carga do peso próprio e a ação da gravidade (dependendo de como estejam apoiados) e ventos (quando instalados a partir do terceiro

pavimento, já que até dois, não se leva em consideração esse parâmetro em cálculo de estruturas).

Considerando a resistência à compressão como uma das propriedades mecânicas mais importantes do concreto, avaliou-se o ciclo completo de cura do concreto com resíduo de borracha, sendo atingidas as resistências mostradas no Gráfico 10. A dosagem TB5% atingiu a resistência de 25MPa, dado bastante significativo. O concreto TB10% chegou a 17MPa, percebendo-se que as duas dosagens têm aumento de quase 3MPa, mostrando resistências significativas. Já nas composições TB20% e TB30%, o aumento de resistência não chegou à 1MPa, mantendo-se o entendimento de perda significativa da propriedade para estes concretos.

Gráfico 10 – Resistência à compressão em concretos com borracha aos 90 dias de cura.



FONTE: O autor.

Percebeu-se, ainda, que quanto menos borracha, mais aparente era a quebra dos blocos ao serem rompidos (ver Figuras 70 e 71). À medida em que se aumentava o teor de borracha, menos se identificava a fissura do corpo de prova, mesmo a prensa indicando sua resistência atingida. Ou seja, os corpos de prova com substituição parcial de agregado miúdo (areia) por resíduo de borracha apresentaram fissuração reduzida. Possivelmente isso se deva à elasticidade adquirida pelo bloco, ao ser acrescentada borracha em sua composição.

Foi identificado também que, em alguns corpos de prova, parte da matriz de concreto apresentava-se intacta (TB 20% e TB 30%). Segundo Granzotto (2010), a borracha mantém as partes unidas do concreto, sendo necessária a aplicação de um esforço extra para dividi-los ao meio.

Figura 70 – Corpo de prova com 7 dias de cura (referência e com 5% de borracha) após ruptura em ensaio de resistência à compressão simples.



FONTE: O autor.

Figura 71 – Corpo de prova com 7 dias de cura (20% de borracha) após ruptura em ensaio de resistência à compressão simples.



FONTE: O autor.

A capacidade do concreto com borracha resistir à propagação de fissuras já é estudada. De acordo com Freitas (2007) essa maior capacidade de deformação é interessante para os materiais de reparo, pois alivia o surgimento de fissuras e melhora a durabilidade do concreto. Esse fato pode ser justificado pelo baixo módulo de elasticidade que permite na maioria das vezes que o material sofra maior deformação antes da ruptura.

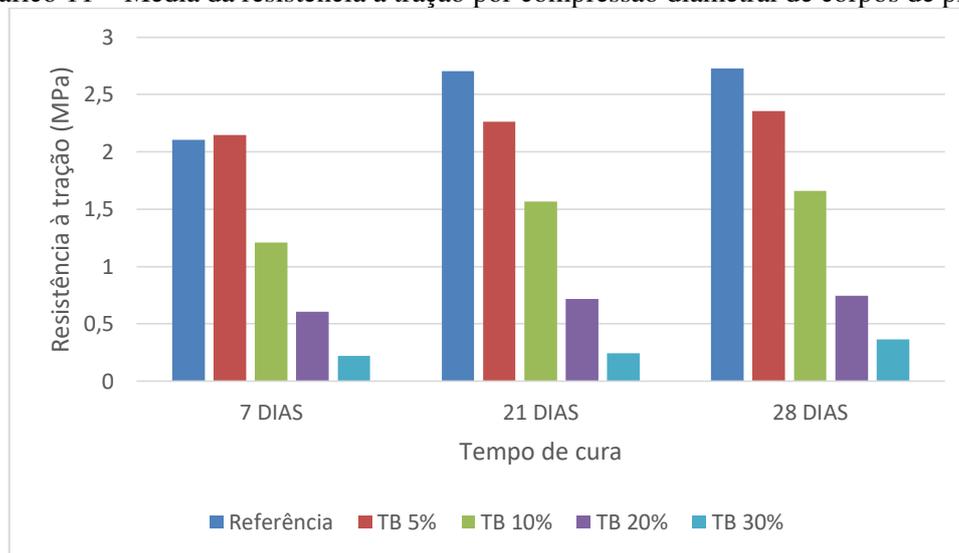
Paula (2011), que trabalhou com resíduo de EVA, também observou que a ruptura do concreto com agregado de EVA não promoveu a separação entre os grãos como ocorre no concreto convencional. O autor diz que isso acontece porque os agregados de EVA são dúcteis, e os agregados naturais são frágeis.

6.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A metodologia deste trabalho citou que para o ensaio de tração por compressão diametral, também foram ensaiados 5 (cinco) corpos de prova para cada idade e dosagem. Assim, também fazem parte da coleta de dados deste teste 75 corpos de prova.

A média desses dados está expressa no Gráfico 11, onde observa-se que a perda de resistência à tração com a utilização de borracha também se apresentou. Porém, na composição TB5% se alcançou resistência semelhante ao concreto referência. Aos 28 dias de cura, o TB10% atingiu dado superior a 60% do alcançado pelo referência, o que é considerado positivo. Já para os traços TB20% e TB30%, a perda de resistência é significativa (ver Tabela 15). Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência do concreto à tração varia entre 8 e 15 % da resistência à compressão. Assim, estima-se uma resistência à compressão ideal de 25MPa para fins estruturais, a resistência à tração para esta condição deve estar entre 2 e 3,75, o que confere com o valor encontrado em ensaio.

Gráfico 11 – Média da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova.



FONTE: O autor.

Tabela 15 – Comparativo da resistência à tração com relação ao concreto referência.

Composição do concreto	Percentual perda de resistência comparada ao concreto referência		
	7 dias de cura	21 dias de cura	28 dias de cura
TB5%	-1%	16%	13%
TB10%	43%	42%	39%
TB20%	71%	73%	72%
TB30%	89%	91%	86%

FONTE: O autor.

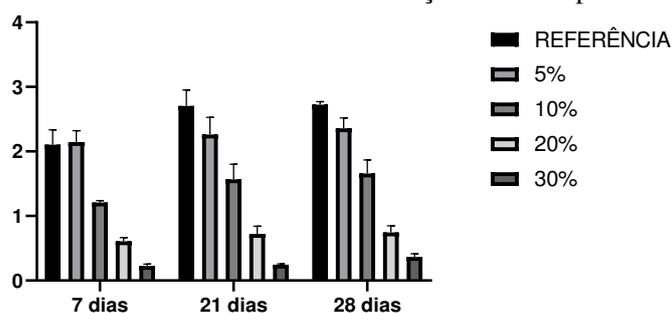
Na Tabela 16 e no Gráfico 12 é identificada a análise estatística, quando se compara as composições do concreto.

Tabela 16 – Média de resistência à tração e desvio padrão.

	Referência		TB5%		TB10%		TB20%		TB30%	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
7 dias	2,104	0,231	2,146	0,174	1,209 _{b,e}	0,028	0,608 _{c,f,h}	0,057	0,223 _{d,gi,j}	0,031
21 dias	2,704	0,248	2,262	0,266	1,567 _{b,e}	0,236	0,720 _{c,f,h}	0,123	0,244 _{d,gi,j}	0,014
28 dias	2,726	0,047	2,358 _a	0,162	1,658 _{b,e}	0,211	0,745 _{c,f,h}	0,104	0,365 _{d,gi,j}	0,049

FONTE: O autor.

Gráfico 12 – Média de resistência à tração e desvio padrão.



FONTE: O autor.

Através da análise estatística, não há significância apenas nas médias entre:

- Para cura de 7 dias – referência e TB5% (p=0,997);
- Para cura de 21 dias – referência e TB5% (p=0,308).

Quando se compara os dados com outras pesquisas, inicia-se com o trabalho de Paula (2011), que utiliza EVA em substituição da brita. O autor encontra resistência à tração para o concreto referência (2,8MPa) semelhante ao encontrado nesta pesquisa (2,7MPa). Na pesquisa comparada é informado ainda que para 25% (em volume) de EVA, encontra-se resistência de 2,0MPa, equivalente à encontrada nesta pesquisa para TB5% (2,3MPa). Já para 50% (em volume) de EVA, Paula (2011) mostra resistência de 1,4MPa, equiparada então ao TB10% desta pesquisa (1,6MPa). Ainda é observada equivalência entre as resistências apontadas pela pesquisa citada quando usa 75% de EVA (0,8MPa) e o TB20% deste trabalho (0,75MPa).

Já na comparação dos dados com pesquisas utilizando borracha de pneu, inicia-se mostrando os trabalhos de Santos (2018) e Granzotto (2010), que encontram resistências à tração bem próximas às encontradas por esta pesquisa, como comparado na Tabela 17. O concreto referência nas três pesquisas possui resistência quase na mesma intensidade.

Já para a condição de 5% de utilização de borracha, a resistência é exatamente igual para esta pesquisa e Santos (2018), sendo um pouco maior, para Granzotto (2010). Para 10% de resíduo, consegue-se neste trabalho um valor quase 83% daquela encontrada por Santos (2018) e Granzotto (2010) na classe 20.

