

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Dissertação (Mestrado)

Adriana Cristina Rabelo da Silva

LADRILHOS ASFÁLTICOS RECICLADOS – CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO
DE VIABILIDADE TÉCNICA

Belo Horizonte
2016



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS

MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Adriana Cristina Rabelo da Silva

LADRILHOS ASFÁLTICOS RECICLADOS – CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO
DE VIABILIDADE TÉCNICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Ciência e Desenvolvimento de Materiais

Linha de Pesquisa: Reciclagem

Orientador: Dr. FLÁVIO RENATO DE GÓES PADULA

Belo Horizonte
2016

S586l Silva, Adriana Cristina Rabelo da.
Ladrilhos asfálticos reciclados : contribuição para o estudo de viabilidade técnica / Adriana Cristina Rabelo da Silva. - 2016.
114 p. : il., fotos; grafs. ; tabs. –

Orientador: Flávio Renato de Góes Padula.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2016.

Bibliografia.

1. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 2. Resíduos como material de construção. 3. Pavimentação asfáltica. 4. Asfalto – Reciclagem. I. Padula, Flávio Renato de Goés. II. Título.

CDD: 625.85

Folha de aprovação

LADRILHOS ASFÁLTICOS RECICLADOS – CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO
DE VIABILIDADE TÉCNICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em 28 de Setembro de 2016.

Prof. Dr. Flávio Renato de Góes Padula - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Augusto César da Silva Bezerra
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Cláudio José Martins
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, marido e amigos por compreenderem minha ausência, por se fazerem presentes e me apoiarem incondicionalmente! Aos meus sobrinhos e enteados para que vejam a continuidade dos estudos como exemplo de nobreza, dignidade e crescimento interior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por colocar anjos no meu caminho. Pessoas que tornaram as dificuldades mais leves, me fazendo sorrir mesmo nos momentos de maior desespero.

Meu marido, Mansueto Junior, por ser companheiro, cúmplice, pela paciência, amor e por me ajudar em todos os momentos incondicionalmente, fazendo os meus dias muito mais alegres. Agradeço por me mostrar a importância da pesquisa e pelo incentivo a continuar os estudos.

Tia Lu, meu maior incentivo à educação, por ter palavras positivas de carinho e apoio em todas as horas.

Paty Maia irmã de coração que Deus me deu de presente, companheira, psicóloga de plantão, que mesmo nos momentos mais difíceis me fazia rir.

Minha mãe, irmãos, e toda família (Rabelo e Assunção) por serem pacientes e compreenderem minha ausência.

Ao meu orientador Dr. Flávio Renato de Góes Padula por ser tão compreensivo, disponível e por me ajudar a concluir mais uma etapa.

Aos companheiros de laboratório e estagiários do DET, em especial ao Professor Me. Mateus Justino da Silva, por ter me ajudado durante os ensaios e pela demonstração de sabedoria, humildade e bom humor.

Dr. Augusto César da Silva Bezerra, pelo tempo destinado a me ajudar no laboratório de mecânica dos pavimentos e de materiais.

Aos professores e funcionários do CEFET-MG, em especial ao DEMAT, pela ajuda, ensinamentos e direção. Cada um foi importante para me ajudar nessa caminhada.

Ao laboratório de materiais de construção da UFOP, em especial Dr. Ricardo Fiorotti e Luma Dias por me ajudarem durante meus ensaios.

Paula Regina Balabram e Yara Juliana Vasconcelos, que mesmo de outra instituição foram grandes incentivadoras e muito importantes para minha formação acadêmica.

Ao Ronaldo da Ladricupper por disponibilizar parte do material utilizado na pesquisa.

Aos colegas do mestrado pelo companheirismo.

Aos colegas de trabalho pelo apoio e compreensão.

A todos que torceram por mim e emanaram energias positivas durante esse desafio,
o meu muito obrigada!

“Não é o que você faz, mas quanto amor você dedica ao que faz que realmente importa”.

Madre Tereza de Calcutá

RESUMO

O Concreto Asfáltico Fresado (CAF) quando reciclado a quente e prensado dá origem a um material com características que podem ser adequadas para a confecção de ladrilhos. Ladrilho é definido como revestimento para pisos ou paredes utilizado na confecção de acabamentos em edificações. O principal objetivo da pesquisa é contribuir para o estudo de viabilidade técnica do uso de concreto asfáltico fresado reciclado a quente para confecção de ladrilhos de asfalto reciclado visando o uso na construção civil. Os ladrilhos de asfalto reciclado podem contribuir para a preservação do meio ambiente, ter baixo custo e apresentar características que podem proporcionar adequada durabilidade. Para esse estudo foram analisados os processos de fabricação, ensaios físicos e mecânicos e patologias dos ladrilhos de CAF, hidráulicos e cerâmicos, buscando-se a otimização do desenvolvimento da reciclagem de CAF. Para moldagem dos corpos de prova o CAF foi caracterizado, aquecido e prensado para formar blocos que foram cortados posteriormente dando forma aos ladrilhos de asfalto reciclado. Antes da prensagem dos blocos, características como temperatura e pressão foram observadas com finalidade de garantir um processamento mais eficiente dos ladrilhos. Os ensaios realizados nos corpos de prova foram de absorção, módulo de resistência à flexão, resistência à abrasão profunda, degradação em câmara climática e arrancamento. Os ladrilhos de asfalto reciclado apresentaram valores satisfatórios na maioria dos ensaios. Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que o ladrilho de asfalto reciclado pode ser viável do ponto de vista técnico.

Palavras-chave: Reciclagem a quente; Concreto Asfáltico Fresado (CAF); Ladrilhos de asfalto reciclado.

ABSTRACT

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) when recycled hot pressed and give rise to a material with characteristics that may be suitable for making tiles. Tile is defined as a coating for floors or walls to run finishes in buildings. The main objective of the research is to contribute to the technical feasibility study of the Reclaimed Asphalt Pavement using recycled hot for making recycled asphalt tiles for use in construction. The recycled asphalt tiles can contribute to preserving the environment, have low cost and present features that can provide adequate durability. For this study we analyzed the manufacturing processes, physical and mechanical tests and pathologies of the RAP tiles, hydraulic and ceramics, aiming to optimize the development of recycling RAP. Molding of the test specimens RAP was characterized, heated and compressed to form blocks that were later cut forming the recycled asphalt tiles. Before pressing the blocks, characteristics such as temperature and pressure were observed in order to ensure more efficient processing of the tiles. The tests performed on specimens were absorption, resistance to mechanical strength, resistance to abrasion, degradation climate chamber and adherence. The recycled asphalt tiles exhibited satisfactory values in most tests. On the presented results, it can be concluded that recycled asphalt tile may be viable from a technical point of view.

Keywords: Recycling hot; Reclaimed asphalt pavement (RAP); Recycled asphalt tiles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fendilhamento tipo “pele de crocodilo”	9
Figura 2: Rodeiras – Medição da profundidade com régua.....	10
Figura 3: Ninho/Cova	10
Figura 4: Desnível de 10cm entre a pista e tampão de ferro.....	11
Figura 5: Material fresado armazenado em depósito	12
Figura 6: Máquina de reciclagem a quente <i>in situ</i> com fresagem a quente	15
Figura 7: Representação esquemática de uma usina de asfalto vertical	16
Figura 8: Representação esquemática de uma usina de asfalto horizontal	17
Figura 9: Corte lateral de ladrilho hidráulico produzido em 2010	19
Figura 10: Molde para ladrilho 200 x 200 mm	20
Figura 11: Peças que compõem a forma de ferro para ladrilho (prato, quadro e tampão).....	20
Figura 12: Adição de pigmento e acréscimo de secante	21
Figura 13: Adição cimento e areia lavada e acréscimo do tampão para prensagem	22
Figura 14: Prensagem do ladrilho hidráulico	22
Figura 15: Peças armazenadas na girafa.....	23
Figura 16: Piso decorativo.....	24
Figura 17: Padrões de ladrilho hidráulico tátil.....	25
Figura 18: Jazida de extração de argila	27
Figura 19: Galpão de armazenamento de argila	29
Figura 20: Moinho	29
Figura 21: Peneiras.....	30
Figura 22: Jazida de extração de argila	31
Figura 23: Momento da prensagem do revestimento cerâmico.....	31
Figura 24: Processo de esmaltação	32
Figura 25: Aplicação de esmalte vitrificado	32
Figura 26: Forno.....	33
Figura 27: Inspeção visual.....	33
Figura 28: Tipos de rupturas em função das argamassas	37
Figura 29: Fluxograma da metodologia adotada.....	39
Figura 30: Pilha de estocagem de material fresado da regional Centro-Sul.	41

Figura 31: Cimento asfáltico de petróleo (CAP)	42
Figura 32: Repartidor de amostras	44
Figura 33: Extrator de betume (Rotarex)	45
Figura 34: Amostra de CAF no interior do prato	46
Figura 35: Parâmetros para limites de teor de betume e granulometria	47
Figura 36: Agitador de peneiras	49
Figura 37: Aquecimento do CAF antes da prensagem	51
Figura 38: Prensagem do CAF aquecido	51
Figura 39: Ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios	54
Figura 40: Corte dos ladrilhos de asfalto reciclado	56
Figura 41: Máquina universal para ensaios mecânicos	58
Figura 42: Equipamento para ensaio de abrasão profunda	59
Figura 43: Areia granulometria 100	60
Figura 44: Ladrilhos de asfalto reciclados assentados em placas de fibrocimento ...	62
Figura 45: Câmara climática	63
Figura 46: Gráfico de um ciclo programado para a câmara climática	66
Figura 47: Gráfico comparativo entre umidades programadas x alcançadas	67
Figura 48: Gráfico comparativo temperaturas programadas x alcançadas	67
Figura 49: Dinamômetro de tração	69
Figura 50: Ladrilho quebrado após corte com serra-copo	70
Figura 51: Colagem das pastilhas metálicas nos ladrilhos	71
Figura 52: Curva granulométrica	75
Figura 53: Gráfico gerado após prensagem do bloco 1	77
Figura 54: Gráfico gerado após prensagem do bloco 2	77
Figura 55: Gráfico gerado após prensagem do bloco 3	78
Figura 56: Gráfico gerado após prensagem do bloco 4	78
Figura 57: Gráfico gerado após prensagem do bloco 5	79
Figura 58: Gráfico gerado após prensagem do bloco 6	79
Figura 59: Gráfico gerado após prensagem do bloco 7	80
Figura 60: Gráfico gerado após prensagem do bloco 8	80
Figura 61: Gráfico gerado após prensagem do bloco 9	81
Figura 62: Gráfico gerado após prensagem do bloco 10	81
Figura 63: Ladrilhos de asfalto reciclado	82
Figura 64: Ladrilhos de asfalto reciclado descartados após ensaio visual	83

Figura 65: Gráfico com os valores médios de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos três tipos de ladrilhos	85
Figura 66: Gráfico com os valores de densidade aparente nos três tipos de ladrilhos	86
Figura 67: Gráfico com os valores de absorção de água nos três tipos de ladrilhos.	87
Figura 68: Gráfico com os valores de índice de vazios nos três tipos de ladrilhos....	88
Figura 69: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos cerâmicos	89
Figura 70: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos cerâmicos	89
Figura 71: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos decorativos	90
Figura 72: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos decorativos	90
Figura 73: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis.....	91
Figura 74: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis	91
Figura 75: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos de asfalto reciclado	92
Figura 76: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos de asfalto reciclado.....	92
Figura 77: Valores médios da carga de ruptura dos ladrilhos ensaiados	93
Figura 78: Valores médios de resistência à flexão dos ladrilhos ensaiados.....	94
Figura 79: Desgaste dos ladrilhos em ensaio de abrasão profunda.....	96
Figura 80: Tipos de ruptura ocorridos durante ensaio de arrancamento por tração	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de petróleo e CAP no Brasil	2
Tabela 2: Limites estabelecidos pela NBR 9457/86 para ensaios em ladrilhos hidráulicos	26
Tabela 3: Séries de peneiras.....	49
Tabela 4: Valores de tensão obtidos durante a prensagem dos blocos com deformação de 50mm e temperatura aproximada de aquecimento do material	52
Tabela 5: Etapas de um ciclo completo do ensaio de degradação em câmara climática	65
Tabela 6: Resultado da porcentagem de betume.....	73
Tabela 7: Resultado do ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos blocos de asfalto reciclado	76
Tabela 8: Resultado do ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos ladrilhos	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação e limites dos ensaios em revestimentos cerâmicos.....	34
Quadro 2: Peneiramento	74
Quadro 3: Resultados da perda de peso em ensaio de abrasão profunda	95
Quadro 4: Tensão de ruptura em ladrilhos de asfalto reciclado	97
Quadro 5: Tensão de ruptura em ladrilhos cerâmicos.....	98
Quadro 6: Tensão de ruptura em ladrilhos hidráulicos.....	99
Quadro 7: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos de asfalto reciclado	100
Quadro 8: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos cerâmicos	100
Quadro 9: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos hidráulicos.....	101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Porcentagem do teor de betume	46
Equação 2: Densidade aparente	54
Equação 3: Absorção de água	55
Equação 4: Índice de vazios.....	55
Equação 5: Desgaste por abrasão profunda	61
Equação 6: Tensão de ruptura	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
abs	Absorção de água
AC	Argamassa Colante Industrializada
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAF	Concreto Asfáltico Fresado
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Registrada
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE QUADROS	XV
LISTA DE EQUAÇÕES.....	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVII
SUMÁRIO	XVIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA	1
1.1.1 Reciclagem do Material Fresado	1
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	5
1.2.1 Objetivo geral.....	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 JUSTIFICATIVA.....	5
1.4 ESTRUTURA.....	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETÓLEO (CAP).....	7
2.2 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	8
2.3 FRESAGEM ASFÁLTICA	12
2.4 RECICLAGEM A QUENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS.....	13
2.4.1 Reciclagem a quente <i>in situ</i>	14
2.4.2 Reciclagem a quente em usina.....	15

2.5	LADRILHO HIDRÁULICO.....	18
2.6	LADRILHO CERÂMICO.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	MATERIAIS	40
3.1.1	Concreto asfáltico fresado (CAF).....	40
3.1.2	Cimento asfáltico de petróleo (CAP).....	41
3.1.3	Ladrilhos hidráulicos	42
3.1.4	Ladrilhos cerâmicos	42
3.2	MÉTODOS.....	43
3.2.1	Determinação do teor de betume.....	43
3.2.2	Análise granulométrica.....	48
3.2.3	Confecção dos blocos de asfalto reciclado	50
3.2.4	Determinação da absorção de água, densidade aparente e índice de vazios	53
3.2.5	Corte dos blocos de asfalto reciclado	55
3.2.6	Ensaio não destrutivos	56
3.2.6.1	<i>Ensaio visual</i>	56
3.2.6.2	<i>Determinação da absorção de água</i>	57
3.2.7	Ensaio destrutivos	57
3.2.7.1	<i>Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão</i>	57
3.2.7.2	<i>Resistência à abrasão profunda</i>	58
3.2.7.3	<i>Ensaio de degradação na câmara climática</i>	61
3.2.7.4	<i>Ensaio de aderência</i>	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE BETUME.....	73
4.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	74
4.3	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E ÍNDICE DE VAZIOS DOS BLOCOS DE ASFALTO RECICLADO	76

4.4	CORTE DOS BLOCOS DE ASFALTO RECICLADO	82
4.5	ENSAIO VISUAL	83
4.6	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS LADRILHOS.....	84
4.7	CARGA DE RUPTURA E MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO	89
4.8	RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA	94
4.9	ENSAIO DE DEGRADAÇÃO EM CÂMARA CLIMÁTICA	96
4.10	ENSAIO DE ADERÊNCIA	97
5	CONCLUSÃO	103
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
7	REFERÊNCIAS	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA

1.1.1 Reciclagem do Material Fresado

No final do século XIX as ferrovias dominavam os transportes terrestres. A aviação estava em pleno desenvolvimento e o transporte marítimo bastante avançado. (SENÇO, 2008, p. 19). O primeiro carro a chegar ao Brasil na cidade de Salvador, em 1871, era movido a vapor e o primeiro carro movido à gasolina chegou a São Paulo em 1893. Ainda segundo Senço (2008, p. 19), no início do século XX havia pouco espaço para o transporte rodoviário, pois os veículos até então produzidos serviam para proporcionar horas de lazer e esporte.

Durante a Primeira Guerra Mundial os veículos passaram a servir como utilitários, transportando cargas, medicamentos, feridos, armamentos e atendendo às demais necessidades da guerra. Ao final da guerra, Estados Unidos, Inglaterra, França, Itália e outros países começaram a produzir veículos ao alcance de novas camadas da população. Entretanto, as viagens de carro de uma cidade à outra eram muito demoradas. As estradas eram de terra e muitas vezes as viagens eram interrompidas devido às condições climáticas. Com o aumento da frota de veículos no Brasil, houve a necessidade de melhorar os caminhos para atender às imposições de velocidade e transporte de cargas. No período de 1945 a 1988, houve um estímulo do governo para construção e pavimentação de rodovias devido ao desenvolvimento da indústria automobilística, fazendo o transporte rodoviário predominante desde então.

De acordo com Freitas (2015, p.1), o ciclo do petróleo no Brasil teve início no final do século XIX. “O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos composta por diversos tipos de moléculas formadas por átomos de hidrogênio e carbono e, em menor parte, de oxigênio, nitrogênio e enxofre, combinados de forma variável” (ANP, 2015). Vários produtos são derivados do petróleo, entre eles podem ser citados: parafina, gasolina, óleo diesel, querosene, gás natural, produtos asfálticos, óleos lubrificantes, etc.

Nos trabalhos de pavimentação utiliza-se o cimento asfáltico de petróleo (CAP). O CAP é um produto resultante do refino de tipos específicos do petróleo, da qual se extrai à *priori*, gasolina, diesel, querosene, etc. Este material é utilizado na pavimentação de vias devido às características físico – químicas apropriadas como: viscosidade, propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, comportamento termoplástico, além de ser termo sensível, altamente consistente, flexível, durável e de alta resistência.

Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP), do ano de 2014 para o ano de 2015 houve queda de 5,83% no volume de petróleo refinado no Brasil e queda de 37,97% na produção de CAP no Brasil no mesmo período. A tabela 1 mostra os dados dos anos de 2013 a 2015.

Tabela 1: Produção de petróleo e CAP no Brasil

ANO	VOLUME DE PETRÓLEO REFINADO NO BRASIL (m ³)	PRODUÇÃO DE CAP NO BRASIL (m ³)
2013	119.272.070	2.653.348
2014	122.263.477	3.248.853
2015	115.130.385	2.015.366

Fonte: (ANP, 2016)

Da união do CAP e agregados minerais executada em usinas apropriadas origina-se o concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). O CAUQ ao sair da usina é espalhado e comprimido na via, obedecendo às normas de execução quanto a estabilidade, flexibilidade, rugosidade e características elásticas para garantir a segurança no tráfego. Este produto pode ser utilizado como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento, não devendo ser aplicado em dias chuvosos e em temperaturas inferiores à 10°C.

Devido às ações do tráfego e da natureza, com o passar do tempo, os pavimentos sofrem transformações. Estas transformações fazem com que o revestimento perca suas características funcionais e estruturais e conseqüente diminuição da qualidade. As anomalias que são capazes de surgir com o passar do tempo podem ser por fendilhamento, deformações, desagregação da camada de desgaste e movimento de materiais.

Para restauração das irregularidades, segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT, o pavimento necessita ser preparado para receber uma nova camada de concreto asfáltico. As atividades de preparação mais empregadas são: selagem de trincas, lama asfáltica, limpeza da pista e pintura de ligação, remendos superficiais ou profundos, reperfilamento, fresagem a frio e combinação das técnicas citadas.

“O fresado asfáltico ou *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), como é conhecido em língua inglesa, é um material proveniente da fresagem de revestimentos asfálticos quando da restauração de pavimentos flexíveis” (SACHET, 2012, p. 15). Segundo Fonseca et al. (2013, p. 3), o material fresado é composto por dois tipos de materiais: os agregados, que mantêm suas características originais, podendo variar apenas as suas dimensões; e o betume, que tem suas propriedades modificadas com o passar do tempo. O fato do CAP ser derivado do petróleo, e conseqüentemente ser um recurso natural não renovável, faz com que a preocupação com a escassez desse recurso seja elevada, expandindo a necessidade da reutilização e reciclagem dos materiais.

No Brasil, a maioria do material fresado das vias urbanas é estocado em depósitos e utilizado posteriormente a frio, como base de pavimento para receber o novo revestimento. Dessa forma o CAP presente no material fresado não atua como ligante, e sim é perdido e depositado junto aos agregados sem desempenhar sua função nobre. Para atuar como ligante o CAP precisa ser aquecido a cerca de 160°C, pois assim fica viscoso e se mistura aos agregados. Após o esfriamento do material, ou seja, na temperatura ambiente esse material fica sólido e atua como aglutinante. Assim, é na reciclagem a quente do material fresado que se extrai o maior benefício do concreto asfáltico fresado.

Com a finalidade de reciclar o concreto asfáltico fresado e aplicá-lo como ladrilho na construção civil, a técnica de fabricação dos ladrilhos hidráulicos será estudada. Adota-se a hipótese de que as características presentes no material resultante da prensagem do concreto asfáltico fresado (CAF) reciclado a quente podem ser adequadas para a confecção de ladrilhos para revestimento de pisos e paredes. Ladrilho é definido como revestimentos para pisos ou paredes para execução de acabamentos em edificações.

O ladrilho hidráulico começou a ser utilizado durante a revolução industrial, inicialmente como revestimento de piso e posteriormente como recobrimento de paredes em áreas internas e externas (CAMPOS, 2011, p.19). O processo de fabricação dos ladrilhos hidráulicos era feito de forma artesanal e as técnicas eram transmitidas de geração a geração. “Esse revestimento se produzido e assentado adequadamente, possui alta resistência, durabilidade e facilidade no processo de restauração” (CAMPOS apud CATOIA, 2007, p.38).

Com o passar dos anos, as indústrias desenvolveram novos materiais e com isso pouco a pouco, os ladrilhos hidráulicos foram substituídos por ladrilhos cerâmicos, que dispunha de produção industrial, garantindo maior rapidez e menor custo. Diante desse acontecimento, muitas fábricas de ladrilhos hidráulicos finalizaram suas atividades e o produto foi menosprezado pelo mercado. Porém, nas últimas décadas, tendo em vista a recuperação de monumentos, imóveis tombados pelo patrimônio histórico e também novas construções, arquitetos e fabricantes procuraram resgatar a técnica de fabricação dos ladrilhos hidráulicos.

A produção de ladrilhos cerâmicos no Brasil teve início em meados da década de 60, após o surgimento do Sistema Financeiro de Habitação. A indústria de cerâmica para revestimento cresceu com o aumento da solicitação da construção civil para novas habitações, pois as empresas de ladrilho hidráulico não resistiram à demanda devido ao processo artesanal de fabricação, havendo a necessidade de desenvolver revestimentos em escala industrial. “Os ladrilhos cerâmicos são um dos mais nobres e versáteis sistemas de revestimento utilizados em construções [...] pela singular importância que lhe souberam atribuir ao longo dos séculos” (SILVESTRE; BRITO, 2008, p.67). “A cerâmica esmaltada para revestimento [...] tem como atividade a produção de pisos e azulejos, representando, [...] as louças, a cal e o vidro, uma cadeia produtiva que compõe o complexo industrial de materiais de construção” (GORINI; CORREA, 1999, p.204). Ao contrário do ladrilho hidráulico, o processo de produção do revestimento cerâmico é automatizado e os equipamentos bastante modernos, havendo interferência humana apenas no controle de processo, inspeção de qualidade, armazenamento e expedição.

Ao pesquisar sobre ladrilhos de asfalto reciclado, não foram identificados estudos que referenciassem este assunto, portanto é importante ressaltar a importância de

novas técnicas de reaproveitamento dos resíduos de asfalto para a preservação ambiental. Diante do que foi exposto, para o estudo de viabilidade técnica dos ladrilhos asfálticos reciclados, foram analisados os processos de fabricação, equipamentos, ensaios e patologias dos ladrilhos hidráulicos e cerâmicos. Tais informações balizaram o processo de desenvolvimento da metodologia adotada nessa pesquisa.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo da pesquisa é contribuir para o estudo de viabilidade técnica do uso de concreto asfáltico fresado reciclado a quente para confecção de ladrilhos de asfalto reciclado para uso na construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos buscam-se:

- I) Caracterizar fisicamente a matéria prima utilizada para fabricação dos ladrilhos de asfalto reciclado quanto à granulometria e quantificar a porcentagem de ligante contida no material.
- II) Processar blocos de asfalto reciclado através da prensagem de material fresado aquecido para fabricação dos ladrilhos de asfalto reciclado.
- III) Caracterizar fisicamente os ladrilhos de asfalto reciclado, ladrilhos hidráulicos e ladrilhos cerâmicos através da realização de ensaios mecânicos (densidade aparente, absorção de água, índice de vazios, carga de ruptura, módulo de resistência à flexão, desgaste por abrasão profunda, degradação em câmara climática e aderência) para posterior comparação de suas características.
- IV) Atestar a viabilidade técnica do uso dos ladrilhos de asfalto reciclado na construção civil.

1.3 JUSTIFICATIVA

Dentre os principais argumentos que justificam o desenvolvimento desta pesquisa destacam-se:

- a) O concreto asfáltico fresado quando reciclado a quente e prensado dá origem a um material com características que podem ser adequadas para a confecção de ladrilhos;
- b) Por se tratar de um material abundante, pouco explorado e de fácil manuseio, novas formas e técnicas de reaproveitamento desse material devem ser desenvolvidas;
- c) O uso de ladrilhos de asfalto reciclado pode contribuir para a preservação do meio ambiente.
- d) Utilizar o CAF de maneira que as propriedades ligantes sejam aproveitadas de forma mais nobre, por se tratar de um material não renovável.

1.4 ESTRUTURA

Esta dissertação será organizada em cinco capítulos, abordando estudos bibliográficos e experimentos desenvolvidos em laboratório. A estrutura será organizada da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais sobre a temática proposta, objetivos gerais e específicos, justificativa e estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Fundamentação teórica: Serão apresentados neste capítulo, conceitos, definições e considerações relacionados ao concreto asfáltico reciclado e processos de produção de ladrilhos hidráulicos e cerâmicos.

Capítulo 3 – Materiais e métodos: No terceiro capítulo serão apresentados os materiais utilizados e os procedimentos experimentais adotados no desenvolvimento da pesquisa.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: O quarto capítulo refere-se à demonstração e discussão dos resultados que foram obtidos durante a realização dos ensaios.

Capítulo 5 – Conclusões: Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas com o desenvolvimento da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETÓLEO (CAP)

O asfalto é um composto de materiais aglomerantes, constituído por hidrocarbonetos, com uma pequena porcentagem de oxigênio, enxofre e algumas impurezas. Por ser resistente, com bastante adesividade, impermeabilidade e boa duração, é utilizado como ligante betuminoso que atua como aglomerante de partículas inertes como a brita e a areia, constituindo uma mistura asfáltica. O comportamento físico do asfalto varia com a temperatura, passando do estado sólido ao plástico e do estado plástico ao líquido, à medida que a temperatura aumenta.

Reis (2013, p.46) relata que no Brasil 97% das rodovias são compostas por pavimentos flexíveis, sendo o asfalto o principal componente das camadas de rolamento e até das camadas intermediárias que constituem a estrutura viária. “O uso intensivo de asfalto em obras de pavimentação se dá principalmente devido à impermeabilização, à durabilidade, à flexibilidade e à resistência contra a ação de intempéries” (REIS, 2013, p. 46)

Nas refinarias produtoras de asfalto, as unidades de destilação possuem duas torres: uma, denominada atmosférica; e a outra, vácuo (IBP, 1994). O petróleo bruto inicialmente é destilado sob pressão atmosférica a fim de que sejam separadas as frações mais voláteis (gás, gasolina, diesel, nafta e querosene) das mais pesadas (óleo e asfalto). Em seguida, as frações mais pesadas são submetidas à destilação a vácuo. O resíduo dessa destilação é denominado resíduo asfáltico, e, se for enquadrado nas especificações brasileiras, passa a ter o nome de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). O CAP a temperaturas baixas é semissólido, visco elástico à temperatura ambiente, e líquido a altas temperaturas, e se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas (REIS apud SILVA, 2005; BERNUCCI et al., 2007).

“Os pavimentos [...] sofrem degradação sob a ação do tráfego e das condições atmosféricas. Esse processo ocorre durante a vida útil do pavimento, podendo ser mais lento se o pavimento for bem concebido, bem construído e bem conservado” (TORRES, 2014, p. 5).

2.2 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

O envelhecimento dos pavimentos asfálticos enrijece a mistura betuminosa. O asfalto torna-se mais duro e quebradiço com o passar do tempo até ser necessária a recuperação do revestimento (REIS apud LIMA, 2003 p. 19). A degradação do revestimento ocorre por alterações que acontecem devido a fenômenos naturais aliadas às cargas atribuídas repetidamente a ele. Segundo Reis (2013, p. 51), o envelhecimento do pavimento asfáltico depende da forma como o ligante é manuseado e pode ocorrer durante a estocagem, usinagem, transporte, manuseio, aplicação e ciclo de vida. “O grau de oxidação depende da temperatura, da superfície, do tempo de exposição e da espessura da película de ligante asfáltico” (REIS, 2013, p. 51).

Cabeças (2014, p. 14) relata que a partir do momento que um pavimento entra ao serviço do tráfego, está sujeito à degradação gradual, provocada pelas sucessivas passagens dos veículos (automóveis) e pela sua exposição às condições ambientais. “As patologias dos pavimentos flexíveis podem ser caracterizadas do seguinte modo: fendilhamento, deformações, desagregação e polimento da camada de desgaste e movimentação de materiais” (CABEÇAS, 2014, p. 17).

No fendilhamento, as fendas podem ser por fadiga, longitudinais, transversais ou pele de crocodilo. As fendas por fadiga iniciam na direção longitudinal e avançam em outras direções irregulares, causadas provavelmente pela qualidade deficiente dos materiais da camada de superfície. As fendas longitudinais são paralelas ao eixo da estrada, originadas possivelmente pela drenagem ineficiente ou deficiência da junta longitudinal de construção. Fendilhamento transversal são fendas perpendiculares ao eixo da estrada, resultantes da deficiência da junta transversal de construção ou da capacidade de suporte da fundação. Pele de crocodilo são fendas que formam uma malha resultante da evolução das fendas citadas anteriormente (Figura 1), as causas podem ser as mesmas das fendas por fadiga.

Figura 1: Fendilhamento tipo “pele de crocodilo”



Fonte: (COSTA, 2014)

As deformações podem ser do tipo longitudinal ou transversal, podendo formar depressões ou alteamentos. Existem ondulações que são deformações transversais, que se repetem com frequência ao longo do pavimento e deformações transversais ao longo da zona de passagem dos rodados dos veículos, denominadas rodeiras (Figura 2).

Os tipos de desagregação e polimento da camada de desgaste podem ser:

Desagregação superficial: quando algumas frações do agregado começam a se desprender da camada superficial.

Pelada: Ocorre em forma de placa começando a desprender-se pela camada de desgaste até a camada inferior.

Ninhos (covas): São cavidades de formas arredondadas, localizadas na camada de desgaste e progredindo a camadas inferiores (Figura 3).

Polimento dos agregados: Desgaste por abrasão, deixando a superfície do revestimento com aspecto polido e brilhante.

Figura 2: Rodeiras – Medição da profundidade com régua



Fonte: (COSTA, 2014)

Figura 3: Ninho/Cova



Fonte: (COSTA, 2014)

Um dos tipos de movimentos de materiais pode ser por exsudação, em que o pavimento fica com aspecto negro e brilhante possivelmente resultante de excesso de ligante. Outro tipo de movimento de materiais denomina-se subida ou bombagem de finos, em que ocorre a presença de finos, oriundas das camadas granulares e do solo de fundação.

De acordo com Reis (2013, p. 21), por muitos anos, os órgãos responsáveis pela manutenção viária, mantinham as estradas adicionando camadas de pavimento asfáltico sucessivamente sobre outras camadas já existentes, com recapeamentos periódicos. Essa forma de recapeamento apresenta problemas com relação à altura de meio-fio, desnível entre as pistas e tampões de ferro, altura útil em túneis ou abaixo de viadutos, degraus em acostamentos, etc. (Figura 4).

Figura 4: Desnível de 10cm entre a pista e tampão de ferro



Fonte: (REIS, 2013)

2.3 FRESAGEM ASFÁLTICA

Segundo Tagliaferri, (2014), a fresagem consiste no corte ou desbaste de uma ou mais camadas do revestimento asfáltico, por processo mecânico, através de cortes por movimentos rotativos contínuos a quente ou a frio. Reis (2013, p. 28), afirma que: “o agregado fresado é constituído por grumos de agregados cobertos ou parcialmente recobertos por asfalto envelhecido a eles aderido, o que confere características bastantes peculiares devido à sua composição” (Figura 5).

Em Belo Horizonte o material fresado nas vias públicas é armazenado em depósitos mantidos pelas regionais para ser reutilizado nas camadas de base para novos revestimentos. O termo “reciclagem” tomou destaque no final dos anos 80, devido à preocupação com o esgotamento das fontes de petróleo e outros recursos não renováveis, e também à preocupação quanto à destinação final de resíduos (REIS, 2013, p. 24).

Figura 5: Material fresado armazenado em depósito



Fonte: (CABEÇAS, 2014)

A resolução CONAMA nº 307 de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes para minimizar os impactos causados por resíduos. Os resíduos classe A, provenientes da construção civil (reformas, construção, demolições, corte de terrenos, etc), como tijolos, concreto, materiais cerâmicos, solos, rochas, metais, madeiras, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, tubulação, etc., deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou dispostos em aterros de resíduos, de maneira que permitam sua reutilização futuramente.

2.4 RECICLAGEM A QUENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS

A indústria de asfalto busca aperfeiçoar o uso de recursos obtidos pela fresagem de pavimentos através da reciclagem na construção de novas camadas para obtenção de revestimentos com características semelhantes às do pavimento de origem, reduzindo a quantidade de agregado e betume (VISLAVICIUS; SILVILEVICIUS, 2013, p. 345).

Segundo Reis (2013, p. 27), a fresagem do revestimento existente constitui a primeira etapa da reciclagem, cuja profundidade deve ser especificada em projeto. Esta técnica possibilita o reaproveitamento do pavimento flexível em condição deteriorada através da mistura com agregados e ligantes asfálticos novos.

São vários os tipos de reciclagem de pavimentos devido ao grande número de variáveis que devem ser consideradas no processo. As tecnologias podem variar quanto ao local e à temperatura de fabricação da mistura reciclada (TORRES, 2014, p. 25). Quanto ao local, o material fresado pode ser transportado para ser reciclado em usina, ou pode ser reciclado no próprio local onde o pavimento é desfragmentado e adicionado à nova mistura. Essas técnicas são denominadas respectivamente de reciclagem em usina e reciclagem *in situ*. No que se refere à temperatura, o processo de reciclagem pode ser a frio (temperatura ambiente), semi-quente (o aquecimento varia entre 70°C e 140°C) e a quente (temperaturas superiores a 140°C). Segundo Silva (2014, p. 25), a mistura a frio não demanda gasto energético para aquecimento dos agregados, o que torna essa técnica mais sustentável do ponto de vista ambiental, porém o interesse deste estudo é abordar a técnica de reciclagem a quente, por ser este um dos processos mais utilizados no mercado e ser apontado como boa alternativa em termos de desempenho.

Não obstante a reciclagem apresentar diversas vantagens, a técnica possui desvantagens que devem ser levadas em consideração, como o fato do material fresado ser um componente heterogêneo e possuir betume envelhecido em sua constituição, levando a uma análise mais cuidadosa deste material.

O acréscimo de CAF na fabricação de novas misturas pode ser problemático devido ao ligante envelhecido presente no fresado. Segundo Wu et al. (2007, p. 610), a combinação de CAF e agregado novo a altas temperaturas contribuem para a segregação prematura da mistura asfáltica, além da aceleração do envelhecimento do ligante. O aquecimento excessivo pode causar a oxidação de agentes aglutinantes, em especial dos ligantes frescos. Wu et al. (2007, p.610) afirmam que a mistura do CAF a aditivos rejuvenescedores, juntamente com o controle da temperatura dos componentes da mistura, pode apresentar boas propriedades reológicas.

“Os aditivos rejuvenescedores são produtos com a capacidade de restaurar a parte dos maltenos existente no betume, perdidos durante o tempo de vida útil do pavimento por oxidação” (PALHA et al., 2014, p. 2). Rejuvenescedores aumentam a vida útil dos pavimentos e prolongam a vida útil de misturas recicladas.

2.4.1 Reciclagem a quente *in situ*

Na reciclagem *in situ*, o processo de fresagem do revestimento asfáltico juntamente com a produção de misturas asfálticas novas são realizados no mesmo local. Essa técnica exige muito em termos de equipamento, pois estes são muito específicos e caros. Reis (2013, p. 35) afirma que são utilizados dois tipos de equipamentos móveis durante a realização do procedimento. O primeiro realiza a fresagem do revestimento a frio para em seguida processar a mistura a quente. No caso de acréscimo de agregado, este deve ser espalhado sobre o pavimento antes da fresagem. O segundo equipamento possui unidades desfragmentadoras com câmaras de aquecimento, o pavimento é preaquecido antes da fresagem, por isso a denominação fresagem a quente. Agregados e misturas asfálticas novas são acrescentados em um silo frontal na máquina recicladora para integrarem a mistura juntamente com o fresado, para em seguida realizar o espalhamento e compactação

do material reciclado. A Figura 6 apresenta uma máquina de reciclagem a quente *in situ* com fresagem a quente.

Figura 6: Máquina de reciclagem a quente *in situ* com fresagem a quente



Fonte: (SENYUAN CORPORATION, 2015)

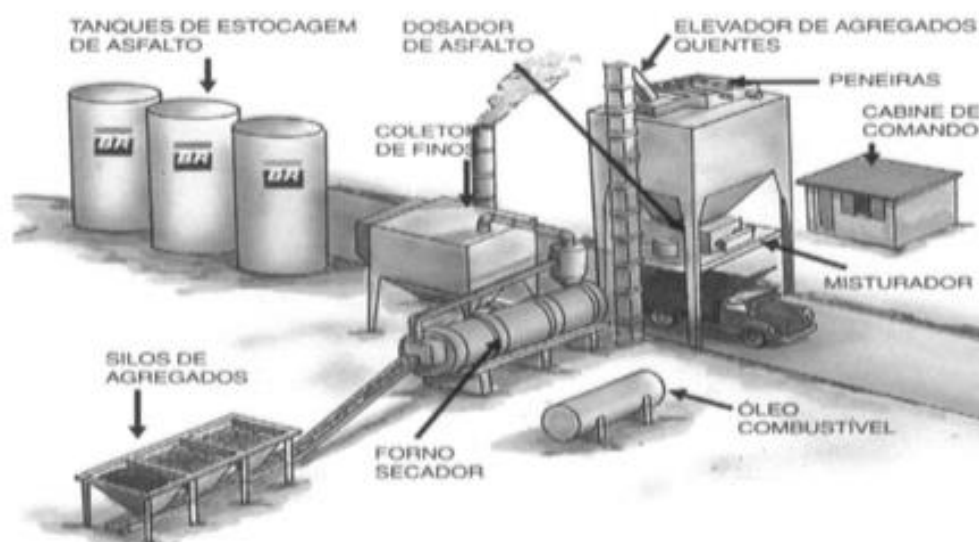
Segundo Torres (2014, p. 27), as vantagens dessa técnica quando comparada às técnicas de reciclagem em usina são que todo o material fresado pode ser aproveitado no local, o custo é relativamente menor, pois não há gastos com o transporte do fresado e rapidez na execução dos trabalhos. As desvantagens apontadas dizem respeito ao tempo em que o tráfego precisa ficar parado e a qualidade final das misturas, tendo em vista que as características são inferiores às produzidas em usina, o comportamento mecânico é menor.