Tabela 17 – Resistência à tração por compressão diametral (em MPa) nas três pesquisas citadas, aos 28 dias de cura.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	Santos (2018)	Viana (2018)	Granzotto (2010) CLASSE C20	Granzotto (2010) CLASSE C25
Referência	2,77	2,72	2,60	2,76
5% de borracha	2,35	2,35	2,39	2,51
10% de borracha	2,00	1,65	2,04	2,25
15% de borracha	1,50	-	1,75	1,90

FONTE: Santos, Granzotto e Viana, editada pelo autor.

Importante perceber que mesmo as duas pesquisas estudadas tendo trabalhado nas mesmas condições de traços e percentuais de utilização de resíduo, Santos (2018) tem resistência a compressão menor e resistência à tração maior se comparado a este trabalho. Já Granzotto (2010) tem os resultados das duas resistências maiores do que às atingidas neste trabalho. No entanto, as resistências à tração são aproximadas nos três casos.

Sousa et al. (2016) trazem números muito baixos para resistência à compressão, mas dados mais próximos aos encontrados com a borracha de calçados, pesquisada neste trabalho, quanto à tração por compressão diametral. Para 10% de borracha, condição igual a testada aqui, tem-se uma diferença de 25% e 81% (referência e TB10%, respectivamente) entre os dados, conforme apresentado na Tabela 18, que compara os dados de tração por compressão diametral das duas pesquisas em questão, onde identifica-se os valores maiores com relação a esse parâmetro para esta pesquisa.

Tabela 18 – Resistência à tração por compressão diametral (em MPa) em duas pesquisas aos 28 dias de cura.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	Sousa et al (2016)	Viana (2018)
Referência	2,05	2,72
10% de borracha	0,30	1,65

FONTE: O autor.

Quanto ao rompimento dos corpos de prova, o mesmo fato da quebra apenas para pequenos percentuais de utilização de borracha, que aconteceu para o teste de resistência à compressão, aconteceu no ensaio de resistência à tração. A medida em que aumentava-se o teor de borracha, menos era percebida visualmente a quebra do corpo de prova. Ou seja, nas composições TB5% e TB10% de borracha, as fissuras já se mostravam mais

discretas do que no concreto referência (Figura 72), ao passo que nas composições com 20% e 30% de borracha, não havia fissura aparente (Figura 73), como as percebidas nos outros traços estudados, mostrando-se o corpo de prova aparentemente intacto.

Figura 72 – Corpo de prova com 7 dias de cura, após ruptura em ensaio de resistência à tração por compressão diametral – a) e b) TR; c) TB5%).



FONTE: O autor.

Figura 73 – Corpo de prova com 7 dias de cura (20% e 30%) após ruptura em ensaio de resistência à tração por compressão diametral – sem percepção de fissuras.

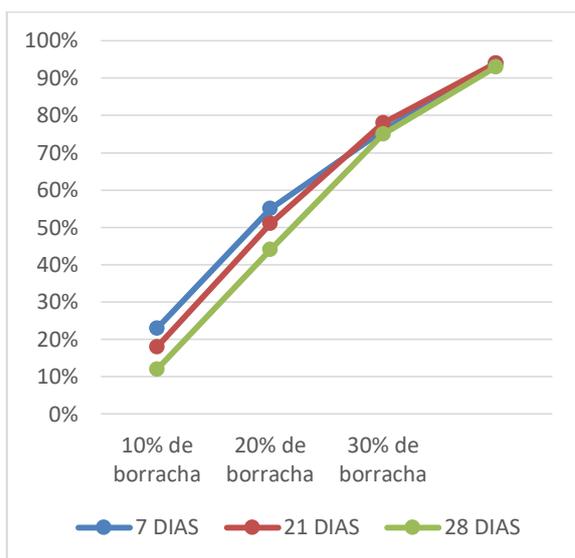


FONTE: O autor.

6.6 RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO

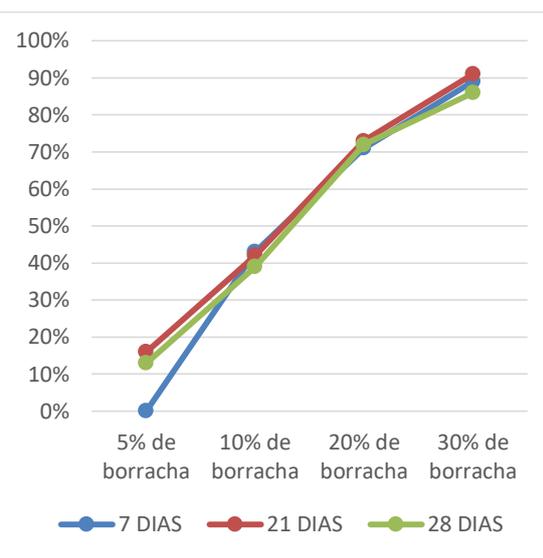
Comparando-se a redução de resistência à compressão, com a redução de resistência à tração (ver Gráficos 13 e 14), nota-se que a borracha evita maior perda de resistência à tração. Para 28 dias de cura, apenas na TB5%, a mais próxima do concreto referência, tem-se a redução de resistência à compressão (12%) menor que a redução à tração (13%). Mesmo assim, os resultados são bem próximos. Em todas as outras dosagens (TB10%, TB20% e TB30%), a redução de resistência à tração é menor do que a redução à compressão.

Gráfico 13 – Redução da resistência à compressão comparado ao concreto referência.



FONTE: O autor.

Gráfico 14 – Redução da resistência à tração comparado ao concreto referência.



FONTE: O autor.

É possível, ainda, encontrar quantas vezes a resistência à compressão é maior do que a resistência à tração, conforme mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 – Coeficiente de relação entre resistência à compressão e tração.

Composição do concreto alternativo	QUANTAS VEZES A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO É MAIOR DO QUE À TRAÇÃO		
	7 dias	21 dias	28 dias
Referência	9,91	9,77	9,59
TB5%	7,66	9,55	9,71
TB10%	7,93	8,15	8,79
TB20%	8,07	7,89	8,80
TB30%	5,87	5,86	4,72

FONTE: O autor.

Ao observar os coeficientes, para o concreto referência e TB5%, tem-se o coeficiente de aproximadamente 9. Ao adicionar mais borracha, esse coeficiente vai diminuindo, o que confirma a melhor trabalhabilidade do concreto com borracha para tração, do que para compressão, podendo-se destacar a dosagem TB30%, onde se tem os menores coeficientes.

Huang et al. (2004) apud Silveira et al. (2016) explicaram que a queda da resistência ocorre devido à natureza hidrofóbica da borracha e da incompatibilidade entre as propriedades químicas da pasta de cimento e da borracha, tornando fraco o vínculo com o cimento. Desta forma, por ser mais leve do que a argamassa e agregados, as partículas de borracha agem como furos dentro do concreto, o que causa concentração de tensões, reduzindo significativamente a resistência. No entanto, a perda da resistência pode ser compensada pelo efeito “benéfico” das propriedades visco elástico da borracha.

Ou seja, o concreto se torna mais dúctil e com melhor capacidade de absorção de energia de impacto do que o concreto convencional (EIRAS et al, 2014 apud SILVEIRA et al, 2016).

6.7 ESCOLHA DA DOSAGEM PARA SEGUNDA ETAPA DA PESQUISA

Diante de todas as análises, foi possível já descartar as dosagens TB20% e TB30%, mesmo com diminuição considerável da massa específica, mas as propriedades mecânicas e de porosidade ficam comprometidas. Percebe-se que a composição TB5% consegue atingir maiores resistências, chegando aos 25MPa aos 90 dias de cura. No entanto, esta pesquisa busca despertar que para o uso aqui proposto não é necessário se ter um material de alta resistência. Assim, o TB10% atinge resistências suficientes para aplicações variadas e possibilita menor massa específica do que o primeiro concreto com resíduo de borracha. Como tanto TB5% como TB10% tem comportamento positivo quanto à absorção de água, opta-se por escolher a dosagem TB10% para dar continuidade à pesquisa, realizando-se a segunda etapa desta.

É importante destacar que o valor (preço) do brise com resíduo de borracha não apresenta diferença substancial quando comparado ao concreto referência. Ou seja, a redução de areia em 10% não gera uma economia significativa quando se trata da produção de uma peça isolada, conforme é mostrado pela Tabela 20, que indica o custo de cada material, bem como o total para execução de cada brise. Entende-se que, mesmo não sendo levados em consideração fatores indiretos nesse custo da Tabela 20, como energia para beneficiar a borracha, transporte dos materiais, mão de obra, entre outros, é válida a discussão. Ressalta-se que não foi incluso valor da borracha, considerando que o material é conseguido sem custo ao ser considerado resíduo, destinando-se a ser depositado em aterros sanitários.

Tabela 20 – Custo para execução de cada brise.

Materiais	Referência	10% borracha
Cimento (12,32kg)	R\$28,00	R\$28,00
Areia (24,64/22,176kg)	R\$0,92	R\$0,83
Brita (36,96kg)	R\$1,20	R\$1,20
Borracha (2,464kg)	-	-
Armadura (10,3m de 6mm)	R\$20,00	R\$20,00
TOTAL	R\$50,12	R\$50,03

FONTE: O autor.