2.4.2 Reciclagem a quente em usina

Na reciclagem em usina o material fresado tem que ser deslocado até o local onde a central se encontra. Nesta técnica o pavimento existente é fresado e transportado até a usina onde é feita a nova mistura, para novamente ser transportado ao local da obra. Tecnicamente esse tipo de reciclagem é escolhido devido à qualidade superior da mistura quando comparada à reciclagem *in situ* (TORRES, 2014, p. 28).

Dantas et. al (2007, p. 2) sustentam que no processo de reciclagem em central são utilizados dois tipos de usinas, a usina gravimétrica ou vertical e a usina horizontal. Na Figura 7 uma usina de asfalto vertical é representada.

Figura 7: Representação esquemática de uma usina de asfalto vertical



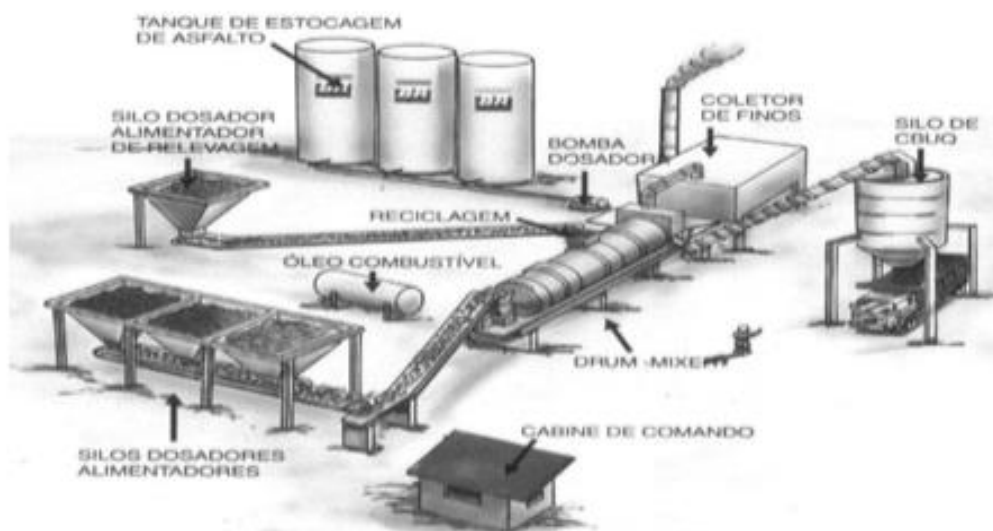
Fonte: (REIS, 2013)

As usinas gravimétricas são constituídas por um depósito para armazenagem de material fresado, que em seguida são encaminhados para um forno secador, onde se retira a umidade do CAF. Após a secagem, o material é transportado através de um elevador até as peneiras vibratórias para separação. Reis (2013, p. 34) afirma que nesse processo são utilizados 10% a 35% de material fresado na mistura reciclada, podendo utilizar até 50% de fresado na mistura dependendo das condições de umidade e temperatura.

As usinas horizontais possuem depósitos para armazenagem de agregados, que são dosados conforme especificação em projeto para em seguida através de correias transportadoras serem levados até o tambor onde são aquecidos até que atinjam a temperatura necessária para desenvolvimento da mistura. No interior do tambor, fresado e agregados são misturados, para que no final do tambor sejam acrescentados asfalto novo e ligante. A mistura pronta é transportada até silos de

armazenagem, de onde são feitos os carregamentos de veículos de transporte para as obras. Neste processo podem ser aproveitados até 70% de CAF na mistura (REIS, 2013, p. 35). A Figura 8 representa uma usina de asfalto horizontal.

Figura 8: Representação esquemática de uma usina de asfalto horizontal



Fonte: (REIS, 2013)

Segundo Cabeças (2014, p. 55), as vantagens dessa técnica são que o controle e proporção de materiais utilizados é mais preciso, além da homogeneidade no processo de mistura dos produtos reciclados devido ao processo de medição e pesagem. Quando comparada a reciclagem *in situ*, a técnica de reciclagem em usina permite o espalhamento e compactação através de equipamentos convencionais, além de não ser necessário prender o tráfego. Outra vantagem desta técnica é que o comportamento mecânico é superior a da reciclagem *in situ*. Pode-se dizer que as desvantagens da reciclagem em usina estão relacionadas com o fato de que em pequenas obras a usina deverá estar próxima do local para que não haja prejuízos econômicos, além da limitação quanto a porcentagem de incorporação de material fresado na mistura.

2.5 LADRILHO HIDRÁULICO

O ladrilho hidráulico, assim como o pavimento asfáltico é um material compósito, ou seja, é uma mistura física de dois ou mais materiais, que combinados formam um novo material de utilidade para a engenharia, apresentando propriedades diferentes caso os componentes fossem apresentados puros. Conforme Campos (2011, p. 33), os ladrilhos hidráulicos são fabricados com aglomerante hidráulico (cimento Portland), pigmento e agregados, normalizados pela ABNT.

A NBR 9457 (1986), define ladrilho hidráulico como “placa de concreto de alta resistência ao desgaste para acabamento de paredes e pisos internos e externos, contendo uma superfície com textura lisa ou em relevo, colorida ou não, de formato quadrado, retangular ou outra forma geométrica definida”.

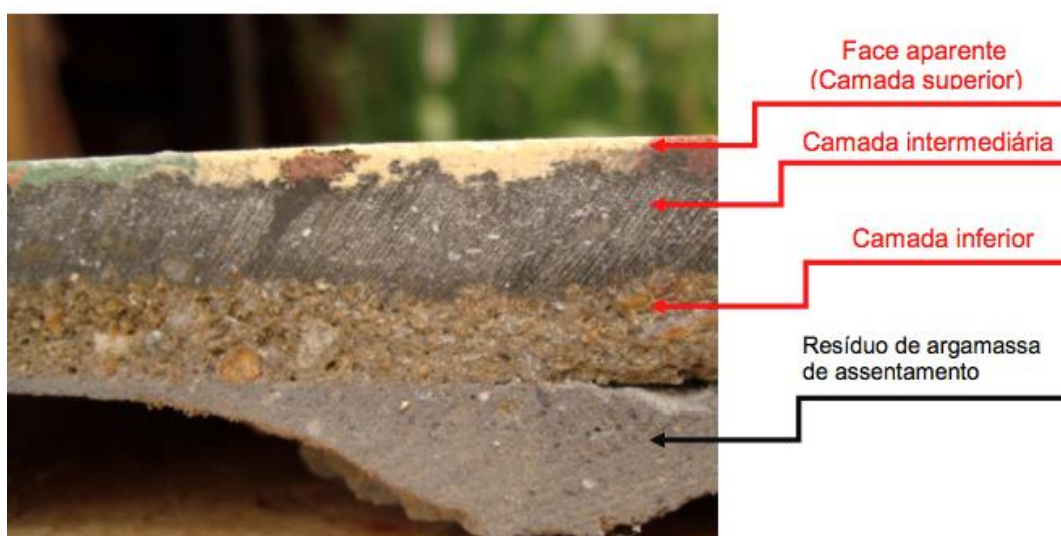
Em visita à fábrica de ladrilhos hidráulicos Ladricuperr em Santa Luzia - MG no dia 07 de abril de 2016, foi observado o processo de fabricação de ladrilhos hidráulicos decorativos e ladrilhos hidráulicos pisos táteis. Este revestimento é confeccionado à base de cimento Portland, areia sílica ou pó de mármore moído e pigmento. Por ser um aglomerante hidráulico, o cimento Portland adquire resistência durante o processo de cura, ou seja, com adição de água, por isso a denominação ladrilho hidráulico. Uma das vantagens da utilização dos ladrilhos hidráulicos é a possibilidade de utilizar juntas cegas ou milimétricas, uma vez que esse revestimento possui essencialmente argamassa em sua constituição fazendo com que o ladrilho se movimente juntamente com o piso, diferentemente dos ladrilhos cerâmicos, que têm necessidade de rejunte para evidenciar a dilatação das peças (CAVALLI; VALDUGA, 2006).

Este revestimento começou a ser utilizado no Brasil no início do século XX, principalmente em áreas frias de residências, no momento de expansão imobiliária brasileira. A produção de ladrilhos hidráulicos na Ladricuperr é artesanal, através de técnicas passadas de geração a geração. Apesar da Ladricuperr estar estabelecida no mercado há cinco anos, o proprietário Ronaldo trabalha na confecção de ladrilhos há 24 anos.

Conforme a NBR 9457 (1986), o ladrilho hidráulico apresenta três partes. A face aparente pertence à camada superior, podendo ser lisa ou possuir relevos, colorida ou monocromática, com espessura de 5mm; a camada intermediária, localiza-se

entre a camada superior e a inferior com espessura de 5mm e a camada inferior, onde fica localizada a superfície destinada ao assentamento, com espessura de 10mm (Figura 9). A camada inferior do revestimento hidráulico influencia diretamente nas propriedades do ladrilho hidráulico como absorção de água e módulo de resistência à flexão (REIS; TRISTÃO, 2010).

Figura 9: Corte lateral de ladrilho hidráulico produzido em 2010



Fonte: (CAMPOS, 2011)

O processo de fabricação dos ladrilhos hidráulicos tem início a partir da escolha do molde (Figura 10), dimensões e finalidade do revestimento, que podem ser quadrados, retangulares, sextavados e oitavados. A dimensão mais usual é de 200 x 200 mm, podendo ser de 100 x 100 mm ou 150 x 150 mm, dentre outras e sua utilização como painéis decorativos, rodapés ou pisos táteis. A espessura dos ladrilhos varia de 16 a 20 mm.

Figura 10: Molde para ladrilho 200 x 200 mm



Fonte: (AUTORA, 2016)

Para fabricação do ladrilho são necessários os seguintes equipamentos: molde ou matriz de material metálico, configurados conforme o desenho a ser produzido na superfície do revestimento, com a função de separar as cores; forma de ferro, constituída por prato, caixa para enquadramento e tampão; paleta, indispensável para nivelar as camadas do ladrilho (Figura 11).

Figura 11: Peças que compõem a forma de ferro para ladrilho (prato, quadro e tampão)



Fonte: (AUTORA, 2016)

Após a escolha do molde metálico e definição das cores, o molde é colocado no prato, para em seguida encaixar a caixa para enquadramento. Feita a montagem, faz-se a adição de pigmento nas cores desejadas pelo cliente, para em seguida acrescentar o secante (Figura 12). O secante para peças decorativas é constituído de cimento e pó de mármore, já para pisos táteis o secante é uma mistura de cimento e pó de brita. Após o acréscimo de secante, usa-se a paleta para nivelar a camada para em seguida adicionar cimento com areia lavada numa textura de massa para contra piso. Novamente se faz o uso da paleta para nivelamento da camada.

Figura 12: Adição de pigmento e acréscimo de secante



Fonte: (AUTORA, 2016)

Após adicionar as três camadas é colocado o tampão para ser levado à prensa para realizar a compactação (Figura 13). Após a compactação a caixa para enquadramento é retirada, em seguida são removidos o tampão e a peça respectivamente (Figura 14).

Figura 13: Adição cimento e areia lavada e acréscimo do tampão para prensagem



Fonte: (AUTORA, 2016)

Figura 14: Prensagem do ladrilho hidráulico



Fonte: (AUTORA, 2016)

Cada peça pronta é armazenada em uma prateleira de madeira com grade denominada girafa por aproximadamente 12 horas (Figura 15). Posteriormente essas peças são direcionadas a uma caixa d'água, onde permanecem por um tempo mínimo de 12 horas e máximo de 24 horas. Finalizado esse tempo de hidratação as peças secam à temperatura ambiente, ao ar livre por um período de aproximadamente 10 dias. Os ladrilhos decorativos devem secar à sombra para evitar manchas devido ao uso do pigmento.

Figura 15: Peças armazenadas na girafa



Fonte: (AUTORA, 2016)

O ladrilho hidráulico caiu em desuso na década de 1960, quando a cerâmica passou a dominar o mercado da construção civil e dessa forma perdeu espaço devido à sua característica artesanal de produção. Sendo assim, devido às vantagens oferecidas pela cerâmica, como estética, durabilidade, indeformabilidade, impermeabilidade e baixo custo, muitas construções substituíram os ladrilhos hidráulicos por outros revestimentos (CAMPOS, 2011, p.153).

No final do século XX, o interesse pelo ladrilho hidráulico reascendeu. “A retomada de fabricação de ladrilho, explorando as potencialidades da técnica de base manufatureira, a partir de estudos para o aperfeiçoamento do produto, valoriza os diferenciais que viabilizam o posicionamento de sua aceitação perante os revestimentos similares industrializados” (CAMPOS, 2011, p. 167). A Figura 16 é um exemplo de piso decorativo de ladrilho hidráulico.

Figura 16: Piso decorativo

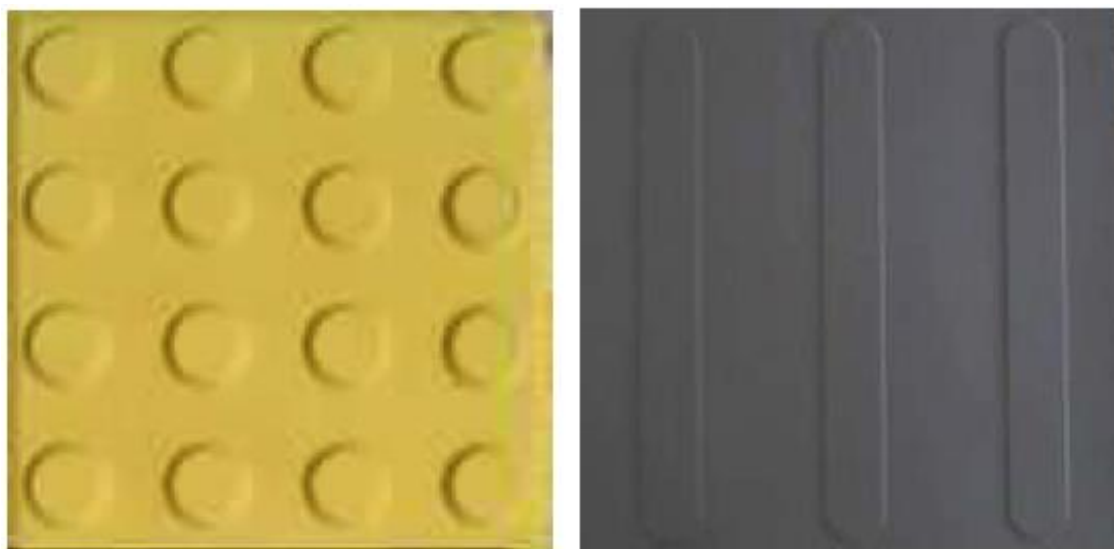


Fonte: (AUTORA, 2016)

“Com o advento da adaptação de calçadas em padrões de acessibilidade, foi desenvolvido o ladrilho hidráulico piso tátil para constituir a faixa de piso de alerta para deficientes visuais” (REIS; TRISTÃO, 2010). Segundo Campos (2011, p. 38), foram desenvolvidos dois padrões de ladrilho hidráulico com diferentes relevos para

constituir duas faixas de piso tátil, uma direcional e outra de alerta, para orientar deficientes visuais (Figura 17). Em Belo Horizonte, a paginação de ladrilhos de calçada é determinada pela PBH, em que cada regional possui um modelo, uma cor e uma paginação determinada. Essa paginação deve ser seguida pelas construtoras ou pelos proprietários dos imóveis, obedecendo às normas de acessibilidade.

Figura 17: Padrões de ladrilho hidráulico tátil



Fonte: (CAMPOS, 2011)

Segundo Marques (2012, p.24), os ladrilhos hidráulicos pisos táteis em zonas de tráfego intenso são apresentados como revestimentos de alta resistência, unindo características antiderrapantes e de alta resistência à abrasão, sendo indicados para: calçadas, passeios públicos, praças, garagens, ambientes internos, bordas de piscinas, etc., sendo seguros para a população mesmo quando molhados.

A norma NBR 9457/86 especifica as condições para recebimento dos ladrilhos hidráulicos. A norma exige que a camada inferior do revestimento seja confeccionada de material poroso para favorecer a aderência da argamassa. As características técnicas dos ladrilhos hidráulicos, segundo a norma, devem ser comprovadas por testes laboratoriais após 28 dias de sua fabricação e apresentar limites dos ensaios de absorção de água e módulo de resistência à flexão conforme a tabela 2. Segundo Cavalli; Valduga (2006), a absorção e a porosidade superficial

dos revestimentos podem ser corrigidas com aplicação de uma impermeabilização adequada nos ladrilhos.

Tabela 2: Limites estabelecidos pela NBR 9457/86 para ensaios em ladrilhos hidráulicos

	Absorção de água	Resistência à flexão
Limite máximo	8%	–
Valor médio da amostra	–	5,0 MPa
Valor individual da amostra	–	4,6 MPa

Fonte: (ABNT, 1986)

2.6 LADRILHO CERÂMICO

“O termo ‘cerâmica’ vem da palavra grega *keramikos*, que significa ‘matéria queimada’, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são atingidas normalmente através de um processo de tratamento térmico à alta temperatura chamado de cozimento” (CALLISTER, 2008).

Belini (2007, p. 15), afirma que a origem da cerâmica é datada de 13 mil anos a.C. no Egito, porém, é difícil determinar quando esse material começou a ser produzido em escala industrial. A cerâmica mais refinada teve origem na China, onde foram criadas as cerâmicas de grés (argila queimada em alta temperatura, vitrificada e colorida). Os esmaltes foram criados a partir da evolução dos fornos utilizados na queima desse material. De acordo com Hoffmann et al (2012, p. 175), os ladrilhos cerâmicos começaram a se apresentar como produtos competitivos, atendendo características estéticas e técnicas à partir da modernização dos fornos e uso de prensas hidráulicas cada vez mais potentes.

Os ladrilhos cerâmicos se destacam por serem nobres e versáteis, além de apresentarem menor custo benefício quando comparados aos ladrilhos hidráulicos. “A indústria cerâmica para revestimentos no Brasil surgiu a partir de antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica vermelha, que no início do século XX

começaram a produzir ladrilhos hidráulicos e, mais tarde, azulejos e pastilhas cerâmicas e de vidro” (GORINI; CORREA, 1999, p. 202). Segundo Lopes (2012, p. 45), características como durabilidade, facilidade de limpeza e aspecto estético, são as principais vantagens de utilização desse tipo de revestimento.

De acordo com o Inmetro (2012), o Brasil é o quarto maior produtor mundial de revestimento cerâmico e o terceiro maior exportador do mundo. A indústria de revestimentos cerâmicos encontra a matéria prima utilizada na produção na própria natureza (Figura 18). Os materiais podem ser plásticos e não plásticos.

Figura 18: Jazida de extração de argila



Fonte: (EMBRAMACO, 2013)

Os materiais argilosos são materiais plásticos, e compreendem:

- Argilas carbonáticas: Apresentam após a queima uma coloração bege-laranja devido à presença de minerais ferrosos em sua composição.
- Argilas plásticas gresificadas: Apresentam coloração vermelha após a queima. Caracterizam-se pela ausência quase total de carbonatos.
- Argilas plásticas brancas: Originam produtos de coloração branca. As características de resistência mecânica e porosidade após a queima ficam bastante evidentes.

- Argilas caulínicas: Apresenta cor branca após a queima, além de características refratárias.

Os materiais não plásticos, ou matérias primas complementares compreendem:

- Areias feldspáticas, feldspatos e quartzo: São incorporados na constituição como materiais inertes ou refratários facilitando a eliminação de compostos voláteis que se desenvolvem durante o processo de queima.
- Calcitas e/ou dolomitas: São materiais fundamentais nas massas de revestimento.

Segundo Gorini; Correa (1999, p. 206), o processo de produção dos ladrilhos cerâmicos é automatizado, os equipamentos são modernos e a interferência humana só ocorre em atividades de controle dos processos, inspeção da qualidade, armazenagem e expedição. De acordo com Lopes (2012, p.75), os ladrilhos cerâmicos, são produzidos com uma grande variação de características, em função das matérias primas utilizadas e dos métodos e procedimentos de fabricação, o grau de vitrificação, a porosidade e o desempenho mecânico das peças cerâmicas dependem desses parâmetros.

Segundo dados da empresa Embramaco (2013), o processo de fabricação de ladrilhos cerâmicos, tem início na extração da matéria prima base, que é a argila, composta a partir das formações rochosas das jazidas. São de cor avermelhada devido à presença de óxido de ferro e agregam elementos alcalinos terrosos, como cálcio e magnésio. Após a extração da argila, os blocos são destorroados, espalhados em áreas grandes, triturados e homogeneizados por rolos compressores, para que ocorra a secagem natural. Quando a umidade atinge cerca de 5%, a argila é armazenada em galpões (Figura 19), para em seguida passar pelos processos de pré moagem, moagem, peneiramento e turbo granulação (Figuras 20 e 21).

Figura 19: Galpão de armazenamento de argila



Fonte: (EMBRAMACO, 2013)

Figura 20: Moinho



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Figura 21: Peneiras



Fonte: (EMBRAMACO, 2013)

Em seguida, após atingir a umidade de 9,5% a 10%, a argila é transportada aos silos da linha de produção (Figura 22). Segundo Hoffmann et al (2012, p. 176), o feldspato presente na massa dos revestimentos cerâmicos, confere a baixa porosidade dos ladrilhos, fazendo com que sua resistência mecânica seja maior. Souza et al (2011, p 213), classificam os feldspatos como material fundente, com capacidade de preencher a porosidade aberta da estrutura da peça cerâmica, durante a fase líquida no processo de sinterização. A massa granulada é prensada, com uma carga de até 2.200 toneladas e transformadas em placas cerâmicas, é nesse processo que o ladrilho adquire a forma conhecida (Figura 23). Depois de prensadas, as placas cerâmicas passam por secadores a rolo, onde a umidade diminui para 0,8%.

Figura 22: Jazida de extração de argila



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Figura 23: Momento da prensagem do revestimento cerâmico



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Após esse processo, o ladrilho cerâmico, segue para a etapa de esmaltação, onde é aplicado o engobe, selante que forma uma camada branca e regulariza a superfície do piso, criando uma interface entre a massa e o esmalte (Figura 24). Na sequência é aplicado o esmalte vitrificado, que impermeabiliza o revestimento de cima para baixo (Figura 25). Depois do esmalte, a placa cerâmica recebe a impressão decorativa, para antes da queima receber o engobe de muratura na parte inferior do ladrilho, para proteger os rolos do forno durante a queima.

Figura 24: Processo de esmaltação



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Figura 25: Aplicação de esmalte vitrificado



Fonte: (EMBRAMACO, 2013)

A temperatura dos fornos pode chegar até 1.150°C, nessa etapa o revestimento sofre a sinterização da massa e as vitrificações do engobe do esmalte, da decoração e das granilhas (Figura 26). Ao final do processo, a alta temperatura funde todas as matérias primas e cria uma superfície impermeabilizada. Ao sair do forno, um jateamento de ar frio resulta no endurecimento do esmalte do revestimento.

Figura 26: Forno



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Após a produção, os ladrilhos cerâmicos passam pelo controle de qualidade, através de inspeção visual e eletrônica, e são classificados em A, B, C ou D, de acordo com os defeitos encontrados (Figura 27). O que difere o ladrilho hidráulico do ladrilho cerâmico é o fato do cerâmico passar por um processo de queima, enquanto o ladrilho hidráulico passa por um sistema de cura úmida.

Figura 27: Inspeção visual



Fonte: (PORTOBELLO, 2013)

Silva (2014, p. 23), define normas, como documentos que firmam as especificações e procedimentos para garantir que os produtos e serviços sejam seguros, confiáveis e desempenhados dentro dos critérios de qualidade e segurança estabelecidos. A NBR 13.818/97 especifica as características para fabricação, recebimento, inspeção, ensaios, etc. Os ensaios indicados na norma, a fim de atestar a qualidade dos ladrilhos cerâmicos que foram aplicados neste estudo são: absorção de água, carga de ruptura e módulo de resistência à flexão e abrasão profunda. A norma, indica limites para verificar se os ladrilhos se enquadram nos padrões necessários para comercialização. Segundo Oliveira (2000, p.37), as cerâmicas são classificadas em vários grupos que dependem do método de fabricação (extrudado ou prensado) e do valor de absorção de água do produto finalizado. O quadro 1 mostra os limites definidos pela NBR 13.818/97 para placas cerâmicas prensadas (todos os ladrilhos utilizados nesta pesquisa foram prensados).

Quadro 1: Classificação e limites dos ensaios em revestimentos cerâmicos

		PEÇAS CERÂMICAS PRENSADAS (MÉTODO B)					
		GRUPO	la	lb	IIa	IIb	III
Absorção	Média (%)	$\leq 0,5$	$0,5 < \text{abs} \leq 3$	$3 < \text{abs} \leq 6$	$6 < \text{abs} \leq 10$	> 10	
	Individual máxima (%)	0,6	3,3	6,5	11	9	
Módulo de resistência à flexão	Média (MPa)	≥ 35	≥ 30	≥ 22	≥ 18	≥ 15	
	Individual mínima (MPa)	32	27	20	16	≥ 12	
Carga de ruptura	$e \geq 7,5$ mm	≥ 1300	≥ 1100	≥ 1000	≥ 800	≥ 600	
	$e < 7,5$ mm	≥ 700	≥ 700	≥ 600	≥ 500	≥ 200	

Fonte: (ABNT, 1997)

Os ladrilhos cerâmicos são classificados em métodos e grupos em função da absorção de água e seu processo de fabricação. Os revestimentos extrudidos, ou seja, conformados no estado plástico por uma extrusora, são classificados como método A. Os ladrilhos cerâmicos prensados, conformados a partir de uma mistura finamente moída, tomam forma através de prensagem e moldes (SILVA, 2014, p. 28). Segundo Lopes (2012, p. 56), os ladrilhos prensados apresentam melhores características de resistência mecânica que os ladrilhos extrudidos. Quanto à absorção de água, os ladrilhos podem ser classificados em 3 grupos: o grupo Ia é destinado aos ladrilhos de absorção muito baixa ($\leq 0,5\%$), o grupo Ib aos ladrilhos de absorção baixa ($0,5 < \text{abs} \leq 3$), o grupo IIa aos ladrilhos de absorção média baixa ($3 < \text{abs} \leq 6$), o grupo IIb aos revestimentos de absorção média alta ($6 < \text{abs} \leq 10$) e o grupo III aos ladrilhos de alta absorção (> 10).

Segundo Silva (2014, p. 35), quando o revestimento for assentado, em áreas externas em regiões de alta pluviosidade, deve-se utilizar ladrilhos cerâmicos de classificação Bla, pois são ladrilhos prensados e com absorção de água muito baixa ($\leq 0,5\%$). Após a classificação dos ladrilhos quanto à absorção de água, a norma NBR 13.818:1997 (Anexo C) padroniza o método de ensaio, para a determinação do módulo de ruptura e da resistência à flexão nos ladrilhos cerâmicos, bem como os requisitos mínimos para estarem em conformidade com a norma.

Segundo Lopes (2012, p. 48), os revestimentos cerâmicos podem ser colados tanto em paredes como em pisos e o tipo de argamassa a ser utilizado depende do ambiente em que o ladrilho cerâmico será utilizado. De acordo com Ferreira (2014, p. 25), a adesão dos ladrilhos cerâmicos é feita principalmente através de argamassas. Os objetivos da argamassa são: fazer a ligação dos materiais garantindo bom acabamento, proteger da degradação e melhorar o isolamento térmico.

A norma NBR 14.081-1:2012 fixa, os requisitos necessários para argamassas colantes industrializadas, destinadas ao assentamento de placas cerâmicas pela metodologia de camada fina. Argamassa colante industrializada é definida como “produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas

cerâmicas para revestimento” (NBR 14.081-1:2012). As argamassas colantes são classificadas pela sigla AC, acrescidas de algarismos romanos I, II e III, que indicam seu tipo:

- Argamassa colante industrializada AC-I – Apresenta características de resistência às solicitações mecânicas e termo-higrométricas aplicáveis a revestimentos internos, exceto em saunas, churrasqueiras, estufas e afins.
- Argamassa colante industrializada AC-II – Suas características de adesividade possibilitam a absorção de esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termo higrométricas e ações do vento.
- Argamassa colante industrializada AC-III - Apresenta aderência superior em relação às argamassas tipo I e II.

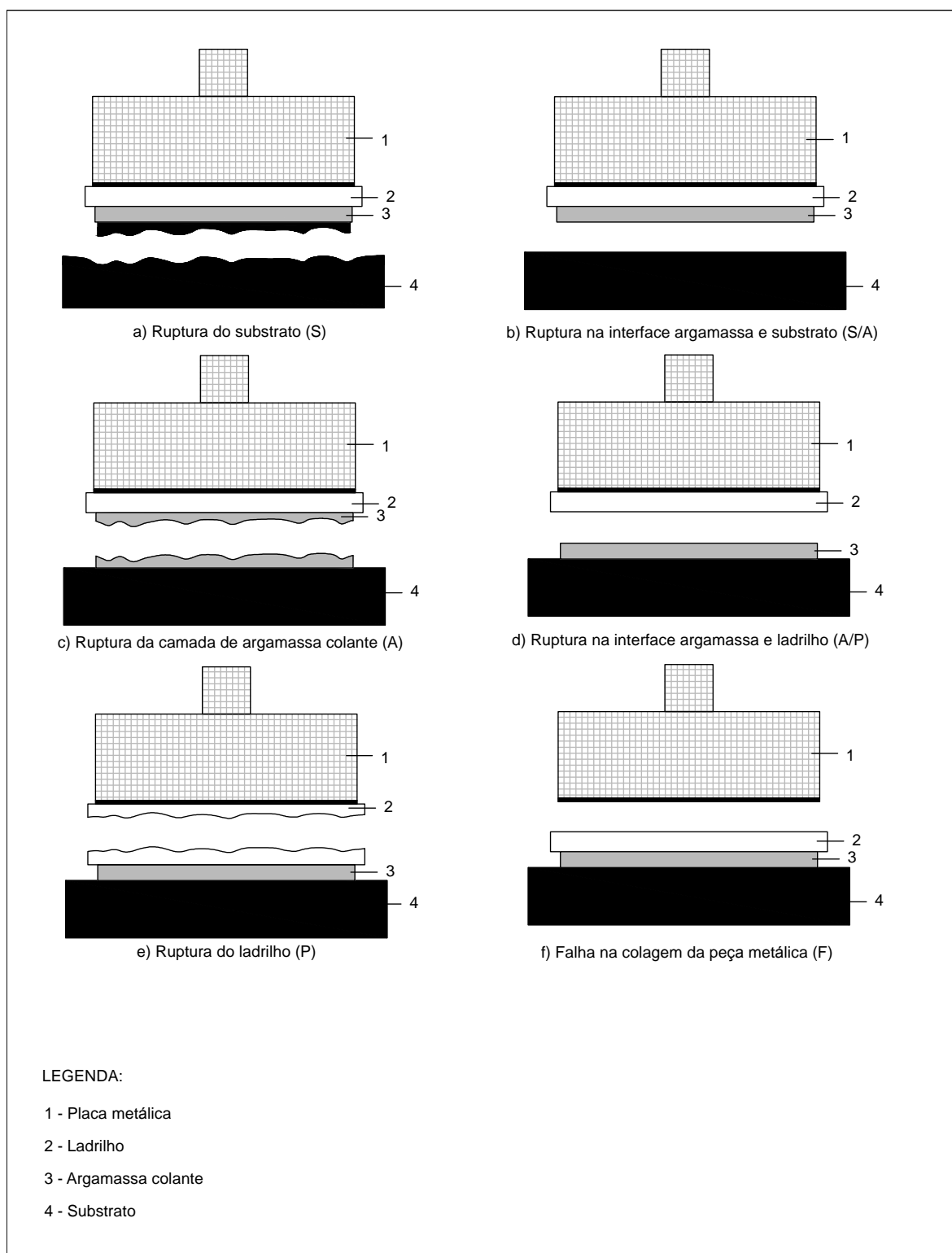
Ferreira (2014, p. 32), afirma que, para que se obtenha boa adesividade, a superfície deve ser bem preparada, pois as sujeiras e outros contaminantes dificultam a aderência. A aderência em argamassas trata-se da força máxima de ruptura por unidade de superfície, determinada através da aplicação de uma força de tração. A NBR 14.081-4:2012 estabelece a metodologia para determinar a resistência de aderência, medida através de arrancamento por tração simples, para argamassa colante industrializada, para assentamento de revestimentos cerâmicos em pisos e paredes pelo método da camada fina. O objetivo deste ensaio é avaliar o comportamento das argamassas com vários materiais. A norma, ainda estabelece os tipos de ruptura que podem ocorrer em função das argamassas (Figura 28):

- Ruptura do substrato (S);
- Ruptura na interface argamassa e substrato (S/A);
- Ruptura da camada de argamassa colante (A);
- Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P);
- Ruptura da placa cerâmica (P);
- Falha na colagem da peça metálica (F).

Ferreira (2014, p.35) relata que a tensão de aderência é influenciada por fatores como teor de umidade, porosidade, dimensões, espessuras, tipo de argamassa e

condições de aplicação. A norma NBR 14.081-4:2012 padroniza como requisito mínimo de tensão de ruptura 0,30 MPa.

Figura 28: Tipos de rupturas em função das argamassas

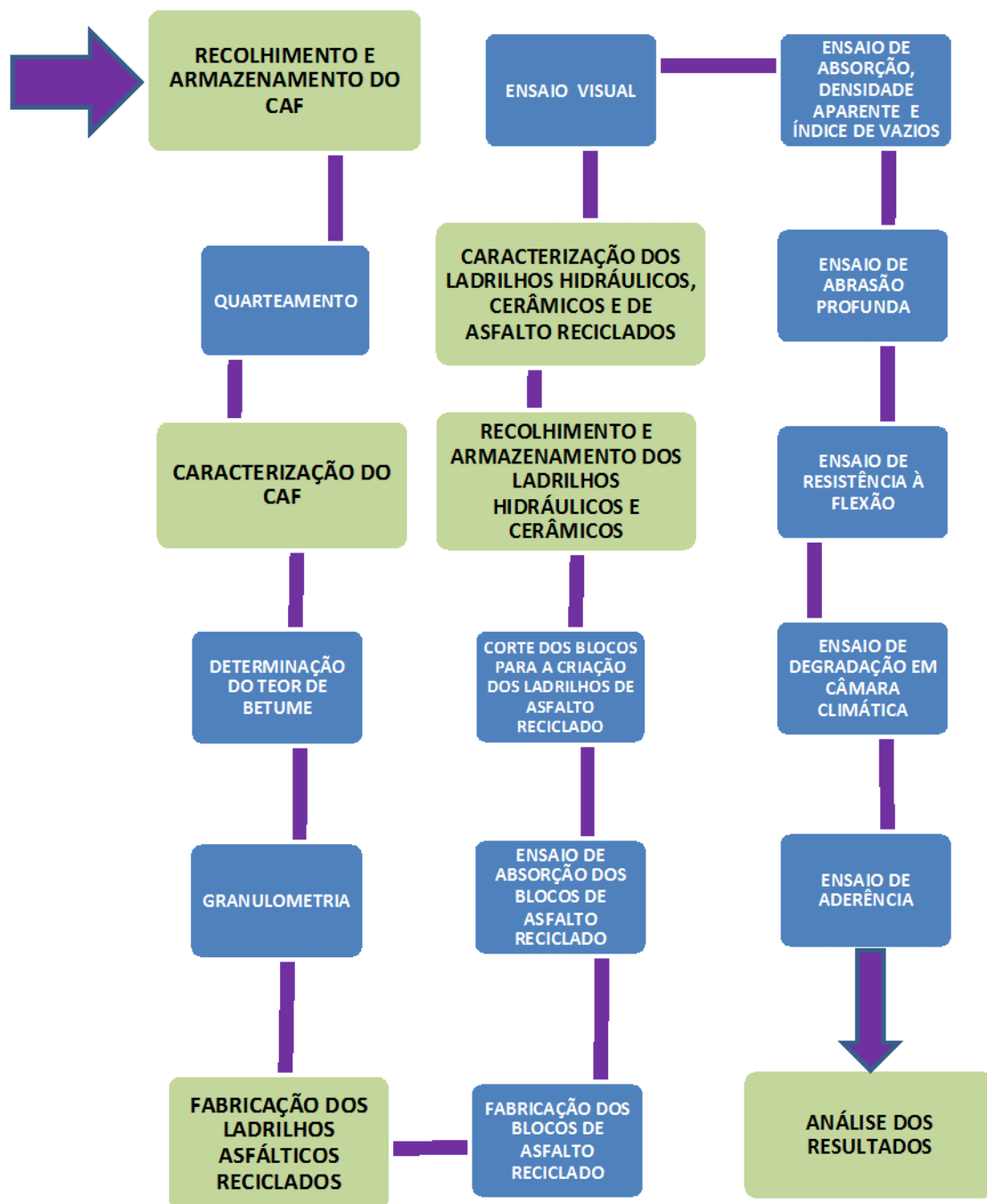


Fonte: (ABNT, 2012)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando reaproveitar o CAF armazenado em depósitos e dar à ele novas opções de destinação, foram fabricados blocos de asfalto reciclado a quente que posteriormente foram cortados para dar forma aos ladrilhos de asfalto reciclado. O CAF, foi caracterizado por meio de ensaios de teor de betume e granulometria. Os blocos de asfalto reciclado, passaram por análise de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios. Os ladrilhos de asfalto reciclado, juntamente com ladrilhos hidráulicos e ladrilhos cerâmicos após ensaio visual, foram caracterizados através de ensaios físicos de absorção de água, densidade aparente, índice de vazios, desgaste por abrasão profunda, módulo de resistência à flexão, degradação em câmara climática e aderência. O objetivo da realização da caracterização, nos três tipos de material foi, comparar as propriedades físicas de cada um para obter parâmetros, uma vez que, o ladrilho de asfalto reciclado não é comercializado e portanto, não existem normas acerca desse revestimento, que estabeleçam um padrão de qualidade para comercialização. O fluxograma da metodologia adotada é apresentado na Figura 29.