No entanto, destaca-se que a aplicação de brises acontece geralmente em grande quantidade em uma mesma edificação e, principalmente, que é foco deste trabalho a sustentabilidade, visando a redução de uso de agregado natural, encontrando aplicação para um resíduo que não tem mais utilidade e é de difícil decomposição.

É válido ainda comentar novamente sobre a diminuição dos esforços na estrutura da edificação, quando se diminui o peso de cada brise. Já foi avaliado pelos corpos de prova, a massa específica do concreto proposto. Para TB10%, o concreto apresentou diminuição de 16% do peso com relação ao referencial, aos 7 dias de cura. Na peça em dimensão real, tem-se uma média de peso de 73kg. Já nos brises TB10%, o peso médio foi de 62kg. Assim, foi encontrada uma diminuição de 15% da massa específica, confirmando o estudo feito com os corpos de prova e apontado economia para a edificação.

6.8 PIGMENTAÇÃO DOS MODELOS REDUZIDOS

Como mencionado na metodologia, foram produzidos brises em escala reduzida, com várias combinações de cores entre pigmentos e borracha. Foi percebido que a cor da borracha não influencia no resultado esperado para coloração do concreto.

A cor formada pela junção das pigmentações também obteve sucesso, o que confirma o apontado pelos fabricantes sobre as possibilidades de cores a partir da composições entre os pigmentos disponíveis.

Não foram testadas as cores da paleta clara, uma vez que foi utilizado em todas as fases da pesquisa, o cimento CP-II Z (cimento portland com adição de material pozolânico) cinza. Vale destacar que o CimentoMauá (2017) diz que o concreto colorido é uma tendência que vem ganhando as construções brasileiras garantindo resultados incríveis para os projetos arquitetônicos e orienta que para formar o concreto colorido, os cimentos mais indicados são o ARI e o Pozolânico. Segundo AECWEB (2018) as principais vantagens na utilização dos Cimentos Portland de alto-forno (CP III) e pozolânico (CP IV) estão ligadas à maior estabilidade, durabilidade e impermeabilidade que conferem ao concreto; ao menor calor de hidratação; à maior resistência ao ataque por sulfatos; à maior resistência à compressão em idades mais avançadas; e à maior resistência à tração e à flexão. Portanto, são recomendáveis em obras de concreto-massa,

como barragens e peças de grandes dimensões, fundações de máquinas e pilares; obras em contato com ambientes agressivos por sulfatos e terrenos salinos; tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos ou efluentes industriais; concretos com agregados reativos, pois esses cimentos concorrem para minimizar os efeitos expansivos da reação álcali-agregado; pilares de pontes ou obras submersas em contato com águas correntes puras; obras em zonas costeiras ou em água do mar; pavimentação de estradas e pistas de aeroportos etc.

Logo, para o uso em brises, não foi vista a necessidade de usar o CP IV, mas definiu-se o CP II – Z, que a partir da inclusão do material pozolânico, confere melhorias nas propriedades do concreto, bem como para na sua pigmentação.

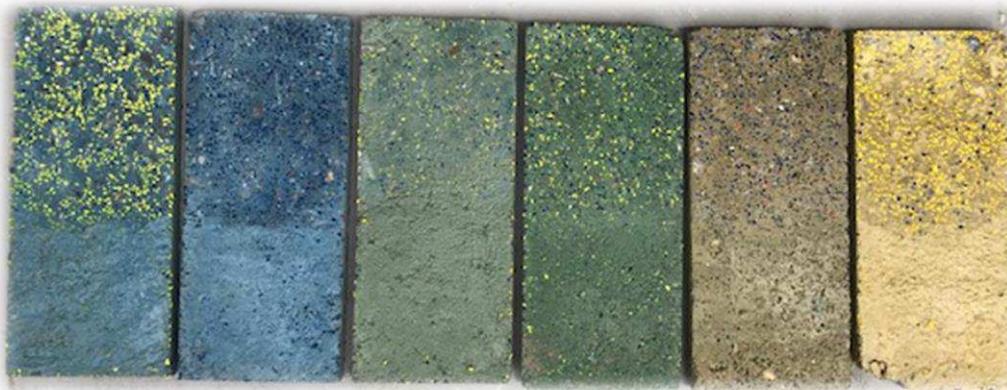
Importante destacar que o cimento branco tem um custo maior, mas não impede sua utilização para o uso aqui proposto. Tratando-se de valores, a Tecnomor (2018) ressalta que a adição de pigmento aumenta o custo do concreto, mas seu uso otimiza várias etapas, como de revestimento, acabamento e manutenção. Dentre as vantagens estão a substituição da pintura, maior durabilidade da cor sem desbotamento, a não necessidade de revestimento – reduzindo a necessidade de manutenção, maior resistência a poluição e outras ações do clima em comparação a tintas ou pastilhas, variedade de cores, além de estética diferenciada. Quando se propõe a pigmentação do concreto para aplicação no brise, tem-se economia no valor, uma vez que é utilizado, em média, 750g do pigmento em cada brise, gerando-se um custo adicional de R\$21,00. Para revestimento da peça com pastilhas, necessita-se de 1,09m² do revestimento, além dos outros materiais, da mão de obra e do tempo de execução, o que totalizaria em um maior custo. É válido apontar ainda que o uso da pastilha adiciona peso ao elemento.

A Aecweb (2018) menciona ainda que a característica dos pigmentos à base de óxido de ferro é a alta resistência à luz e a intempéries. Não havendo desgaste com o tempo, esse efeito é permanente e, por essa razão, o custo da manutenção é extremamente baixo. Especialmente se comparado a outros revestimentos, como as fachadas pintadas, que devem ser renovadas periodicamente, o que confirma o custo-benefício mencionado anteriormente. É recomendado apenas a aplicação de uma proteção mecânica, podendo ser verniz ou acrílico, que não reaja com o cimento e nem com o pigmento. Por isso, foi aplicado o material indicado, que também não interferiu no efeito das cores previstas.

Tratando-se de acabamento final, antes da aplicação do verniz, é indicado pelos fabricantes um polimento, como opcional para regularização da superfície. Mesmo não sendo uma etapa obrigatória, foi feito o polimento, na tentativa de deixar a borracha

aparente na superfície. Este feito possibilita uma maior quantidade de composições estéticas da peça, uma vez que, dependendo da cor da borracha e pigmentações do concretos utilizadas, tem-se texturas diferentes nos brises, conforme percebido na Figura 74.

Figura 74 – Brises pigmentados – parte superior polida, parte inferior bruta.



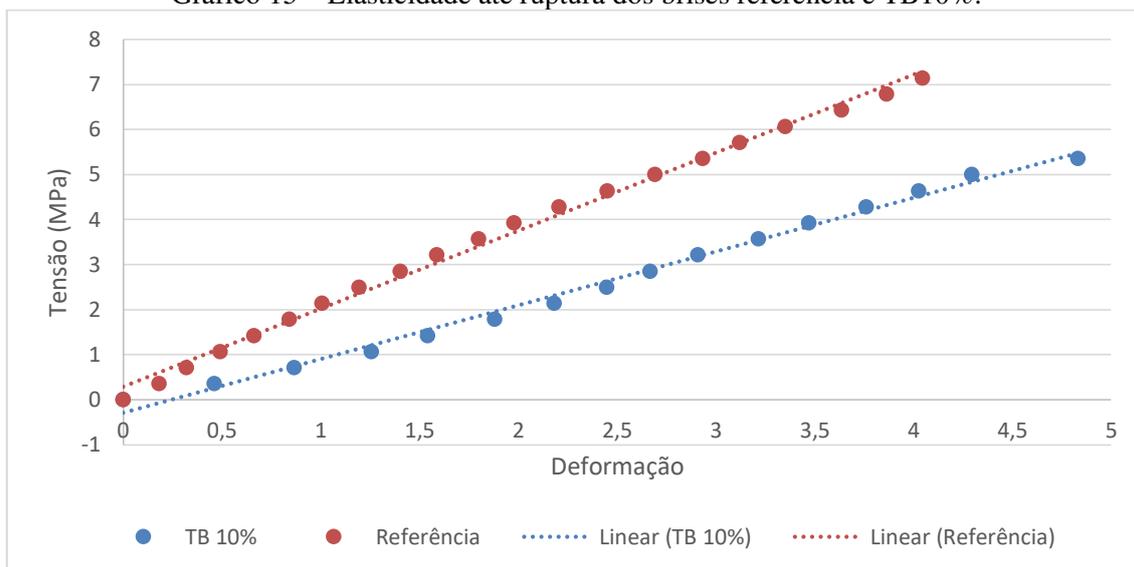
FONTE: O autor.

6.9 AVALIAÇÃO DA COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO EM PROTÓTIPOS DO BRISE

Foi observado no ensaio de compressão, que as peças suportam cargas elevadas, seja ela composta por concreto referência, seja com concreto com resíduo de borracha. No Gráfico 15, com dados de “tensão X deformação” dos brises testados, é possível perceber que a deformação pode ser considerada linear para os dois materiais testados. Foram inseridas linhas de tendência, que representam a linha do módulo de elasticidade dos brises. O Gráfico apresenta apenas a condição elástica dos brises, uma vez que a leitura era interrompida no momento de ruptura das peças.