Figura 29: Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: (AUTORA, 2016)

3.1 MATERIAIS

O principal material utilizado nesta pesquisa foi o concreto asfáltico fresado (CAF), resíduo originado à partir da fresagem de pavimentos em ações de recapeamentos. O CAF aquecido e acrescido de cimento asfáltico de petróleo (CAP), prensado e cortado dá origem aos ladrilhos de asfalto reciclado. Devido à falta de procedimentos para caracterização desse tipo de ladrilho, foram utilizadas normas referentes à ladrilhos hidráulicos e cerâmicos e conseqüentemente o ensaio desses revestimentos para posterior comparação dos resultados.

3.1.1 Concreto asfáltico fresado (CAF)

O CAF utilizado nessa pesquisa, foi fornecido pela secretaria de obras da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) e recolhido das pilhas de estocagem do depósito da regional centro-sul, localizado próximo à rodoviária conforme mostra a Figura 30. Os procedimentos de coleta das amostras foram, embasados na norma DNER – PRO 120/97, que dispõe sobre a coleta de amostras de agregados finos e graúdos sob diversas formas de estocagem. As amostras foram obtidas de vários pontos da pilha, dispostos alternadamente de um lado e de outro, desde a crista até a base. Após coletadas, as amostras foram embaladas em sacos devidamente identificados, contendo dados de identificação, procedência, data e local da coleta. Foram recolhidos 4 sacos de material fresado, contendo aproximadamente 30 kg cada um, totalizando 120 kg.

Figura 30: Pilha de estocagem de material fresado da regional Centro-Sul.



Fonte: (AUTORA, 2016)

3.1.2 Cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Juntamente com o CAF, foi utilizado o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70, fornecido pela Petrobrás. O CAP é um ligante que apresenta características adequadas para o uso na construção de pavimentos (Figura 31). É um material que apresenta comportamento viscoso em função da temperatura (CASTRO, 2003, p. 7). De acordo com Lima (2008, p. 12), o CAP é um material termoplástico, cuja consistência varia de sólido a líquido à medida que é aquecido, torna-se líquido ao ser aquecido e retorna ao estado sólido após resfriamento. Para elaboração do ladrilho de asfalto reciclado, foi adicionado 1% de CAP ao CAF, pois durante o processo de fresagem pequenas proporções de agregados existentes na base dos pavimentos são incorporados ao CAF, fazendo com que esse material seja relativamente pobre em quantidade de CAP. A partir dessas matérias primas, foram confeccionados os ladrilhos de asfalto reciclado.

Figura 31: Cimento asfáltico de petróleo (CAP)



Fonte: (AUTORA, 2016)

3.1.3 Ladrilhos hidráulicos

Além do CAF, foram utilizados nessa pesquisa ladrilhos hidráulicos. Os ladrilhos hidráulicos, foram gentilmente doados pela empresa Ladricupper, localizada em Santa Luzia / MG. Foram doados revestimentos hidráulicos, utilizados para duas finalidades: decorativos e pisos táteis na dimensão de 200 x 200 x 20 mm.

3.1.4 Ladrilhos cerâmicos

Os ladrilhos cerâmicos foram comprados na cor branca e dimensão de 100 x 100 x 10 mm, a categoria desses ladrilhos foi determinada após os ensaios de absorção de água, módulo de resistência à flexão e carga de ruptura e foram utilizados juntamente com os ladrilhos de asfalto reciclados e ladrilhos hidráulicos, nos ensaios físicos, visando a comparação das características.

3.2 MÉTODOS

Foram descritos de forma cronológica os métodos utilizados para caracterização dos materiais estudados nesta pesquisa, bem como as normas e instrumentos utilizados. Primeiramente, o concreto asfáltico fresado foi caracterizado, para então iniciar a confecção dos ladrilhos de asfalto reciclado. O primeiro passo para caracterização do material fresado, foi a extração do betume, para que a amostra fosse submetida à análise granulométrica. Em seguida, foi utilizada uma forma com dimensões 100 x 100 x 200 mm, onde foram moldados blocos de mistura de CAF acrescidos de 1% de ligante (CAP) aquecido, para posterior corte com serra de mármore na espessura de 20 mm, constituindo os ladrilhos asfálticos reciclados. Para testes comparativos, foram utilizadas amostras de ladrilhos hidráulicos e cerâmicos na mesma quantidade de ladrilhos asfálticos.

3.2.1 Determinação do teor de betume

Antes de submeter as amostras de material fresado à análise granulométrica o betume contido no CAF foi extraído, para que restasse apenas agregados para a análise granulométrica. O teor de betume indica a porcentagem de CAP existente na mistura asfáltica. O ensaio que determina a porcentagem de betume em misturas betuminosas é descrito pela norma DNER-ME 053/94. Essa norma descreve a aparelhagem e os procedimentos desse ensaio.

Para submissão ao ensaio, foi necessária a preparação das amostras de CAF. Foram recolhidos no pátio de estocagem da PBH 4 sacos de 30 kg de material fresado. Para preparo das amostras o material recolhido foi homogeneizado no laboratório de tecnologia dos pavimentos e de ferrovias do CEFET-MG, através de um repartidor de amostras como mostra a Figura 32, para em seguida serem novamente armazenados.

Figura 32: Repartidor de amostras



Fonte: (AUTORA, 2016)

Para determinar a porcentagem de betume das amostras, foi utilizado um extrator centrífugo denominado Rotarex (Figura 33). Juntamente com o Rotarex foram necessários balança, estufa e papel filtro com 5 cm de diâmetro. O CAF após o quarteamento foi colocado na estufa a uma temperatura de 100°C por uma hora.

Figura 33: Extrator de betume (Rotarex)



Fonte: (AUTORA, 2016)

Em seguida os grumos foram desmanchados com uma colher. Foi separada uma amostra de 1000 g pesada no interior do prato do Rotarex (Figura 34), em seguida colocou-se o papel filtro no prato centrifugador e firmou-se a tampa. O prato foi colocado no interior do aparelho e um béquer sob o tubo de escoamento do aparelho. No interior do prato acrescentou-se 150 ml de solvente tricloroetileno. Após 15 minutos o aparelho foi ligado, a solução de betume e solvente escoou para o béquer. Após o escoamento o aparelho foi desligado e acrescentou-se mais 150 ml de solvente. Esse procedimento se repetiu por mais 2 vezes até que se atingiu uma mistura de cor clara.

Figura 34: Amostra de CAF no interior do prato



Fonte: (AUTORA, 2016)

Após esse procedimento o prato com o agregado e o papel filtro foram levados à estufa a uma temperatura de 100°C, até que o peso se manteve constante. O agregado depois de seco foi pesado. O peso da amostra antes do ensaio menos o do agregado recuperado forneceu o peso do betume extraído.

A porcentagem de betume foi calculada através da equação 1.

$$P = \frac{\text{Peso do betume extraído}}{\text{Peso da amostra total}} \times 100$$

Equação 1: Porcentagem do teor de betume

A determinação da porcentagem de ligante no material fresado é importante para verificar se o valor obtido de teor de ligante está dentro do preconizado pela norma DNIT 031/2006 – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de

serviço, que estabelece valores limites para a composição do concreto asfáltico. A composição do concreto asfáltico reciclado, utilizado na confecção dos ladrilhos de asfalto reciclado deve satisfazer os requisitos da norma com relação à granulometria e aos percentuais de ligante asfáltico como é mostrado na Figura 35.

Figura 35: Parâmetros para limites de teor de betume e granulometria

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Teor de betume (ml)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

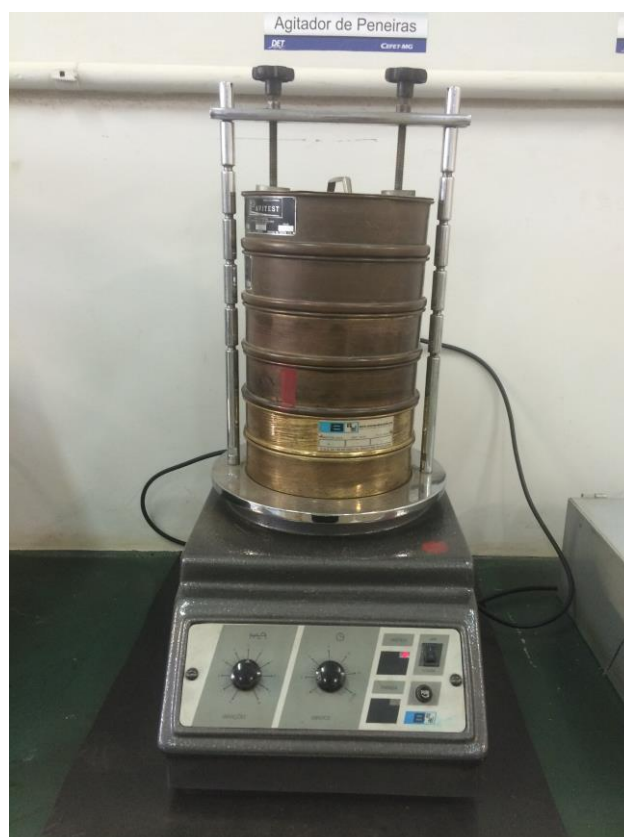
Fonte: (DNIT, 2006)

3.2.2 Análise granulométrica

A granulometria dos materiais foi determinada para saber a graduação e a distribuição granulométrica dos agregados que compõem o fresado de acordo com a norma DNER-ME 083/98, que trata sobre a análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos. O ensaio foi realizado no laboratório de tecnologia dos pavimentos e de ferrovias do CEFET-MG. Neste procedimento foram utilizados como equipamentos: o agitador mecânico de peneiras, peneiras de malhas quadradas, balança, estufa, escova para limpeza das peneiras e tabuleiro. O material fresado ensaiado foi seco em estufa a $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, em seguida resfriado a temperatura ambiente para descrição da sua massa total. As peneiras limpas foram encaixadas posteriormente no agitador de peneiras em ordem crescente da base para o topo, formando um conjunto de peneiras (Figura 36). Na sequência a amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto e submetida à agitação mecânica, em seguida houve a pesagem do material retido em cada peneira tomando o cuidado de retirar com escova apropriada qualquer porção que tenha ficado nas malhas.

A norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço, estabelece os requisitos referentes a materiais, equipamentos, execução e controle de qualidade dos materiais utilizados em obras rodoviárias. A norma DNER – ME – 037/97 – Agregado graúdo para concreto de cimento, define agregado graúdo como: materiais granulares oriundos de rochas, cujos grãos passam na peneira de malha quadrada com abertura de 152 mm e ficam retidas na peneira de 4,8 mm. A norma DNER – ME – 038/97 – Agregado miúdo para concreto de cimento, define agregado miúdo como areia de origem natural ou oriunda do britamento de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira de 4,8 mm e ficam retidas na peneira de 0,075 mm. As peneiras são classificadas em duas séries de acordo com a norma DNER – ME – 035/95 conforme indicado na tabela 3.

Figura 36: Agitador de peneiras



Fonte: (AUTORA, 2016)

Tabela 3: Séries de peneiras

SÉRIE NOMINAL (mm)	SÉRIE INTERMEDIÁRIA (mm)
76	-
-	64
-	50
38	-
-	32
-	25
19	-
-	12,5
9,5	-
-	6,3
4,8	-
2,4	-
1,2	-
0,6	-
0,3	-
0,15	-

Fonte: (DNIT, 1995)

Para se chegar ao resultado, as massas retidas em cada peneira foram somadas e o resultado comparado com a massa inicial da amostra seca. Caso a diferença fosse superior à 0,5% o ensaio deveria ser repetido. Na sequência, a porcentagem em relação à massa de amostra total seca retida em cada peneira foi calculada através da massa retida em cada uma das peneiras. Posteriormente, obteve-se a porcentagem acumulada em cada peneira, através da soma da porcentagem retida na peneira com as porcentagens retidas nas peneiras de aberturas maiores. A porcentagem de material seco que passou em cada peneira foi obtida através da subtração de 100% da porcentagem acumulada em cada peneira. O módulo de finura foi calculado com aproximação de 0,01 através das porcentagens acumuladas em massa de agregados nas peneiras da série normal dividida por 100. A dimensão máxima característica do agregado foi determinada pela porcentagem de agregado igual ou imediatamente inferior à 5% em massa. A norma DNER – ME – 035/95 estabelece ainda, que o agregado miúdo não deve possuir mais que 45%, passando em qualquer peneira e retido na peneira seguinte e seus módulos de finura não devem ser menores que 2,3 nem maiores que 3,1.

3.2.3 Confeção dos blocos de asfalto reciclado

Após a caracterização do material fresado, foram separadas amostras de 3000 g de CAF e 30 g de CAP 50/70, para serem aquecidas à temperatura de aproximadamente 170°C (Figura 37), até que os grumos existentes no material fossem desfeitos e a mistura se tornasse homogênea. Em seguida, a mistura foi armazenada em uma forma de aço retangular de medida 100 x 100 x 200 mm previamente aquecida, onde o material foi submetido à compactação com carga média de 14 Mpa até que a deformação atingisse o limite de 50 mm, na máquina universal para ensaios mecânicos, marca INSTRON / EMIC (Figura 38). Depois de resfriados, os blocos de asfalto reciclado foram desenformados e identificados. Foram confeccionados 10 blocos de asfalto reciclado seguindo esse procedimento.

Figura 37: Aquecimento do CAF antes da prensagem



Fonte: (AUTORA, 2016)

Figura 38: Prensagem do CAF aquecido



Fonte: (AUTORA, 2016)

O material fresado aquecido foi submetido à aplicação de tensão gerada pelo esforço de compressão aplicado a ele. Não foi possível determinar a melhor temperatura e tensão para o processo de prensagem, pelo fato do aquecimento ter sido feito no laboratório de tecnologia dos pavimentos e de ferrovias e a prensagem no laboratório de mecânica dos pavimentos e de materiais, apesar dos laboratórios serem um ao lado do outro, durante o transporte do material, o fresado aquecido perdia calor até a chegada à prensa. No processo de aquecimento do material, a temperatura média para desfazer os grumos de fresado era de 170°C, mas teve casos em que a temperatura para tornar o material homogêneo chegou a atingir 190°C. Durante o transporte do material de um laboratório para o outro, a temperatura ambiente também influenciava na perda de calor do material, pois teve dias em que fez muito calor e dias extremamente frios. Por isso, após a confecção de alguns blocos, optou-se por prensar o material até que ele atingisse 50mm de deformação, pois os elementos estruturais além de se deformarem em função do carregamento, também deformam em função do seu coeficiente de dilatação térmica.

A tabela 4 mostra os valores das tensões obtidas durante a prensagem, o valor médio das tensões e a temperatura aproximada de aquecimento do material fresado.

Tabela 4: Valores de tensão obtidos durante a prensagem dos blocos com deformação de 50mm e temperatura aproximada de aquecimento do material

Número do bloco	Tensão (MPa)	Temperatura aproximada (°C)
01	9,27	190
02	6,24	170
03	11,71	170
04	15,20	170
05	14,35	170
06	26,91	170
07	14,54	170
08	10,57	190
09	19,61	170
10	12,28	170
Média	14,07	

Fonte: (AUTORA, 2016)

Durante o ensaio foi observado que os blocos que apresentaram maior tensão durante a prensagem, eram oriundos de materiais com maior quantidade de agregados graúdos, enquanto os blocos que continham em sua maioria agregados miúdos atingiram a deformação de 50mm com menos esforço de tensão. Os blocos submetidos à temperatura de 190°C tiveram tensões menores que os blocos aquecidos a 170°C. Durante o aquecimento do material utilizado no bloco 2 a 170°C observou-se uma quantidade de grumos superior as outras amostras, porém o corpo de prova atingiu a deformação limite com um esforço de tensão foi muito baixo. O bloco 6 foi o que apresentou valor mais elevado de esforço de tensão e foi o corpo de prova que continha maior quantidade de agregados graúdos, o que fez com que o esforço de compressão fosse maior.

Na sequência, os blocos de asfalto reciclado foram submetidos ao ensaio de densidade.

3.2.4 Determinação da absorção de água, densidade aparente e índice de vazios

Segundo o Inmetro (1998), para revestimentos cerâmicos quanto mais baixa for a absorção, maior a resistência mecânica do produto. O ensaio para determinação da absorção, densidade e índice de vazios foi realizado em dois momentos distintos desse trabalho de pesquisa. O primeiro momento, foi realizado na sequência da confecção dos blocos de asfalto reciclado e o segundo momento, após os blocos serem cortados e darem origem aos ladrilhos de asfalto reciclado (ambos no laboratório de tecnologia dos pavimentos e de ferrovias do CEFET-MG). Este ensaio foi realizado nos revestimentos de asfalto reciclado, nos ladrilhos hidráulicos e ladrilhos cerâmicos.

Para realização desse procedimento foram utilizadas 2 normas como parâmetro: DNER-ME 081/98 e NBR 9778/1987. Essas normas, especificam os procedimentos para determinação de densidade aparente, absorção de água e índice de vazios. Foram utilizados durante o procedimento: balança, dispositivo para manter o recipiente com a amostra pelo centro do prato da balança suspenso na água e tanque de água impermeável com volume capaz de manter a amostra totalmente submersa quando suspensos na balança.

Inicialmente os blocos / ladrilhos foram imersos em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas. Após o tempo de imersão, os blocos / ladrilhos foram removidos e secos com pano absorvente até que a água visível fosse eliminada para determinar a massa do bloco na condição saturada (M_{SAT}). Seguidamente, os blocos / ladrilhos foram completamente imersos em água à temperatura ambiente, onde o peso submerso (L) foi devidamente anotado (Figura 39). Após o peso submerso, os blocos / ladrilhos foram levados à estufa à temperatura de 105°C e resfriados à temperatura ambiente para determinação da massa seca (M_s).

Figura 39: Ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios



Fonte: (AUTORA, 2016)

As equações utilizadas para cálculo são listadas abaixo:

- Massa específica da amostra seca ou densidade aparente (D_{AP}):

$$D_{AP} = \frac{M_s}{M_{SAT} - L}$$

Equação 2: Densidade aparente

- Absorção de água (a):

$$a = \frac{M_{SAT} - M_S}{M_S} \times 100$$

Equação 3: Absorção de água

- Índice de vazios (I):

$$I = \frac{M_{SAT} - M_S}{M_{SAT} - L} \times 100$$

Equação 4: Índice de vazios

3.2.5 Corte dos blocos de asfalto reciclado

Os blocos de asfalto reciclado após a determinação da densidade e índice de vazios foram encaminhados para o laboratório de materiais de construção civil do CEFET-MG (Campus II), para que fossem cortados com serra de mármore na espessura de 20 mm e assim tomarem forma de ladrilhos de asfalto reciclado, com medidas: 100 x 100 x 20mm (Figura 40). Os ladrilhos asfálticos reciclados, foram utilizados como corpos de prova em ensaios físicos, juntamente com os ladrilhos hidráulicos e cerâmicos.

Figura 40: Corte dos ladrilhos de asfalto reciclado



Fonte: (AUTORA, 2016)

3.2.6 Ensaios não destrutivos

Os corpos de prova foram ensaiados iniciando pelos ensaios não destrutivos, pois dessa forma alguns moldes poderiam ser reutilizados em outros ensaios.

3.2.6.1 Ensaio visual

O primeiro ensaio não destrutivo realizado foi o ensaio visual. Este ensaio permitiu que fossem descartados os ladrilhos com alguma descontinuidade ou defeito observados a olho nu. Segundo Marques (2012) o ensaio visual permite verificar se a qualidade da superfície aparente das peças foi atingida e mantida. Para realização dessa inspeção foram observadas algumas considerações da NBR 13818:1997 –

Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio, visto que os ladrilhos hidráulicos e cerâmicos já passaram pela inspeção visual antes de serem submetidos à comercialização.

Ao separar as amostras foi feita a caracterização geométrica, ou seja, foram determinadas as dimensões dos lados e a espessura. Foram observadas se nos revestimentos haviam rachaduras, depressões, crateras, furos, manchas, cantos e lados lascados, saliências, etc.