Nos elementos em concreto referência, a maioria das peças rompeu quando submetidas a uma carga de 220kN, ou seja, resistindo a uma tensão próxima de 7,71MPa, sendo possível perceber fissuras bem aparentes. Já nos brises com 10% de resíduo de borracha, as peças indicaram rompimento à tensão de 5,75MPa (carga de 160kN). Logo, com esses dados identifica-se redução de 24% da resistência nos brises com borracha. No entanto, a resistência do elemento TB10% ainda é relevante e possivelmente superior à necessária para brise, podendo até o peso próprio ser considerado desprezível.

Gráfico 15 – Elasticidade até ruptura dos brises referência e TB10%.



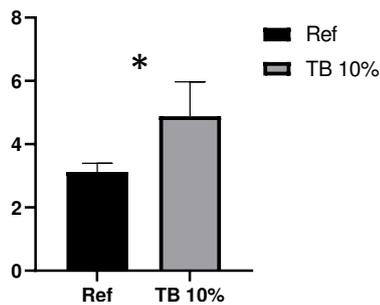
FONTE: O autor.

Ressalta-se que as peças tiveram cura de 7 dias, sendo a resistência aumentada substancialmente com o aumento da cura, como mostrado pelos ensaios de resistência em corpos de prova, onde foi indicado aumento de 19% e 28% da resistência à compressão aos 28 dias de cura para TR e TB10%, respectivamente, quando relacionados ao corpos de prova com 7 dias de cura. Já para resistência à tração, tem-se aumento de 23% (TR) e 27% (TB10%) para a mesma relação. Estima-se, assim, para 28 dias de cura resistência à compressão entre 9,2MPa para TR e 7,26MPa para TB20%. Para o concreto referência tem-se módulo de elasticidade 1,8, sendo 35% maior do que o encontrado para o TB10% (1,17).

Quanto à deflexão em análise numérica, tem-se uma média de 4,18mm de flecha até o rompimento para o brise referência, sendo este menor que o concreto com borracha, também na condição de ruptura, que foi de 4,88mm. No entanto, é importante também comparar o deslocamento acontecido para a mesma tensão aplicada. Assim, para 5,75MPa (tensão máxima do TB10%), tem-se 3,18mm de flecha para o brise referência, dado este 24% menor que a flecha final deste elemento.

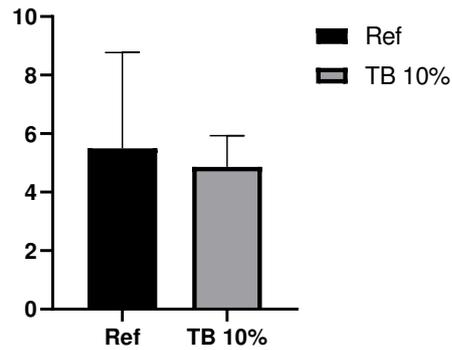
Quanto à análise estatística desta condição, foram comparadas as médias das deflexões entre as peças com concreto referência e com borracha em dois momentos: suportando mesma tensão (Gráfico 16) e no momento de fissura, ou seja, na tensão máxima suportada por cada peça (Gráfico 17). Observa-se que para uma mesma tensão o brise TB10% tem deflexão maior e significativa, com relação ao concreto referência. Para o momento da carga crítica de flambagem, onde a peça TR suporta tensão maior, eles têm deflexões semelhantes.

Gráfico 16 – Deflexão em mesma tensão (* p < 0,01.).



FONTE: O autor.

Gráfico 17 – Deflexão no momento de fissura (tensão máxima suportada).



FONTE: O autor.

Através da relação permitida entre os dados de resistência à compressão e módulo de elasticidade, como mostrado na fundamentação teórica deste trabalho, foi possível estimar o módulo de elasticidade (ver Tabela 21), sem execução dos ensaios, para serem usados como referência para discussão dos resultados obtidos pelo ensaio de tração na flexão.

Tabela 21 – Módulo de elasticidade utilizando relação com resistência à compressão.

COMPOSIÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE INICIAL (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE SECANTE (MPa)
Referência	28.638,878	24.343,046
TB 5%	26.801,450	22.781,232
TB 10%	21.383,837	18.176,261
TB 20%	14.340,175	12.189,148
TB 30%	7.360,247	6.256,210

FONTE: O autor.

Importante destacar que as peças utilizadas no ensaio já estão armadas, o que não acontece com os corpos de prova utilizados para teste de resistência à compressão, que gerou os dados indiretos mostrados na Tabela 21. A flexão é um dado importante quando se trata de brises de concreto, um vez que a peça aplicada verticalmente, precisa que se evite fletir. No entanto, é fundamental lembrar que como o concreto simples não resiste tão bem à tração como resiste à compressão, usa-se o concreto armado, que se utiliza da armadura para dar maior rigidez à peça. Assim, em um elemento como o brise, grande parte do domínio da estabilidade quanto à flexão é de responsabilidade da armadura. Possivelmente, a diferença nos valores dos módulos encontrados em ensaio e de forma indireta, deva-se também à armação inserida nos brises.

Percebe-se que a borracha por ser mais flexível, deixa o brise com inserção de resíduo também flexível. Logo, pode ser favorável a inclusão da borracha no elemento,

conferindo elasticidade à mesma, uma vez que a fissura não é percebida no rompimento deste elemento, sendo necessário um esforço maior para que sejam visíveis as quebras, comportamento diferente do concreto referência, que apresenta grandes fissuras ao romper (ver Figura 75).

Figura 75 – Fissuras no brise com concreto referência.



FONTE: O autor.

Já para o ensaio de tração na flexão, que foi feito com o objetivo de complementar as informações, as duas peças ensaiadas para cada composição tiveram comportamento semelhante, como identificado na Tabela 22.

Tabela 22 – Carga de ruptura no ensaio de resistência à tração na flexão.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	BRISE ESCALA REAL Resistência (kgf)	BRISE ESCALA REDUZIDA Resistência (kgf)
Referência 1	1890	190
Referência 2	1900	200
TB10% 1	1620	140
TB10% 2	1640	145

FONTE: O autor.

Nota-se que, tratando-se da relação numérica entre a resistência dos brises em diferentes escalas, tem-se a resistência do concreto referência sendo próxima de 10% da resistência atingida pelas peças em escala real. Já para o elemento com resíduo de borracha, essa relação não chega a 9%, não sendo adequado fazer um paralelo exato do comportamento entre as escalas, podendo ser definida apenas uma margem de aproximação.

Calculando a tensão para as peças ensaiadas, tem-se:

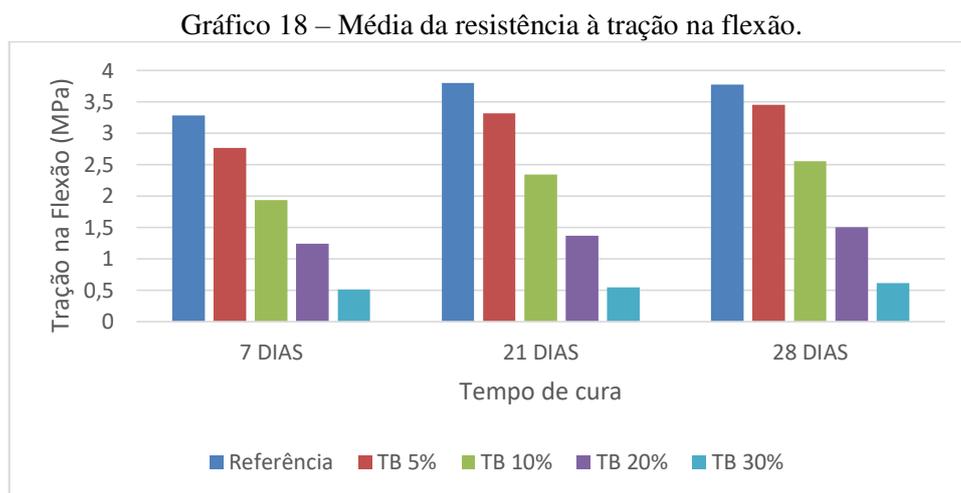
Tabela 23 – Resistência à tração na flexão.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	BRISE ESCALA REAL
Referência 432	3,89
TB10% 558	3,35

FONTE: O autor.

Por meio também da relação permitida entre os dados de resistência à compressão e tração direta e desta com tração na flexão, foi possível estimar a resistência à tração da

flexão (ver Gráfico 18), sem a execução dos ensaios, dados estes encontrados para referência na discussão quanto a esta característica.



FONTE: O autor.

Aos 7 dias de cura, estimou-se tensão de 3,28 para o concreto referência, assim como 1,93 para o TB10%, sendo estes valores correspondentes à 84% e 57% dos valores encontrados na realização do ensaio. No entanto, a correspondência encontra valor mais aproximado ao do ensaio para o concreto referência do que para o TB10%. Isto pode confirmar que a utilização de borracha torna o material mais dúctil, uma vez que a correspondência dos dados se faz por meio da resistência à compressão, discussão esta já apontada no subtópico de resistência a tração por compressão diametral.