3.2.6.2 Determinação da absorção de água

Após o corte dos blocos de asfalto reciclado e ensaio visual dos ladrilhos, cada tipo de ladrilho (asfáltico, hidráulico e cerâmico) foi numerado de 1 a 3 para determinação da absorção de água. Esse ensaio foi descrito e detalhado no item 3.2.4.

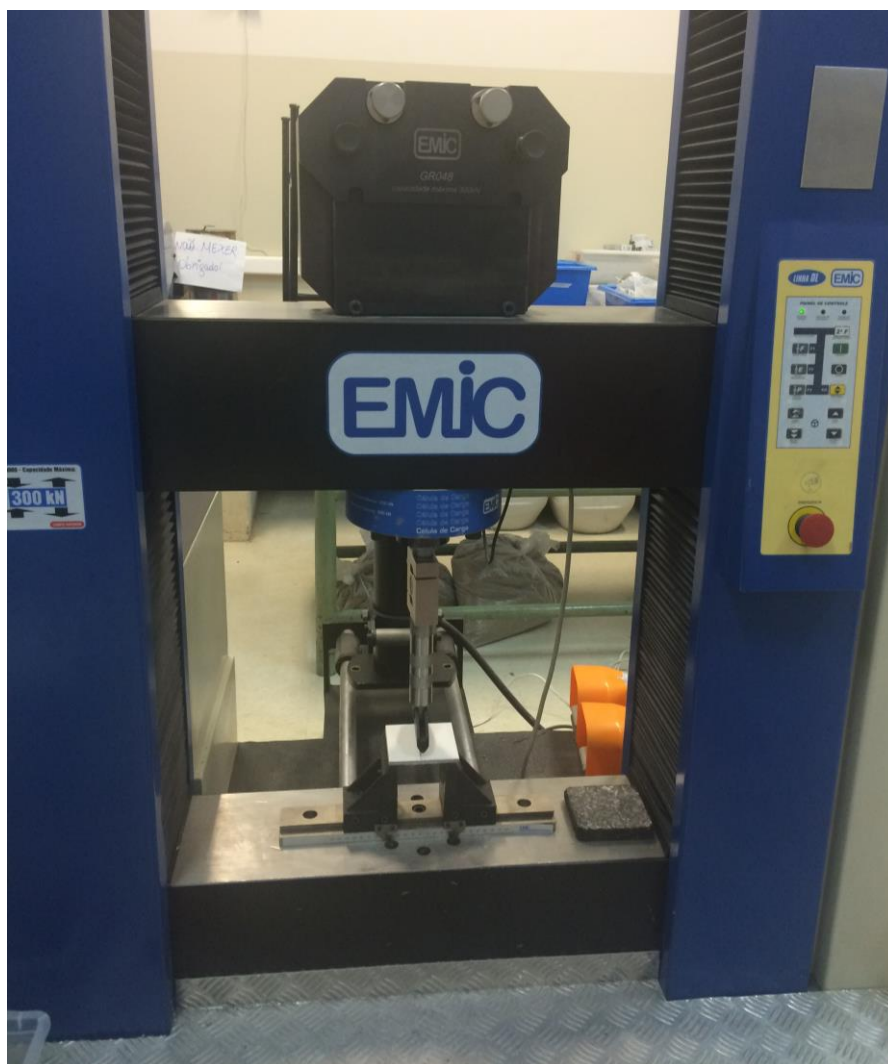
3.2.7 Ensaios destrutivos

Após os ensaios não destrutivos os ladrilhos foram submetidos aos ensaios destrutivos, após cada ensaio destrutivo os revestimentos foram descartados, não podendo ser reutilizados em outros ensaios.

3.2.7.1 Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

O ensaio de flexão é um ensaio destrutivo, onde o comportamento do corpo de prova foi estudado. O ensaio foi realizado no laboratório de mecânica dos pavimentos e de materiais do CEFET-MG, na máquina universal para ensaios mecânicos, marca INSTRON / EMIC, onde foi aplicada carga nos 3 tipos de ladrilhos em estudo até o momento de ruptura, seguindo recomendações da NBR 13818:1997 (Anexo C). Foram ensaiados 3 ladrilhos de cada tipo escolhidos por amostragem. Na sequência, as placas foram posicionadas sobre os apoios com a superfície de uso para cima com a largura paralela aos apoios, de modo que uma saliência estivesse para fora da barra de apoio. A força foi aplicada de maneira gradativa, para que a velocidade aumentasse à razão de $(1 \pm 0,2)$ MPa. O cálculo da carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão foram fornecidos pela prensa utilizada. A Figura 41 mostra a prensa utilizada para realização deste ensaio.

Figura 41: Máquina universal para ensaios mecânicos



Fonte: (AUTORA, 2016)

3.2.7.2 Resistência à abrasão profunda

O ensaio de resistência a abrasão profunda determina características dos ladrilhos quanto à durabilidade e perda do aspecto superficial, que depende de condições de agentes externos causadores de erosão e de propriedades físicas dos ladrilhos (DELBIANCO, 2008, p.39).

O ensaio de abrasão nos três tipos de ladrilhos estudados visa comparar o desgaste através das propriedades físicas de cada material.

Nesse ensaio foi utilizado um abrasômetro tipo roda de borracha, o mesmo utilizado por Sant'ana Filho (2013, p.89). Com esse equipamento foi avaliada a perda de

massa durante cada ciclo do ensaio. O abrasômetro tipo roda de borracha é constituído por um disco de aço coberto por uma capa de borracha onde os ladrilhos foram colocados juntamente com material abrasivo, girando a uma rotação estabelecida previamente (Figura 42).

Figura 42: Equipamento para ensaio de abrasão profunda



Fonte: (AUTORA, 2016)

O primeiro passo para realização desse ensaio foi definir a carga que seria aplicada sobre cada tipo de ladrilho, baseado no cálculo das áreas de cada ladrilho, com o objetivo de aplicar a mesma pressão sobre os diferentes ladrilhos em Kg/cm^2 , utilizando como referência os estudos de abrasão realizados por Aguilar (2016). As cargas equivalentes encontradas para esse estudo foram:

- 4,41 Kg para ladrilhos asfálticos;
- 4,92 Kg para ladrilhos cerâmicos;
- 4,11 Kg para ladrilhos hidráulicos.

Após definição das cargas, os ladrilhos foram numerados e pesados para então serem colocados um a um no abrasômetro e posicionados à 10cm do eixo. Após o posicionamento, o peso foi adicionado ao ladrilho, a rotação do equipamento ajustada para 15 rpm para perfazer um percurso de 300 ciclos a cada 20 minutos, ou seja, 9,42 m por minuto. Antes do equipamento ser ligado, foi adicionado material abrasivo, no caso desse estudo areia (granalha de alumina comercial) com granulometria 100 (Figura 43). Cada ladrilho permaneceu em ensaio por 120 minutos, sendo que a cada 20 minutos era feita uma parada para a limpeza e pesagem do revestimento. Ao final dos 120 minutos a distância total percorrida era de 1.130m. A cada troca de revestimento, a areia também era trocada.

Figura 43: Areia granulometria 100



Fonte: (AUTORA, 2016)

A avaliação para cálculo do desgaste foi feita pela diferença de peso dos ladrilhos antes e após o ensaio, sendo a perda de massa (P_m) calculada pela diferença entre a massa inicial (M_i) e a massa final (M_f) a cada ciclo de 20 minutos.

$$P_m = M_i - M_f$$

Equação 5: Desgaste por abrasão profunda

3.2.7.3 Ensaio de degradação na câmara climática

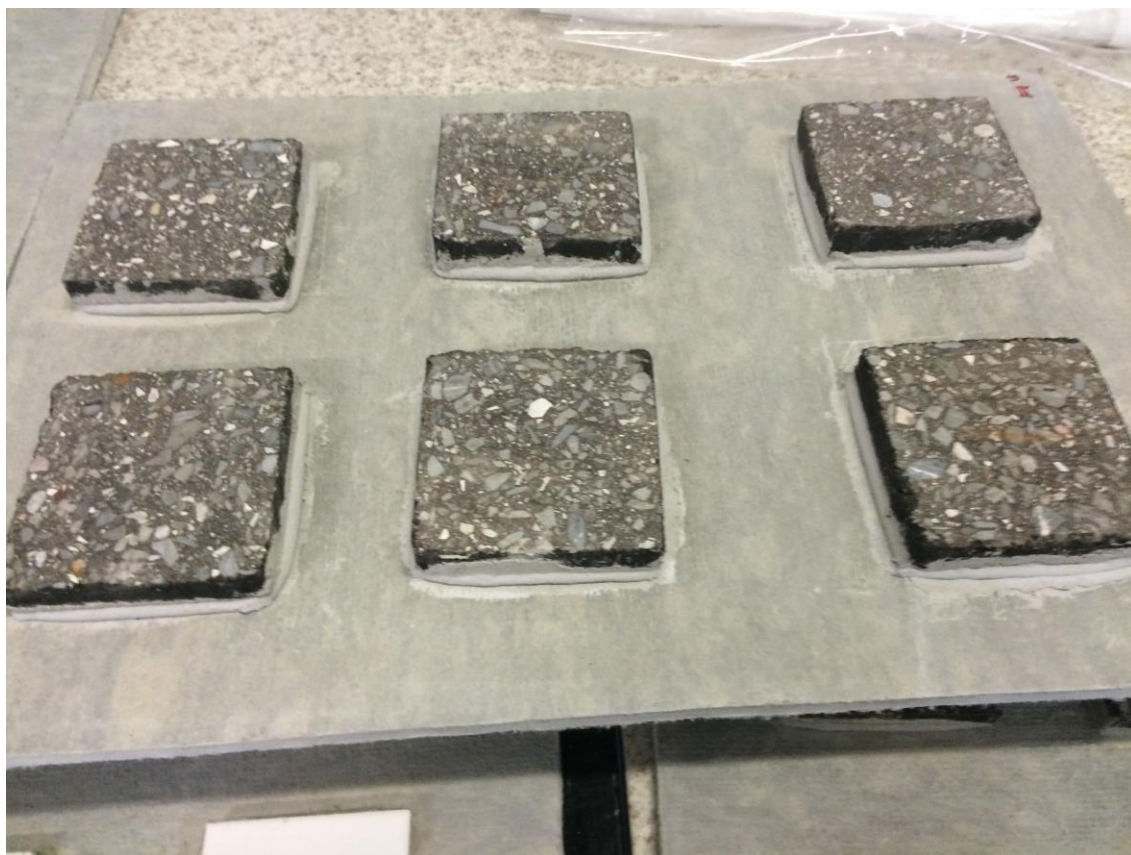
“Câmaras climáticas são equipamentos amplamente utilizados em diversos segmentos industriais e instituições de pesquisas com o objetivo de simular determinadas condições de temperatura e umidade” (BRIONIZIO; MAINIER, 2006, p.1). O objetivo desse ensaio é avaliar ações decorrentes da variação climática como os efeitos da dilatação térmica que ocorrem nos materiais.

Segundo Roman et al. (2003, p.114), não existem normas nacionais ou internacionais que regulamentem os ensaios em câmaras climáticas. Diante disso o procedimento de ensaios foi baseado em estudos já realizados e publicados por Sagave (2001) e Brionizio; Mainier (2006), descrito a seguir. Para realização do experimento foram utilizados dois tipos de argamassa, classificação AC-II e AC-III, de acordo com a NBR 14081-1-2012.

Os 3 tipos de ladrilhos (asfálticos, hidráulicos e cerâmicos) foram assentados em placas de fibrocimento pelo fato de serem mais leves e não sobrecarregarem as grades do interior da câmara climática (Figura 44). Foram utilizadas 12 placas de fibrocimento medindo 400 x 600 x 12mm cada uma. Os primeiros ladrilhos foram assentados com argamassa AC-II, preparadas conforme orientação do fabricante. Após o preparo da argamassa foram assentados em duas placas de fibrocimento 6 ladrilhos de asfalto em cada uma, em seguida foram colados em outras duas placas de fibrocimento 6 ladrilhos de cerâmica e na sequência foram assentados 2 ladrilhos hidráulicos nas duas placas de fibrocimento. Os ladrilhos hidráulicos foram fornecidos no tamanho de 200 x 200mm, porém foram cortados para ficarem na medida de 100 x 100 mm como os outros ladrilhos no momento do ensaio de

aderência. Na sequência fez-se o mesmo procedimento para assentamento com argamassa AC-III. Após um período de cura de 15 dias, metade dos painéis foram submetidos à câmara climática no laboratório de materiais de construção civil do CEFET-MG (Campus II) e a outra metade permaneceu a temperatura ambiente no laboratório de tecnologia dos pavimentos e de ferrovias do CEFET-MG (Campus I).

Figura 44: Ladrilhos de asfalto reciclados assentados em placas de fibrocimento



Fonte: (AUTORA, 2016)

O laboratório de materiais de construção civil do CEFET-MG dispõe de uma câmara climática para realização de ensaios de aceleração do envelhecimento (Figura 45). A câmara da marca Thermotron é totalmente programável. Esse equipamento funciona para as seguintes condições:

- Temperatura entre -25°C e 75°C ;
- Umidade relativa entre 30% e 99%.

Figura 45: Câmara climática



Fonte: (AUTORA, 2016)

Para realização do ensaio as placas de fibrocimento foram acondicionadas no interior da câmara. A duração total de um ciclo de envelhecimento completo foi de 4 horas. Foram programados 90 ciclos, totalizando 15 dias de ensaio. As etapas de cada ciclo são descritas abaixo:

- Etapa 1: Início

Esse primeiro passo tem duração de 15 minutos e serve apenas para iniciar o ciclo de ensaios. Nesse período a câmara atinge os limites de temperatura e umidade pretendidos na etapa 2, 20°C e 95% respectivamente.

- Etapa 2: Alta umidade relativa

Na etapa 2 as placas são submetidas a alto valor de umidade, ou seja 95%. A temperatura atinge 20°C. A duração desse passo é de 40 minutos.

- Etapa 3: Transição de temperatura

Esta etapa tem duração de 10 minutos e compreende a transição da temperatura de 20°C para -10°C. A umidade permanece em 95%.

- Etapa 4: Transição de umidade

Nesta etapa que dura 10 minutos equivale à transição da umidade de 95% para 60%. A temperatura continua caindo para atingir os 10°C.

- Etapa 5: Congelamento

Na etapa de congelamento a temperatura permanece em -10°C e a umidade relativa em 60% durante um período de 50 minutos.

- Etapa 6: Transição de temperatura

Na etapa 6, durante 15 minutos a temperatura é elevada de -10°C para 60°C e a umidade permanece em 60%.

- Etapa 7: Transição de umidade

Na etapa 7, que tem duração de 15 minutos, a umidade sobe de 60% para 95% e a temperatura continua subindo para atingir 60°C.

- Etapa 8: Temperatura e umidade elevados

Nesse intervalo a temperatura atinge 60°C e a umidade 95%, com duração de 35 minutos.

- Etapa 9: Transição de temperatura

No intervalo 9 com duração de 10 minutos, a temperatura diminui de 60°C para 30°C. A umidade permanece 95%.

- Etapa 10: Transição de umidade

No passo 10, a umidade passa de 95% para 40%, a temperatura permanece 30°C. Esse intervalo tem duração de 10 minutos.

- Etapa 11: Temperatura média e umidade baixa

Nesse intervalo que tem duração de 30 minutos, a temperatura permanece em 30°C e a umidade em 40%.

Após a etapa 11, a máquina inicia um novo ciclo a partir da etapa 1.

A tabela 5 resume os intervalos de cada ciclo programado da câmara climática.

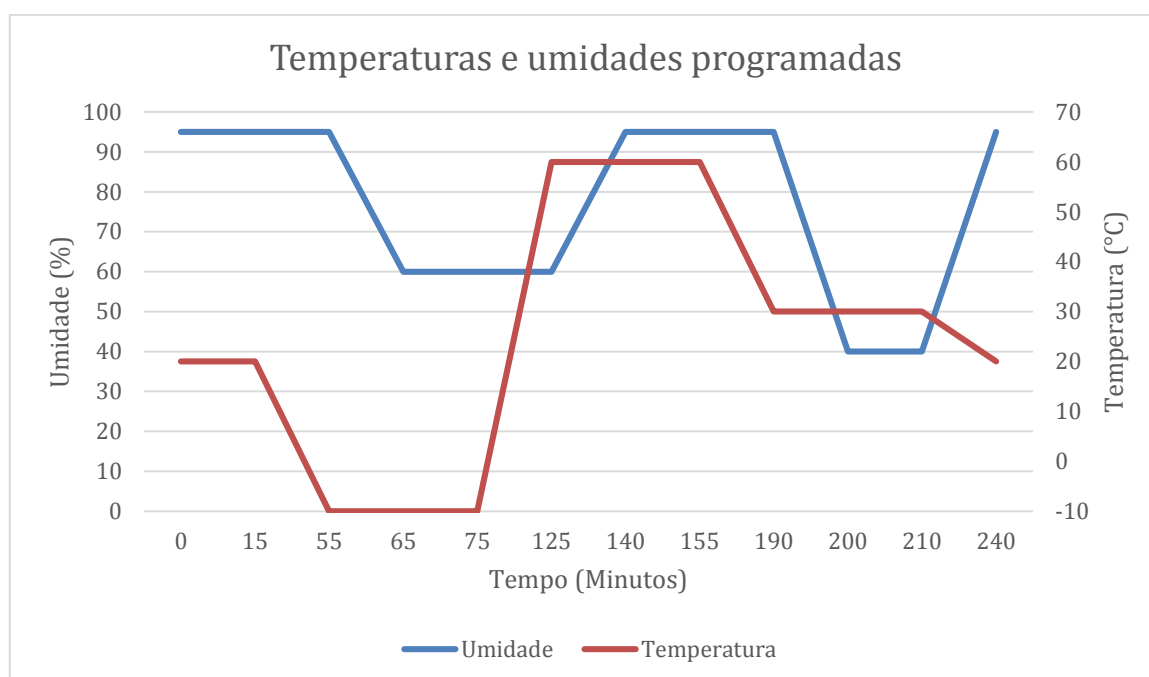
Tabela 5: Etapas de um ciclo completo do ensaio de degradação em câmara climática

Passo	Tempo (Min.)	Tempo acumulado (Min.)	Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)
1	15	15	95	20
2	40	55	95	20
3	10	65	95	-10
4	10	75	60	-10
5	50	125	60	-10
6	15	140	60	60
7	15	155	95	60
8	35	190	95	60
9	10	200	95	30
10	10	210	40	30
11	30	240	40	30

Fonte: (AUTORA, 2016)

Os valores de temperatura e umidade foram estabelecidos de forma a ultrapassar as condições climáticas mais adversas que poderiam ocorrer no Brasil, ou seja, condições extremas de dilatação e contração térmica. O gráfico representado pela Figura 46 mostra temperaturas e umidades em relação ao tempo programadas para cada ciclo.