Andrade e Medeiros (2012), que trabalham com reaproveitamento de rejeitos de EVA para produção de placas utilizáveis na construção civil, fazem ensaios de flexão em três das amostras que atingiram uma média de 0,17 MPa, e em outras amostras que obtiveram uma média de 0,21 MPa. No entanto, como o uso e o corpo de prova utilizado não se assemelha aos utilizados por esta pesquisa, os dados não foram considerados como referência.

Silveira et al. (2016) que trabalham com o mesmo traço que esta pesquisa, mas com borracha de pneu, mostram resistência à flexão semelhante à encontrada nesta pesquisa de forma indireta, como expresso na Tabela 24, mas ainda abaixo da encontrada nesta por ensaio.

Tabela 24 – Dados de resistência à tração na flexão em duas pesquisas.

COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	Silveira et al (2016) (cura 28 dias)	Viana (2018) Indireto – cura 28 dias	Viana (2018) Ensaio – cura 7 dias
10% de borracha	2,68	2,55	3,35

FONTE: Silveira et al, Viana, editado pelo autor.

É importante citar que a armação em aço pode ter sido a responsável pelo aumento considerável da resistência à tração encontrada no ensaio, uma vez que o corpo de prova utilizado por Silveira et al. (2016) tem as dimensões padrão indicado por norma, ou seja, 15cm de espessura, enquanto o brise testado tem apenas 7cm de espessura.

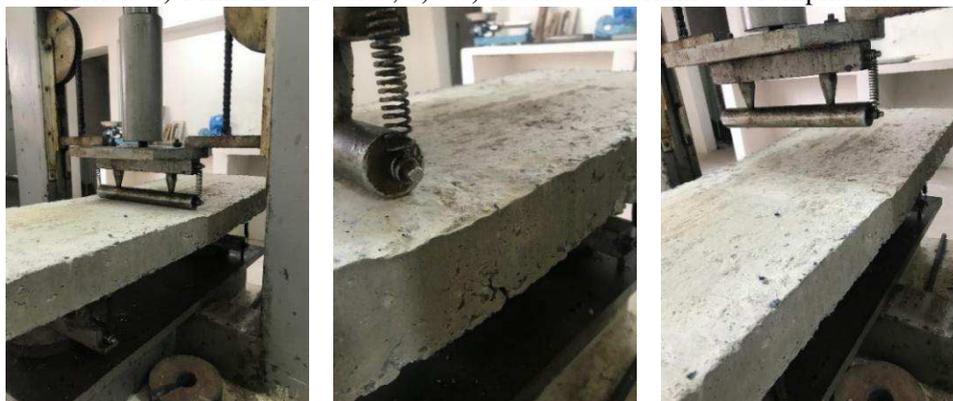
Foi possível identificar, ainda, para os brises em escala real, que o concreto referência mostra primeira fissura quando submetida a um esforço em torno de 1000kgf. Já para os brises TB10% as primeiras fissuras apareceram quando já se aplicava carga próxima de 1500kgf, ou seja, já próximas ao rompimento. As fissuras são bem mais evidentes nos elementos sem borracha, conforme Figuras 76, 77 e 78, o que confirma o comportamento elástico do concreto com borracha, característica positiva para aplicação em brise, uma vez que possibilita a peça uma deformação e retorno ao estado normal, sem danos.

Figura 76 – Fissuras do brise com concreto referência em escala real, no ensaio de tração na flexão. a) Primeiras fissuras; b) e c) fissuras ao término do rompimento.



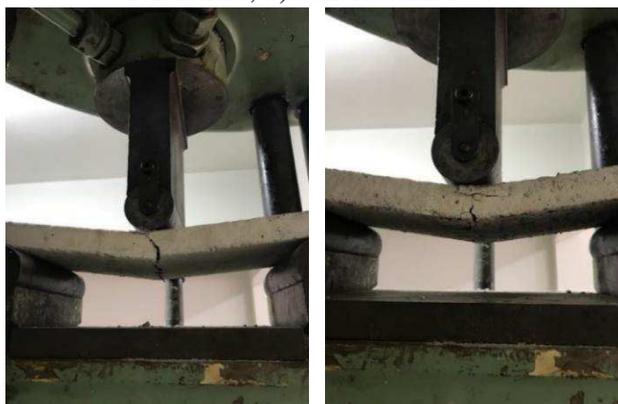
FONTE: O autor.

Figura 77 – Fissuras do brise com concreto TB10% em escala real, no ensaio de tração na flexão. a) Primeiras fissuras; b) e c) fissuras ao término do rompimento.



FONTE: O autor.

Figura 78 – Fissuras do brise em escala reduzida no ensaio de tração na flexão. a) Concreto referência; b) concreto TB10%.



FONTE: O autor.

Com relação às fissuras, Rocha et al. (2013), que como já citado trabalham com resíduo de EVA, perceberam que durante os ensaios realizados as paredes mantinham sua capacidade resistente, chegando a suportar quase o dobro da carga imposta desde o momento do surgimento da primeira fissura. Melo e Lima Filho (2009) também apontam desempenho adequado das paredes com blocos vazados de concreto com EVA, ante os choques decorrentes de impactos de corpo duro de pequena e grande dimensão, considerando-se os registros de mossas muitos superficiais.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Após análise dos resultados desta pesquisa, pode-se concluir que:

- Pela versatilidade de formas, composições estéticas e de propriedades, o brise produzido com resíduo de borracha de calçado apresentou grande potencial de utilização na construção civil;
- Os materiais distribuídos homogeneamente no corpo de prova, bem como a interação entre eles confirmaram desempenho adequado do concreto para TR, TB5% e TB10%, identificando-se predominância significativa do resíduo de borracha nos traços TB20% e TB30%, possibilitando redução do desempenho destas composições;
- O maior fator água/cimento utilizado para TB20% e TB30% viabilizou a trabalhabilidade de concreto, no entanto possibilitou maior número de vazios no concreto endurecido, o que prejudicou suas propriedades mecânicas;
- Além da viabilidade sustentável do produto aqui proposto, considera-se um fator positivo a redução da massa do elemento, que alivia os esforços na estrutura da edificação, gerando mais economia à construção;
- O concreto com grandes percentuais (20% e 30%) de borracha apresenta grandes vazios no corpo de prova após desmolde e cura, além de indicarem grande absorção de água, o que inviabiliza a utilização deste material para concreto armado, uma vez que prejudica sua armadura;
- Para os traços com 5% e 10% de borracha, o resíduo atribuiu ao concreto características de menor absorção de água, pois é possível perceber, a partir de 21 dias de cura, estabilidade deste fator, além de números menores até se comparados ao referência;
- O concreto com resíduo de borracha de calçados quando comparada ao referência, obteve uma melhor resposta para a resistência à tração, do que para a resistência à compressão;
- Quanto maior o volume de borracha aplicado, mais difícil de se gerar fissuras no concreto, dificultando sua quebra nos teste de resistência à compressão e à tração;
- O comportamento do protótipo quanto a resistência à compressão e flexão encontrado, aliado à melhor resistência à tração do concreto quando adicionado

borracha, além do fato da borracha unir os elementos e dificultar fissuras, são fatores positivos para aplicação do concreto alternativo como brise;

- A pigmentação do concreto evita custos maiores com revestimento e manutenção do elemento, dando ainda maior autenticidade ao produto quando se tem a percepção do resíduo da borracha na peça.

CAPÍTULO 8

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugeridos os seguintes pontos para pesquisas futuras:

- Avaliação do comportamento térmico e acústico do brise com borracha, uma vez que o resíduo é um material isolante, sendo característica positiva frente à função do brise, além de avaliação com relação ao fogo, por ser a borracha um material inflamável, bem como da possibilidade de utilização de materiais isolantes;
- Simulação computacional dos brises aplicados, para avaliação de diversos comportamentos;
- Estudo da armadura utilizada no brise de concreto;
- Desenvolvimento de diretrizes para norma de execução de brise de concreto, uma vez que ele não faz parte da estrutura e é tratado como tal.

CAPÍTULO 9

DIFICULDADE ENONTRADA

- A falta de normatização e estudos sobre o cálculo de brises, dificulta o projeto do elemento em vários parâmetros, principalmente quanto à sua armadura, que parece ser utilizada, na prática das obras, de forma superdimensionada, possivelmente sendo possível sua troca por malhas prontas e de seção mais delgada.

REFERÊNCIAS

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro. 1991.

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

_____. NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

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

_____. NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.

_____. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

_____. NBR 9935 – Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro. 2011.

_____. NBR 3310 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro. 2010.

_____. NBR 12142 – Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro. 2010.

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

_____. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro. 1998.

AECWEB. **Concreto pigmentado garante resistência a intempéries e baixa manutenção**. 2018. Disponível em: https://aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-pigmentado-garante-resistencia-a-intemperies-e-baixa-manutencao_10405_0_. Acesso em: 20 de Dezembro de 2018.