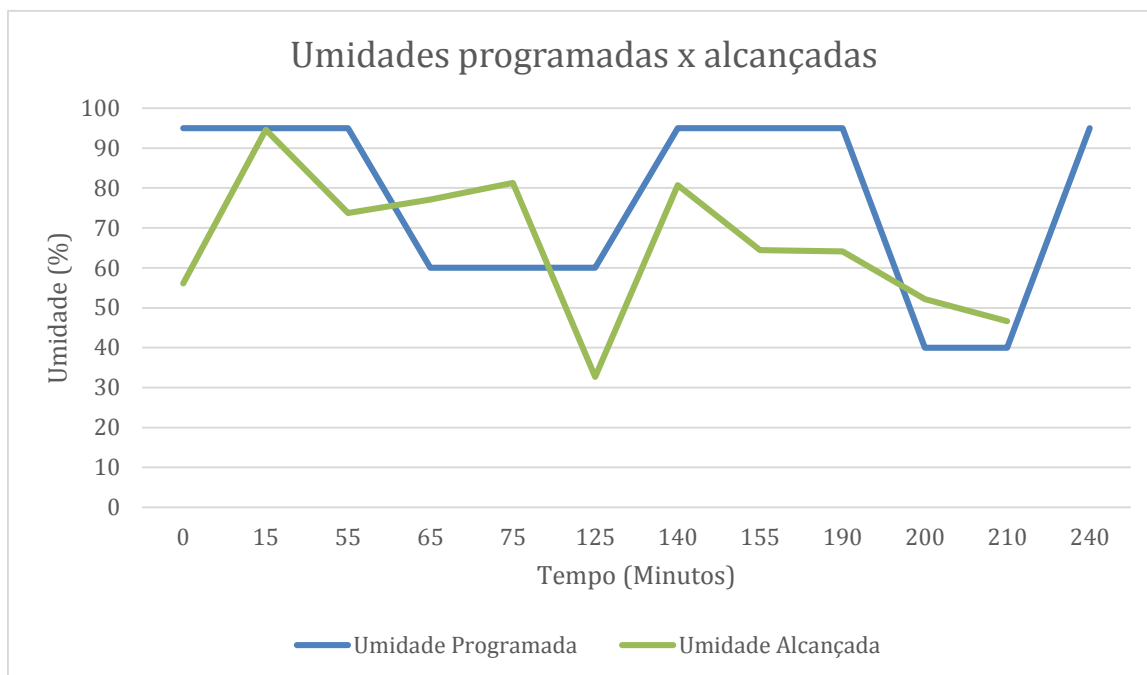
Figura 46: Gráfico de um ciclo programado para a câmara climática



Fonte: (AUTORA, 2016)

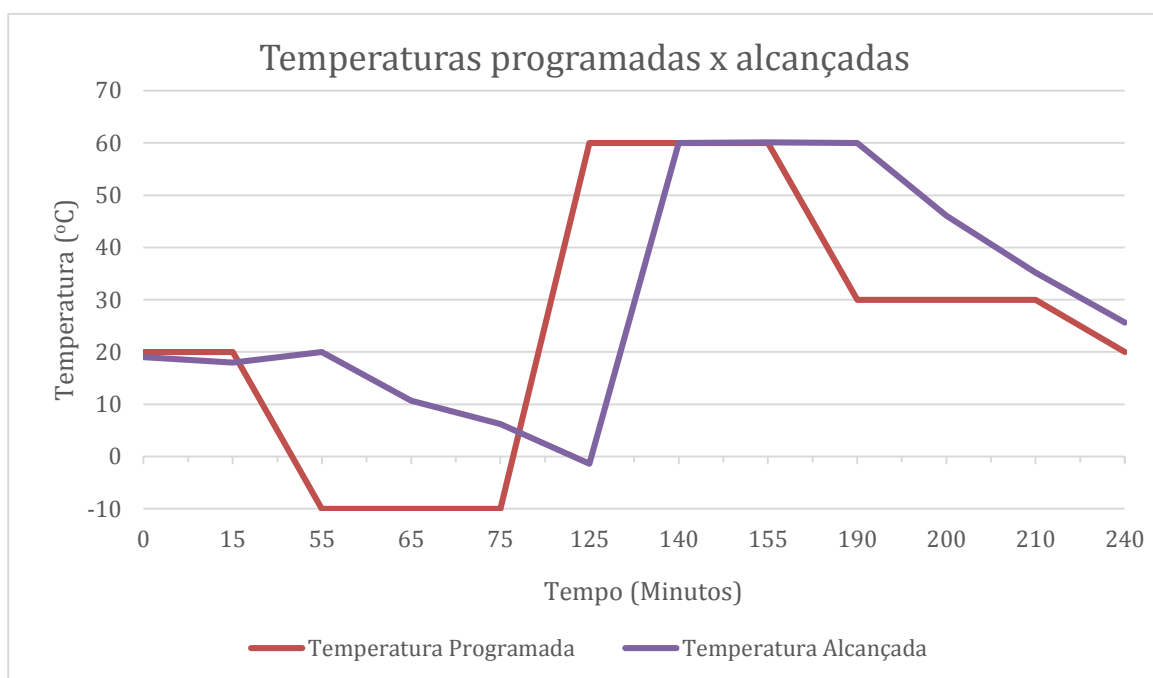
Os gráficos das Figuras 47 e 48 mostram as comparações entre o que foi programado e o que foi alcançado.

Figura 47: Gráfico comparativo entre umidades programadas x alcançadas



Fonte: (AUTORA, 2016)

Figura 48: Gráfico comparativo temperaturas programadas x alcançadas



Fonte: (AUTORA, 2016)

Ao final dos ciclos os painéis foram submetidos ao ensaio de aderência.

3.2.7.4 *Ensaio de aderência*

Segundo Nakamura (2010), fatos que afetam o desempenho dos revestimentos de argamassa são inúmeros e inclui desde as características da base e os materiais empregados até as condições ambientais e os métodos de aplicação utilizados. A aderência da argamassa ao substrato seja ele concreto ou blocos, também varia de acordo com esses fatores.

O ensaio de aderência é normalizado pela NBR 13.528:2010 - Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração e pela NBR 14081-4:2012 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. O principal objetivo do ensaio é ajudar na definição do tipo de preparo da base e definir a argamassa que melhor funciona sob condições específicas existentes. Este ensaio foi realizado nas 12 placas de fibrocimento assentadas com os dois tipos de argamassa descritos anteriormente. As normas sugerem que o ensaio seja realizado com revestimento de 28 dias contados após a aplicação de argamassa sobre as placas, nos casos de argamassas mistas ou de cimento e areia. Na realização do ensaio de aderência foi utilizada uma máquina para arrancamento por tração e a velocidade de carregamento ajustada em 30 kgf/s (Figura 49).

Figura 49: Dinamômetro de tração



Fonte: (AUTORA, 2016)

Segundo Nakamura (2010), são feitos os furos para retirada do corpo de prova com uma furadeira acoplada a uma broca tipo serra-copo de 50mm de diâmetro. Dessa forma foram realizados furos em alguns ladrilhos para fixação da placa metálica, mas os ladrilhos de asfalto reciclado e os ladrilhos hidráulicos quebraram durante o processo de furação (Figura 50). Diante disso, optou-se por utilizar placas metálicas quadradas de medidas 100 x 100 x 10mm, com um dispositivo central na face superior para ser acoplada à máquina de tração, que também fazem parte do equipamento utilizado para o ensaio de aderência.

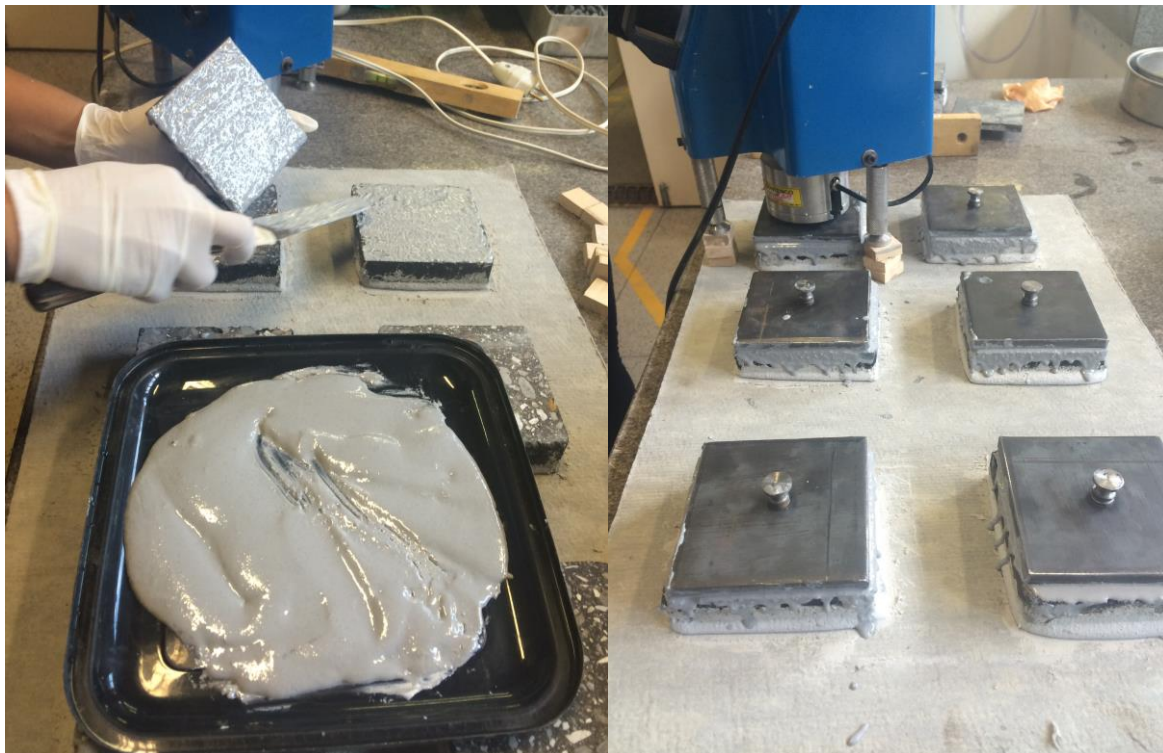
Figura 50: Ladrilho quebrado após corte com serra-copo



Fonte: (AUTORA, 2016)

Após limpeza da superfície de cada ladrilho das placas de fibrocimento foi colada uma pastilha quadrada metálica com resina epóxi (Figura 51). Após 72 horas da colagem das placas metálicas, o aparelho de arrancamento (dinamômetro de tração) dotado de dispositivo para leitura de carga, foi acoplado às peças para então realizar o arrancamento das pastilhas. Finalmente, as cargas máximas (T) aplicadas foram registradas e as amostras foram analisadas.

Figura 51: Colagem das pastilhas metálicas nos ladrilhos



Fonte: (AUTORA, 2016)

Para análise das amostras, cada ladrilho foi avaliado e o tipo de ruptura identificado. O cálculo da resistência de aderência à tração de cada ladrilho em MPa foi realizado e a forma de ruptura de cada um deles foi analisada. Para definir os resultados foi feito o cálculo da tensão de ruptura (f_t) de cada ladrilho através da equação 6:

$$f_t = \frac{T}{A}$$

Equação 6: Tensão de ruptura

Onde:

f_t = Tensão de ruptura, arredondada à segunda casa decimal, expressa em MPa;

T = Força de ruptura, expressa em newtons (N);

A = Área do ladrilho, em mm^2 .

Após o cálculo da tensão de ruptura de cada ladrilho, a tensão média de ruptura por tração de cada placa de fibrocimento foi calculada, sendo desconsiderados os resultados com rupturas tipo S (ruptura do substrato), P (ruptura do ladrilho) e F (falha na colagem da peça metálica).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, serão apresentadas as análises comparativas das amostras de ladrilho asfáltico reciclado, ladrilho hidráulico e ladrilho cerâmico, bem como as discussões referentes aos resultados obtidos, seguindo à ordem apresentada na metodologia de ensaio.

4.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE BETUME

Nas análises de CAF estudados por outros autores: Abreu et. al. (2013, p.4) encontraram em seu estudo 5,4% de ligante no material fresado analisado. Silva (2014, p.74) encontrou 4,9% de betume no material estudado. Já Fonseca et al. (2013, p.6) encontraram 5,0% de ligante no material fresado estudado. A tabela 6 abaixo, mostra o resultado das análises obtidos na realização deste estudo.

Tabela 6: Resultado da porcentagem de betume

Amostra de Material Fresado	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso betume extraído (g)	Porcentagem de ligante (%)
1	1000	951,8	48,2	4,82

Fonte: (AUTORA, 2016)

O valor da porcentagem de ligante encontrado na amostra foi de 4,82%, portanto, dentro dos parâmetros estabelecidos pelo DNIT, que é de 4,5 a 9,0% (limite estabelecido para a faixa C). Dantas et al. (2007, p.2) consideram o método Rotarex eficiente, porém, consideram o consumo de solvente elevado para fins de extração do betume nos materiais fresados.

Gonçalves et al. (2015, p.16) afirmam em sua pesquisa, que os ensaios realizados pelo extrator Rotarex elétrico, tiveram resultados satisfatórios nos ensaios de

granulometria, pelo fato do aparelho manter rotação alta e constante, demonstrando maior eficiência na extração do ligante.

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

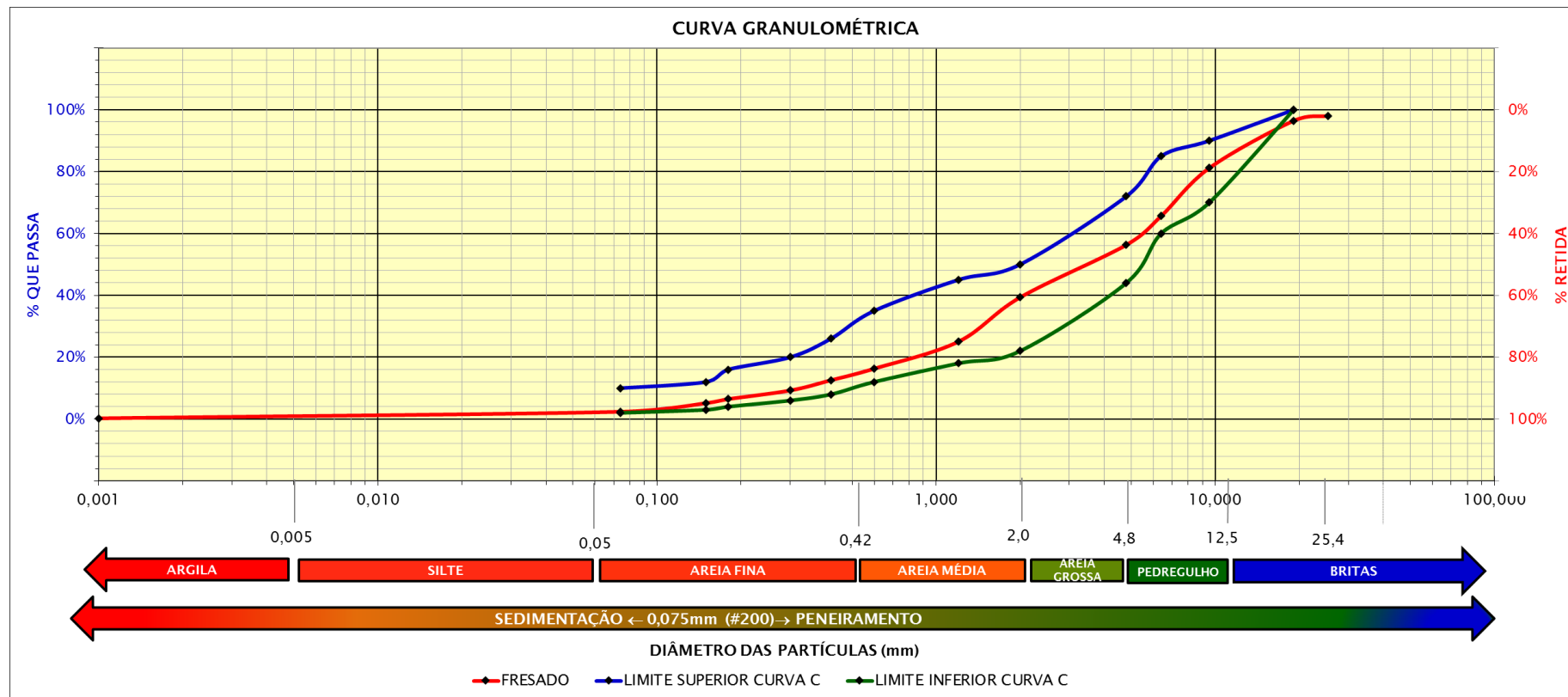
O peso inicial do material submetido à estufa foi de 953,86 g e o peso estabilizado foi de 951,72 g. Os valores obtidos nesse ensaio, estão descritos no quadro 2, bem como os valores do módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado. A curva granulométrica e os limites superiores e inferiores da faixa C limitadas pelo DNIT, para verificar se o índice de finos está dentro destes limites, são representados na Figura 52.

Quadro 2: Peneiramento

Peneiras	Material Retido			% Que Passa da Amostra Total	Peneiras (mm)
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada		
1 1/2 pol	0,00	0,00	0,00	100,00	38,1
1 pol	18,69	1,96	1,96	98,04	25,4
3/4 pol	15,14	1,59	3,56	96,45	19,1
3/8 pol	145,80	15,32	18,88	81,12	9,5
1/4 pol	147,92	15,54	34,42	65,58	6,4
Nº 4	89,33	9,39	43,81	56,19	4,8
Nº 10	161,57	16,98	60,79	39,21	2,4
Nº 16	136,92	14,39	75,17	24,83	1,2
Nº 30	83,03	8,73	83,90	16,10	0,6
Nº 40	35,70	3,75	87,65	12,35	0,42
Nº 50	31,50	3,31	90,96	9,04	0,3
Nº 80	26,62	2,80	93,76	6,24	0,18
Nº 100	12,29	1,29	95,05	4,95	0,15
Nº 200	26,70	2,81	97,85	2,15	0,074
Fundo	20,42	2,15	100,00	0,00	0,001
Soma	951,63	100,00			
Módulo de finura	4,72				
Dimensão máx. Característica	19 mm				

Fonte: (AUTORA, 2016)

Figura 52: Curva granulométrica



Fonte: (AUTORA, 2016)

Nos resultados apresentados foi observado que mais de 40% dos agregados ficaram retidos na peneira de 4,8mm, portanto 56,19% do material fresado é constituído por agregados miúdos. A quantidade de material graúdo contida no material ficou evidente após os cortes dos ladrilhos hidráulicos reciclados. A percentagem de finos se enquadra nos parâmetros da faixa C de limites estabelecidos pelo DNIT e se apresentam mais próximos da banda inferior da curva limite.

4.3 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, DENSIDADE APARENTE E ÍNDICE DE VAZIOS DOS BLOCOS DE ASFALTO RECICLADO

Os valores obtidos no ensaio de absorção de água dos blocos de asfalto reciclado são apresentados na tabela 7.

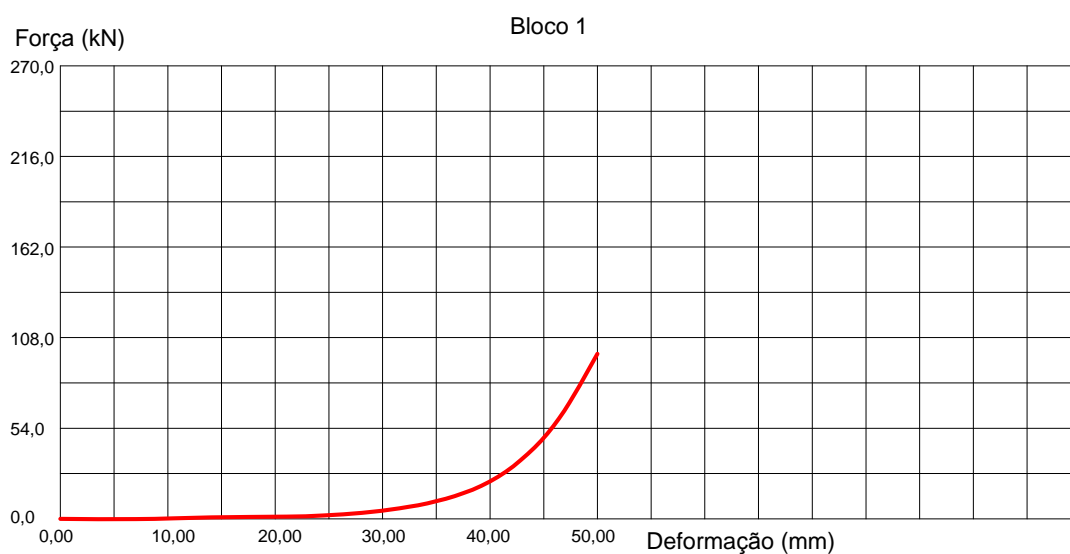
Tabela 7: Resultado do ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos blocos de asfalto reciclado

CP N°	Bloco N°	Massa saturada (g)	Massa submersa (g)	Massa seca (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
1	1191	2986	1656	2980	2,241	0,201	0,451
2	1193	3000	1652	3000	2,226	0,000	0,000
3	1198	3012	1696	3006	2,284	0,200	0,456
4	1199	2996	1712	2986	2,326	0,335	0,779
5	1200	2986	1696	2970	2,302	0,539	1,240
6	1210	2906	1700	2898	2,403	0,276	0,663
7	1211	2970	1694	2962	2,321	0,270	0,627
8	1212	2974	1692	2964	2,312	0,337	0,780
9	1226	3004	1744	2994	2,376	0,334	0,794
10	1227	2974	1680	2964	2,291	0,337	0,773
Média					2,288	0,319	0,725

Fonte: (AUTORA, 2016)

As Figuras 53 a 62 mostram os gráficos originados durante a prensagem dos blocos de asfalto reciclado, e os comentários referentes às tensões e às densidades aparentes dos blocos.