ALBUQUERQUE, A. C. de; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M. A. S. de; BITTENCOURT, R. M. **Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo**. CITENEL - III Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Florianópolis, 2005.

ALTOÉ, S. P. S. **Avaliação da resistência mecânica de *pavers* fabricados com resíduos de pneus em substituição parcial do agregado miúdo**. Revista *Synergismus scyentifica* UTFPR, Pato Branco, v. 12, n. 1, p. 262–268, 2017.

ANDRADE, L. A. S.; MEDEIROS, R. **Reaproveitamento de Rejeitos de E.V.A. para a Produção de Placas Utilizáveis na Construção Civil.** Revista Científica Indexada Linkania Master, n 03, 2012.

ANDRADE, L. L de; MELO, C. E. L de. **Histórico do concreto em Brasília: Uma visão sobre a estrutura de obras em concreto armado na Capital.** Revista Vitruvius, 2013. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4913>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

BAKER, G. **Le Corbusier – uma análise da forma.** São Paulo: Martins Fontes, 1998.

BARBOSA, V. **Na FIEP Alpargatas comemora 25 anos em Campina Grande.** 2010. Disponível em: <http://www.fiepb.com.br/noticias/2010/06/17>. Acessado em: 10 de maio de 2018.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland.** São Paulo, nov. 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em: 15 de Maio de 2015.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural.** Dissertação de Mestrado, UFPB/CCT, 2002.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares – diretrizes para arquitetos.** Máceio: EDUFAL, 2000.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A. **Avaliação da resistência do concreto curado entre -5° e 0°C.** 2012. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRANDÃO, A. C. L. **Análise de características concreto com adição de raspas de pneu e pó de mármore.** Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia de Materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2013.

CAETANO, M. J. L. **Ciência e Tecnologia da Borracha.** Disponível em: <https://www.ctborracha.com/>. Acessado em: 09 de Setembro de 2018.

CANHADA, J. C. dos S.; ALTRAN, D. A.; ISHIKI, H. M.; FIDELIS, G. N. S.; SANTOS, R. J. dos. **Caracterização física e morfológica de compósitos de concreto com resíduos de borracha vulcanizada.** Revista *Colloquium Exactarum*, v. 9, n.3, Jul-Set. 2017, p. 65 –75.

CARDOSO, R. C.; CABRAL, R. de F. **Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de pneus automotivos.** Revista Teccen. 2017 Jun/Dez.; 10 (2): 18-23.

CERPOLO. **Soluções Criativas.** 2015. Disponível em: <http://cerpolo.com.br/>. Acesso em: 15 de maio de 2015.

CIMENTOMAUÁ. **Concreto Colorido: Aplicações e vantagens**. 2017. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/blog/concreto-colorido-aplicacao-e-vantagens/>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2018.

CUNHA, E. G. da. **Mitos e verdades sobre o brise-soleil: da estética a eficiência energética**. *Arquiteturarevista* Vol. 7, n. 1, p. 73-80, jan/jun 2011.

DOEBBER, Â. T. N.; SPECHT, L. P.; RUPP, R. F.; KHATCHATOURIAN, O. A. **Estudo para redução do impacto térmico em paredes de alvenaria: o uso de um brise soleil de material reciclado**. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, 2011.

FERRARI, O. C.; SAGRILLO, V. P. D.; JÚNIOR, H. D.. **Estudo da caracterização e reaproveitamento de fibras de vidro na obtenção de materiais vítreos e/ou vitrocerâmicos**. Vitória, S/D.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luis. **Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus**. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 32, n. 3, p. 237–244, 2010. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/6013> Acesso em 09 de setembro 2017.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Dissertação de Mestrado. 137p. Universidade Federal do Paraná, 2007.

GARLET, G. **Aproveitamento de Resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como Agregado para Concreto Leve na Construção Civil**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. **Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira**. ENCAC/ELACAC. Maceió, 2005.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006.

GRANZOTTO, L. **Concreto com adições de borracha: Uma alternativa ecologicamente viável**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2010.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. Pini; Brasília, DF: SENAI, 2001.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da UFSC). 127p. Florianópolis, 2002.

KUPINSKI, R. **Concreto: o que é concreto.** 2009. Disponível em: <http://construcaoengineharia.blogspot.com/2009/12/concreto.html>. Acesso em: 22 de Dezembro de 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LEITE, Ana Lúcia T. A. e MEDINA, Naná M. **Educação ambiental: curso básico a distância: questões ambientais: conceitos, história, problemas e alternativas.** Brasília: MMA, 2001. 5v. 2ª Edição aplicada.

LEVY, S. M; HELENE, P. R. L. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção.** São Paulo, EPUSP, 2002.

LIMA, N. M. O. **Desenvolvimento de artefatos vítreos obtidos pela reciclagem de lixo eletrônico – caracterização e processamento.** Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, 2012.

MARTINS, I. R. de F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 3ª ed., 2008, 674p.

MEDEIROS JR, M. S. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas por Meio de Módulo Dinâmico.** Dissertação de Mestrado, PETRAN/UFC, Fortaleza, 2006.

MELO, A. B. de; LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 141-155, 2009.

MELO, J. J. S. e. **Edificações Sustentáveis: Um estudo sobre a integração entre ambiente, projeto e tecnologia.** Especialize Revista Online – IPOG, 2012.

MENDES, R. R. **Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta.** Dissertação de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro, 2016.

MILANEZ, K. W. **Incorporação de Resíduo de Galvanoplastia na Produção de Pigmentos Inorgânicos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MOREIRA, J. F.; FIDELIS, V. R. P.; DIAS, J. F. **Concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovias.** Revista Online HOLOS Environment, v 14 n 2, Rio Claro: 2014. p. 185-197.

NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L., FIORITI, C. F. **Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de Concreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, 2002.

OLIVEIRA, N. C. F. de. **Superfícies abstratas: o elemento cerâmico como textura na arquitetura moderna brasileira.** IV Docomomo Sul. Porto Alegre, 2013.

PAULA, L. S. **Utilização de Resíduos de EVA Como Agregado Graúdo em Concretos.** Monografia Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland.** 2 ed. Rio Grande do Sul: Globo, 1975.

PIMENTEL, U. H. O.; MELO, A. B. de; POLARI FILHO, R. S.; ROCHA, F. de M. D.; Feitosa, M. M. **Pré-Moldados Leves Alternativos à Base de Cimento Portland com Aproveitamento de Resíduos da Indústria de Calçados: Desenvolvimento do BlocoEVA.** Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.

PINTO, F. H.; MOREIRA, F. D. **A conservação do concreto e os valores da arquitetura moderna: os casos da FAUUSP e da CELPE.** X Docomomo Brasil. Curitiba, 2013.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto – capítulo 2. UNICAMP. Campinas, 2004.** Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>. Acessado em: 09 de setembro de 2017.

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao Processo de Reciclagem dos Resíduos da Indústria de Calçados na Construção Civil: bloco E.V.A.: uma alternativa às alvenarias das construções.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

POLARI FILHO, R. S.; MELO, A. B. de; FEITOSA, M. M.; LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação de Desempenho Mecânico de Blocos E.V.A. – Uma Alternativa às Alvenarias das Construções.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

RIBEIRO, C; PINTO, J; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 2 ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

RIBEIRO, R. M. **Concreto aparente: uma contribuição para a construção sustentável.** 2010. 101p. Monografia (Especialização em construção civil)-Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG-MG, Belo Horizonte, 2010.

ROCHA, F. M. D.; MELO, A. B. de; SILVA, E. P.; TORRES, S. M. **Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 47-60, 2013.

ROMANO, C. A. **Apostila de tecnologia do concreto.** 2004. 102 p. Extrato do manual de tecnologia do concreto (Curso de Engenharia de Produção Civil)-Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2005.

SANTOS, A. C. dos; BARBOZA, A. da S. R.; GOMES, P. C. C.; LIMA, F. B. de. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus para aplicação em elementos pré-moldados.** I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável - X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

SANTOS, J. L. K. dos; AZEVEDO, A. A. de; MARTINS, M. L. C. **Concreto Leve com Utilização de Resíduo de E.V.A. Revista Lume Repertório Digital, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.**

SANTOS, R. F. **Concreto não estrutural com substituição de agregado miúdo por raspas de resíduo de pneu.** Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG. Formiga, 2015.

SANTOS, R. M. **Sugestões de aplicação concreto borracha em obras civis.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2018.

SÃO THIAGO, P. F. S.; BICALHO, L. de A. **Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados.** Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 36, p. 15-27, abr. 2018.

SELUNG, C. S.; MENEGOTTO, M. L.; MENEGOTTO, A. G. F.; PAVAN R. C.. **Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneus.** Revista Online HOLOS Environment, v 13 n 2, Rio Claro: 2013. p. 212-223.

SILVA, J. S. da. **Estratégias para luz natural: sistemas convencionais e brise-soleil como elemento de controle.** Revista Paranoá, 2007.

SILVEIRA, P. M.; ALBUQUERQUE, M. da C. F.; CASSOLA, S.; BORTOLUCCIA, A.; PAULLIS, L. de; VILLA, F. M. D. **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu.** Revista Matéria. Rio de Janeiro, p.416-428, 2016.

SOUSA, F.S; OLIVEIRA FILHO, E.G.; MEDEIROS BRANCO, C.N.; GOMES, L.G. **Propriedades mecânicas e morfologia da fratura de concreto com resíduo de borracha de pneus do processo de recapagem.** 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 2016.

SOUZA, E. **As possibilidades do Concreto Pigmentado: 18 edifícios impregnados de cor.** 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/910768/as-possibilidades-do-concreto-pigmentado-18-edificios-impregnados-de-cor>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2019.

TECNOMOR. **Pigmento para concreto: inovação e diferenciação.** 2018. Disponível em: <https://tecnomor.com.br/blog/pigmento-para-concreto-inovacao-e-diferenciacao/>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2018.

TEMER, M. et al. Política nacional de resíduos sólidos. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010.

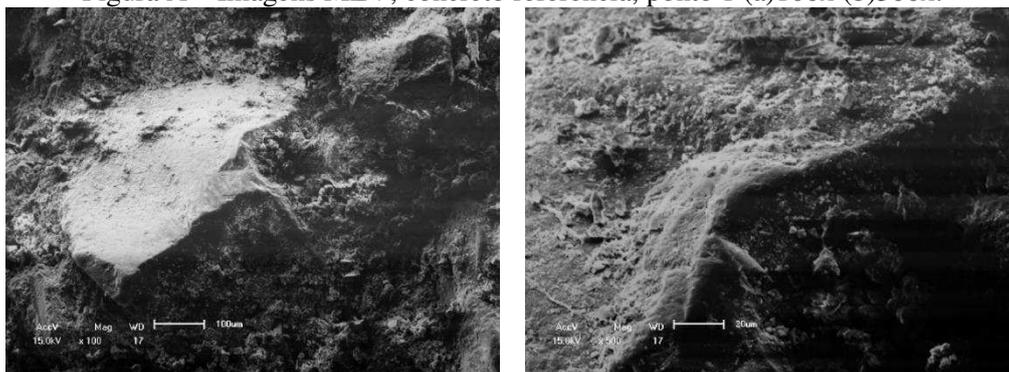
TRAPANO, P. Di; BASTOS, L. E. G. **Reflexões Sobre Luz, Espaço E Forma Na Arquitetura Contemporânea.** IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007. Disponível em: <http://www.ceap.br/material/MAT19042013153436.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2014.

VETTORAZZI, E.; LANGNER, M.; JUNIOR, O. A. R.; TEIXEIRA, P. S. **Uso de elementos de proteção solar externo no quadrilátero central de Foz de Iguaçu – PR.** Revista de Arquitetura da IMED v. 3, n.1, 2014, p. 11-20.

VIANA, M. P.; MELO, A. B. de. **Reciclagem de resíduos da indústria de calçados em materiais alternativos na construção civil: desenvolvimento de blocos EVA para piso inter-travados.** Prêmio Iniciação Científica 2006/2007 15º Encontro de Iniciação Científica, – João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, v. 13, p 179-195, 2008.

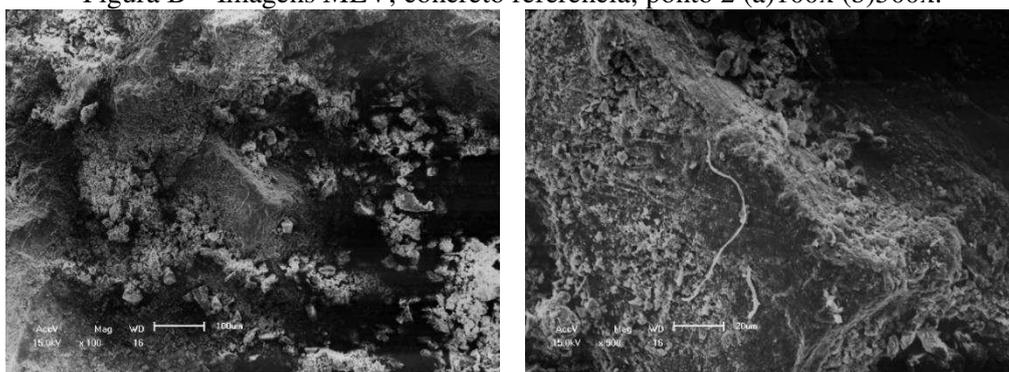
APÊNDICES

Figura A – Imagens MEV, concreto referência, ponto 1 (a)100x (b)500x.



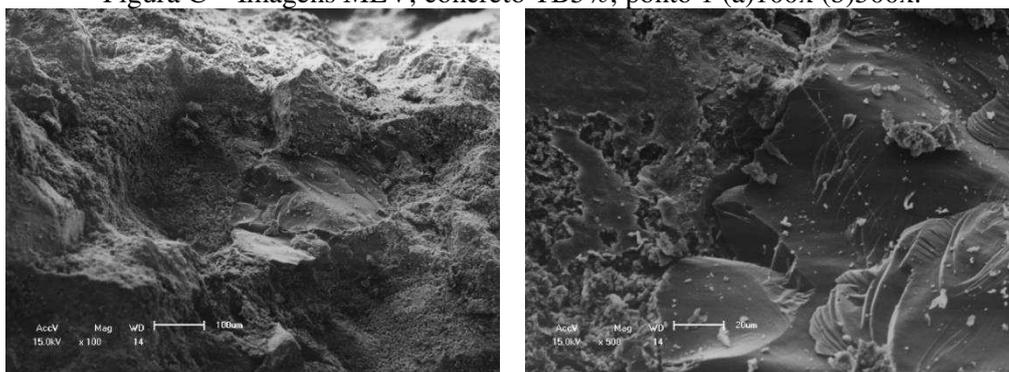
FONTE: O autor.

Figura B – Imagens MEV, concreto referência, ponto 2 (a)100x (b)500x.



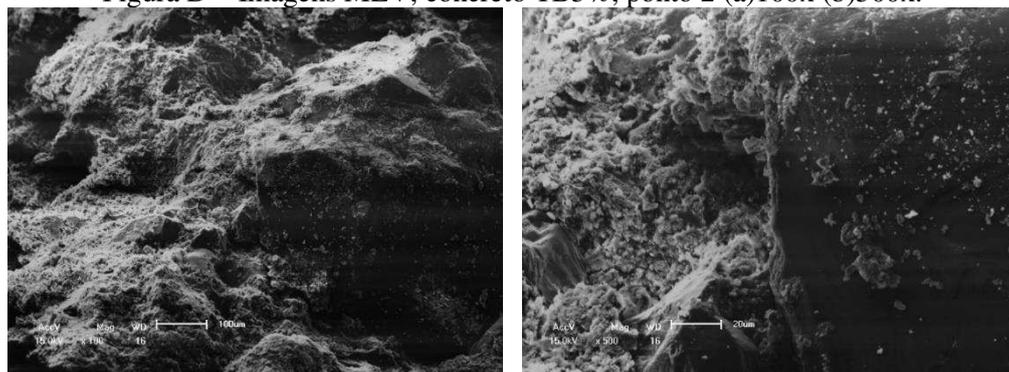
FONTE: O autor.

Figura C – Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 1 (a)100x (b)500x.



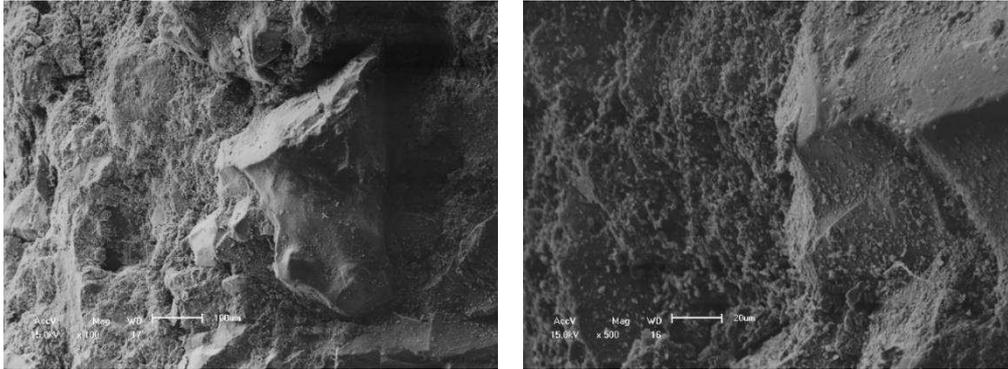
FONTE: O autor.

Figura D – Imagens MEV, concreto TB5%, ponto 2 (a)100x (b)500x.



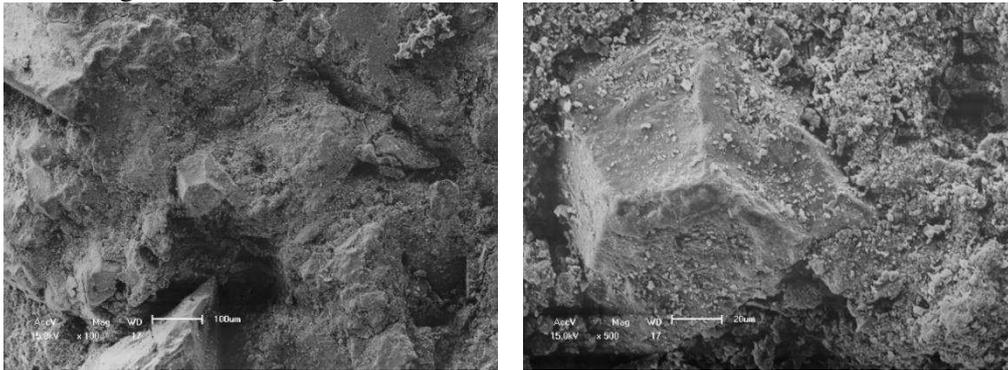
FONTE: O autor.

Figura E – Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 1 (a)100x (b)500x.



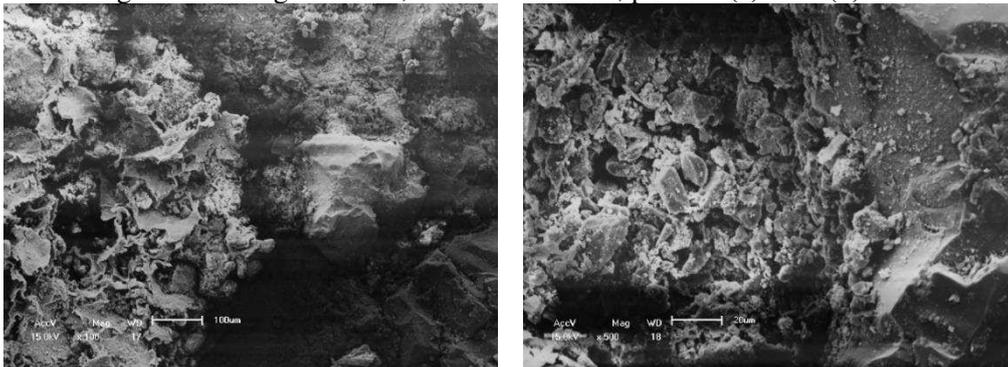
FONTE: O autor.

Figura F – Imagens MEV, concreto TB10%, ponto 2 (a)100x (b)500x.



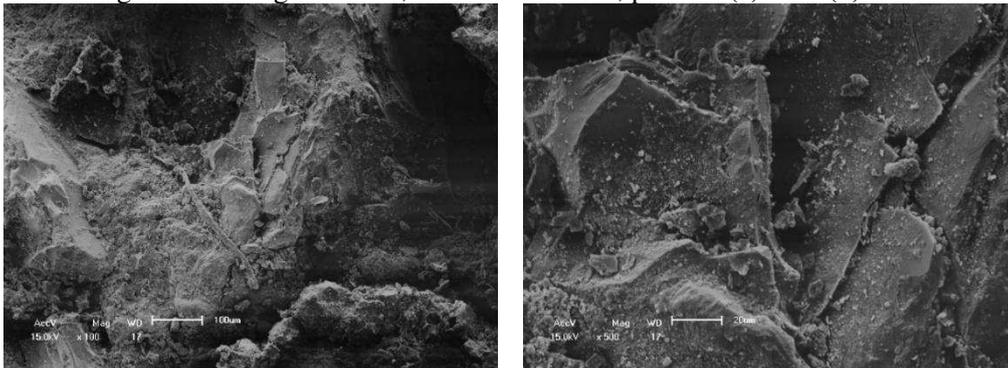
FONTE: O autor.

Figura G – Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 1 (a)100x (b)500x.



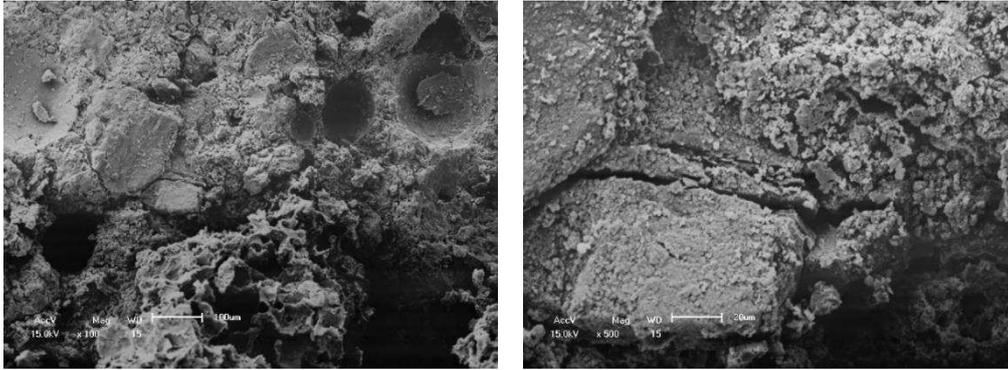
FONTE: O autor.

Figura H – Imagens MEV, concreto TB20%, ponto 2 (a)100x (b)500x.



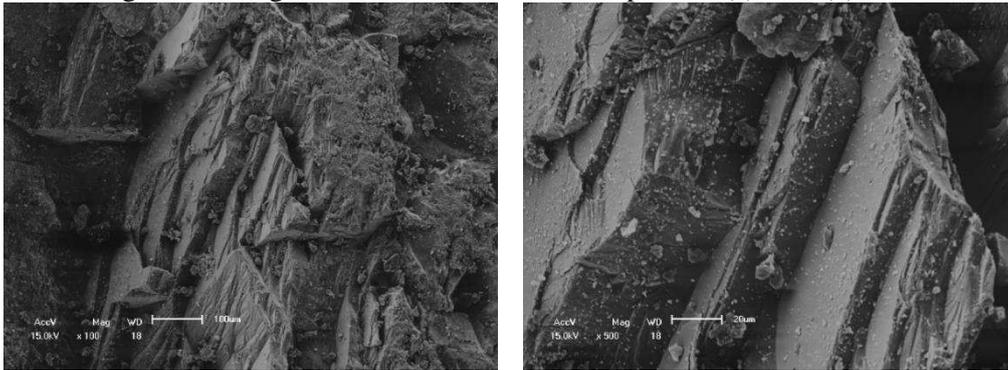
FONTE: O autor.

Figura I – Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 1 (a)100x (b)500x.



FONTE: O autor.

Figura J – Imagens MEV, concreto TB30%, ponto 2 (a)100x (b)500x.



FONTE: O autor.

Quadro A – Quadro resumo dos trabalhos referênciados.

AUTOR	TIPO DE RESÍDUO	APLICAÇÃO	ENSAIOS/ESTUDOS REALIZADOS	OBSERVAÇÕES
Rocha et al. (2013)	EVA	Bloco vazado intertravado para vedação.	Definem forma adequada do bloco.	Substituição em volume.
Polari Filho et al. (2006)	EVA	Bloco vazado intertravado para vedação.	Resistência à compressão (em protótipo)	Substituição em volume.
Viana e Melo (2008)	EVA	Bloco intertravado para pavimentação.	Resistência à compressão (em protótipo)	Substituição em volume.
Andrade e Medeiros	EVA	Placas para a construção civil.	Isolamento acústico.	Micro concreto leve.
Albuquerque et al. (2005)	PNEU	Análise das características do concreto.	MEV	Buscam criar ligação entre borracha e matriz por meio de aditivos.
Granzotto (2010)	PNEU	Análise das características do concreto.	Resistência à compressão e resistência à tração.	Adição em massa, alterando relação água/cimento.
Brandão (2013)	Rasas de PNEU e pó de mármore	Análise das características do concreto.	MEV	Referência para análise da interação entre os materiais.
Selung et al. (2013)	PNEU	Blocos de concreto.	Resistência à compressão.	Substituem agregado graúdo.
Moreira, Fidelis e Dias (2014)	PNEU	Ciclovias.	Resistência à compressão.	Substituição de grande percentual do agregado miúdo pelo resíduo em lascas.
Santos (2015)	PNEU	Concreto estrutural.	Resistência à compressão.	Rasas do resíduo.
SOUSA et al. (2016)	PNEU	Análise das características do concreto.	Resistência à compressão e resistência à tração.	Avaliaram morfologia da fratura do concreto.
Silveira et al. (2016)	PNEU	Análise das características do concreto.	Resistência à compressão e resistência à flexão.	Vários traços com formatos diferentes da partícula do resíduo.
Altoé (2017)	PNEU	Pavimento de concreto.	Resistência à compressão e absorção de água por capilaridade.	Vários traços com máximo de 10% de resíduo.
Canhada et al. (2017)	PNEU	Análise das características do concreto.	Resistência à compressão e absorção de água por capilaridade.	Resíduo de borracha vulcanizada.
Cardoso e Cabral (2017)	PNEU	Compósitos de concreto.	MEV	Adicionou resíduo e não substituiu o agregado.
Santos (2018)	PNEU	Análise das características do concreto para sugestão de aplicação.	Resistência à compressão.	Usam traços pobres e ricos.
São Thiago e Bicalho (2018)	PNEU	Blocos de pavimentação intertravada.	MEV	Substituem em volume.

FONTE: O autor.