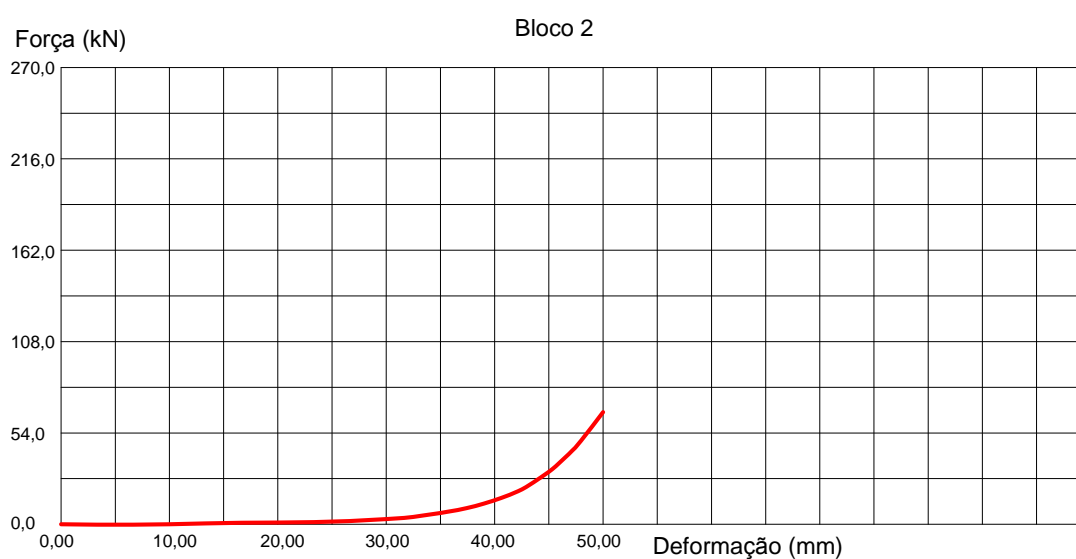
Figura 53: Gráfico gerado após prensagem do bloco 1



Fonte: (AUTORA, 2016)

Após a conclusão do bloco asfáltico reciclado 1, pode-se observar que a tensão necessária para que o bloco atingisse a deformação de 50mm foi de 9,27 MPa e a densidade aparente do bloco foi de 2,241 g/cm³.

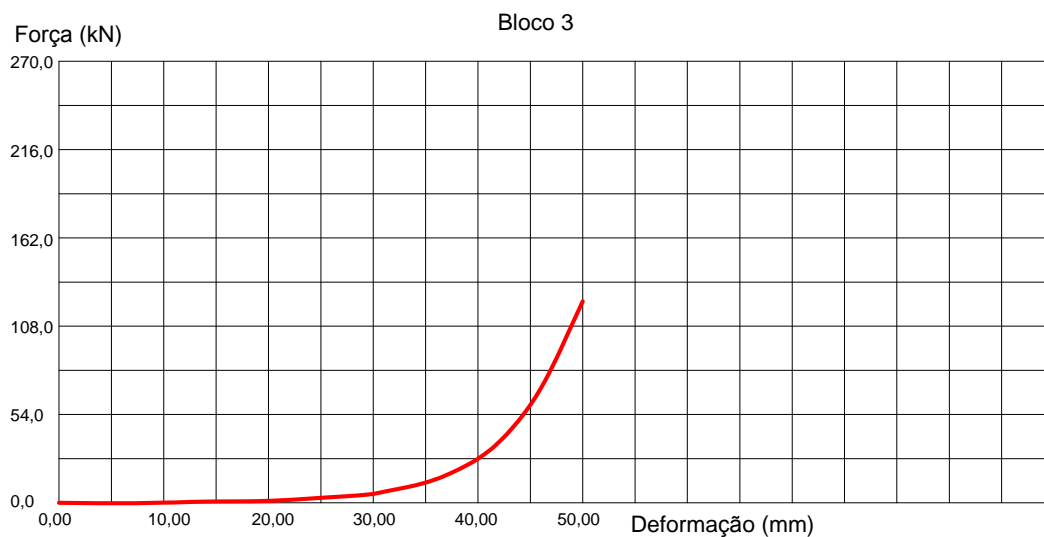
Figura 54: Gráfico gerado após prensagem do bloco 2



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 2, apresentou o menor valor de tensão dos 10 blocos fabricados que foi 9,27 MPa e a densidade aparente do bloco também foi a menor de todos os blocos ensaiados que foi 2,226 g/cm³.

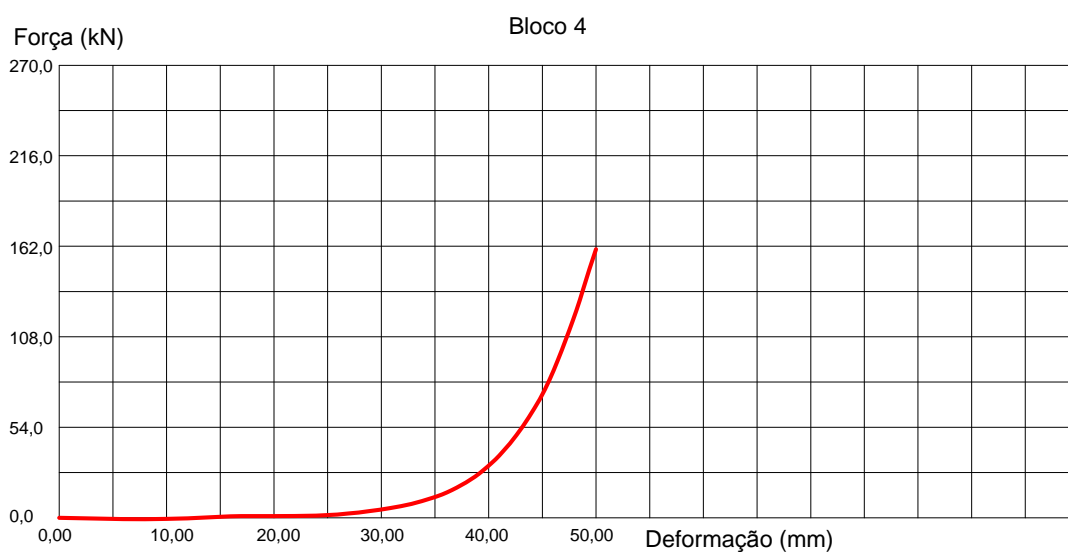
Figura 55: Gráfico gerado após prensagem do bloco 3



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 3, apresentou tensão de 11,71 MPa e densidade aparente de 2,284 g/cm³.

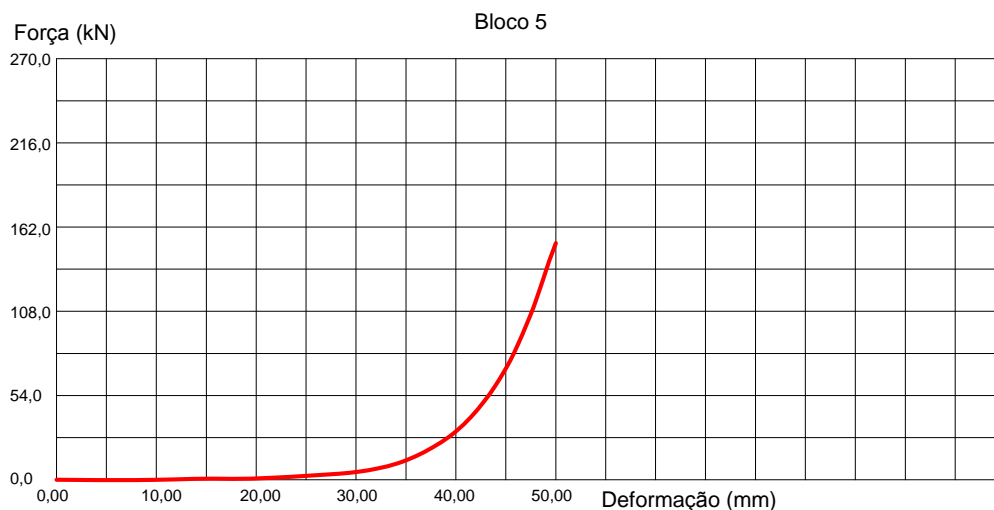
Figura 56: Gráfico gerado após prensagem do bloco 4



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 4, apresentou tensão de 15,20 MPa e densidade aparente de 2,326 g/cm³.

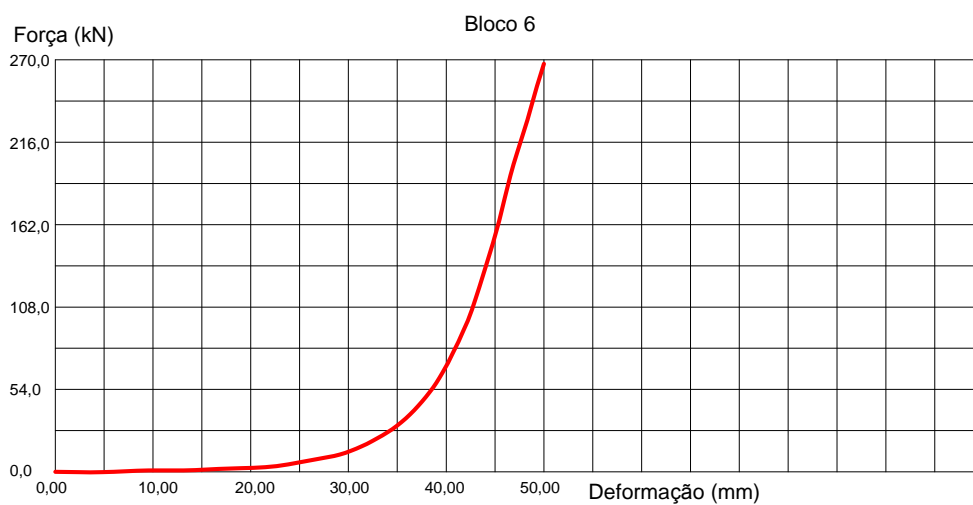
Figura 57: Gráfico gerado após prensagem do bloco 5



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 5, apresentou tensão de 14,35 MPa e densidade aparente de 2,302 g/cm³.

Figura 58: Gráfico gerado após prensagem do bloco 6



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 6, apresentou o maior valor de tensão dos 10 blocos fabricados que foi 26,91 MPa e a densidade aparente do bloco também foi a maior de todos os blocos ensaiados que foi 2,403 g/cm³.

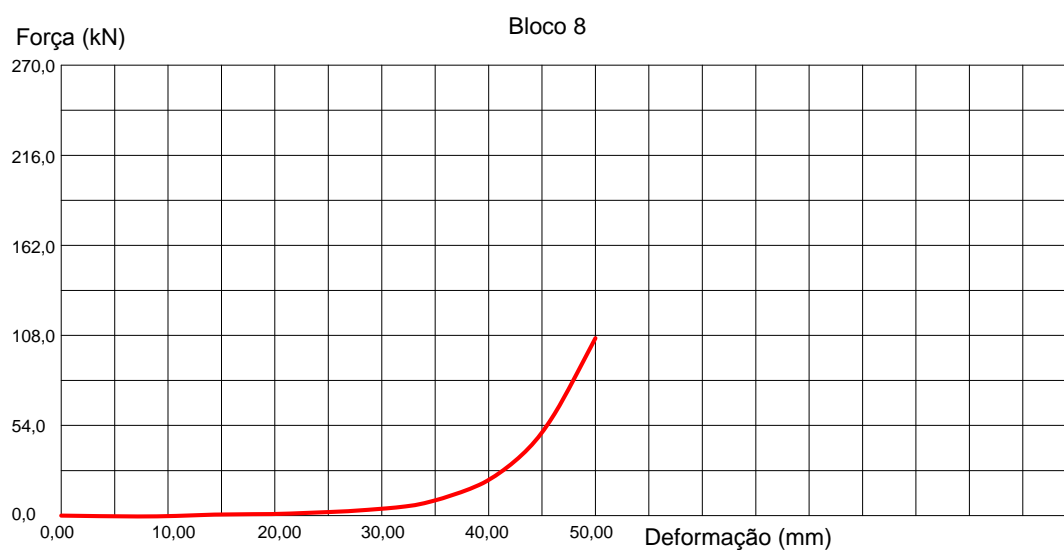
Figura 59: Gráfico gerado após prensagem do bloco 7



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 7, apresentou tensão de 14,54 MPa e densidade aparente de 2,321 g/cm³.

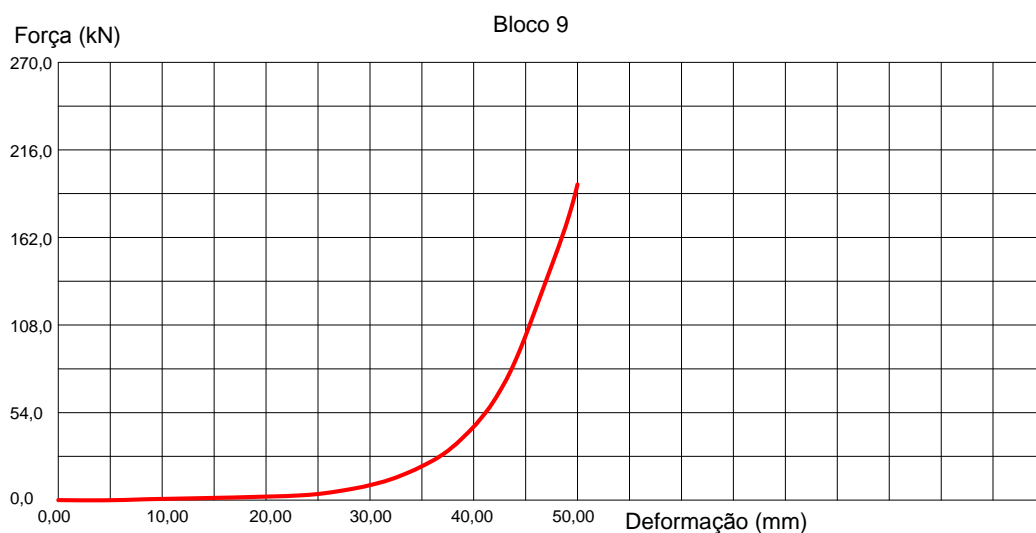
Figura 60: Gráfico gerado após prensagem do bloco 8



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 8, apresentou tensão de 10,57 MPa e densidade aparente de 2,312 g/cm³.

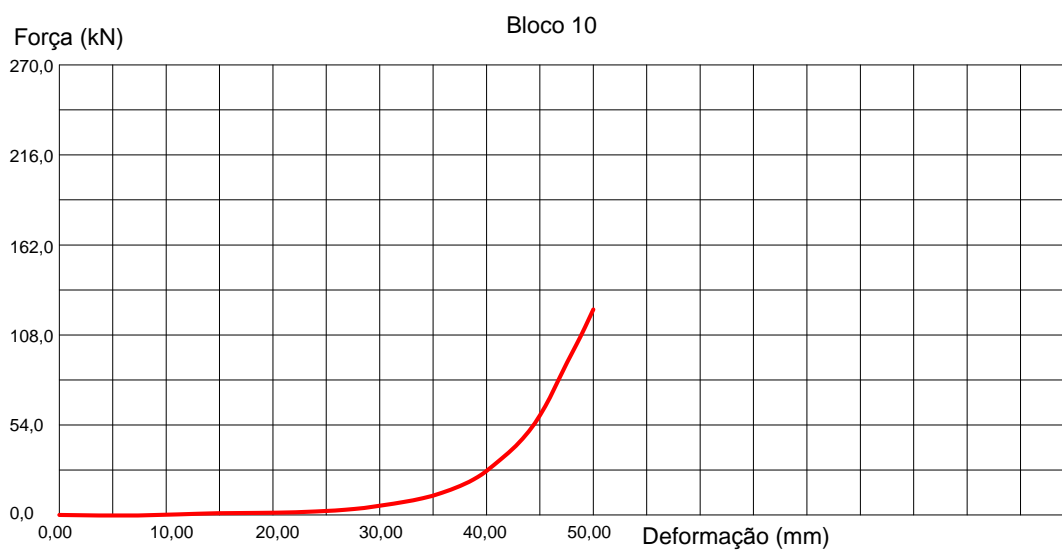
Figura 61: Gráfico gerado após prensagem do bloco 9



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 9, apresentou tensão de 19,61 MPa e densidade aparente de 2,376 g/cm³.

Figura 62: Gráfico gerado após prensagem do bloco 10



Fonte: (AUTORA, 2016)

O bloco asfáltico reciclado 10, apresentou tensão de 12,28 MPa e densidade aparente de 2,291 g/cm³.

Pode ser observado, com esses resultados, que quanto maior a tensão de prensagem dos blocos, maior a densidade aparente dos mesmos.

Com relação à absorção de água e índice de vazios foi observado que o valor médio da absorção de água e conseqüentemente o valor médio do índice de vazios são baixos devido às propriedades impermeabilizantes do ligante que constitui a mistura. O índice de vazios diminui à medida que a absorção também diminui.

4.4 CORTE DOS BLOCOS DE ASFALTO RECICLADO

Os blocos de asfalto reciclado foram cortados com serra de mármore na espessura de 20mm para tomarem forma de ladrilhos de asfalto reciclado conforme mostrado na Figura 63.

Figura 63: Ladrilhos de asfalto reciclado



Fonte: (AUTORA, 2016)

Como pode ser observado nos ladrilhos, após o corte dos blocos, os agregados graúdos ficam bem evidentes na superfície dos revestimentos.

4.5 ENSAIO VISUAL

Durante o ensaio visual, após a etapa de medida dos ladrilhos de asfalto reciclados, hidráulicos e cerâmicos, as peças que apresentaram algum tipo de defeito ou descontinuidade foram descartadas. A Figura 64 mostra os ladrilhos de asfalto reciclado provenientes do bloco de número 2, as peças foram descartadas por apresentarem falhas em suas extremidades. Durante a prensagem dos blocos o corpo de prova 2 foi o que apresentou grande quantidade de grumos (partículas de material aglomeradas) na mistura quando aquecido a 170°C, e foi o bloco que apresentou menor valor de tensão quando submetido à compressão até atingir o valor de deformação estabelecido.

Figura 64: Ladrilhos de asfalto reciclado descartados após ensaio visual



Fonte: (AUTORA, 2016)

4.6 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS LADRILHOS

Os valores obtidos no ensaio são apresentados na tabela 8.

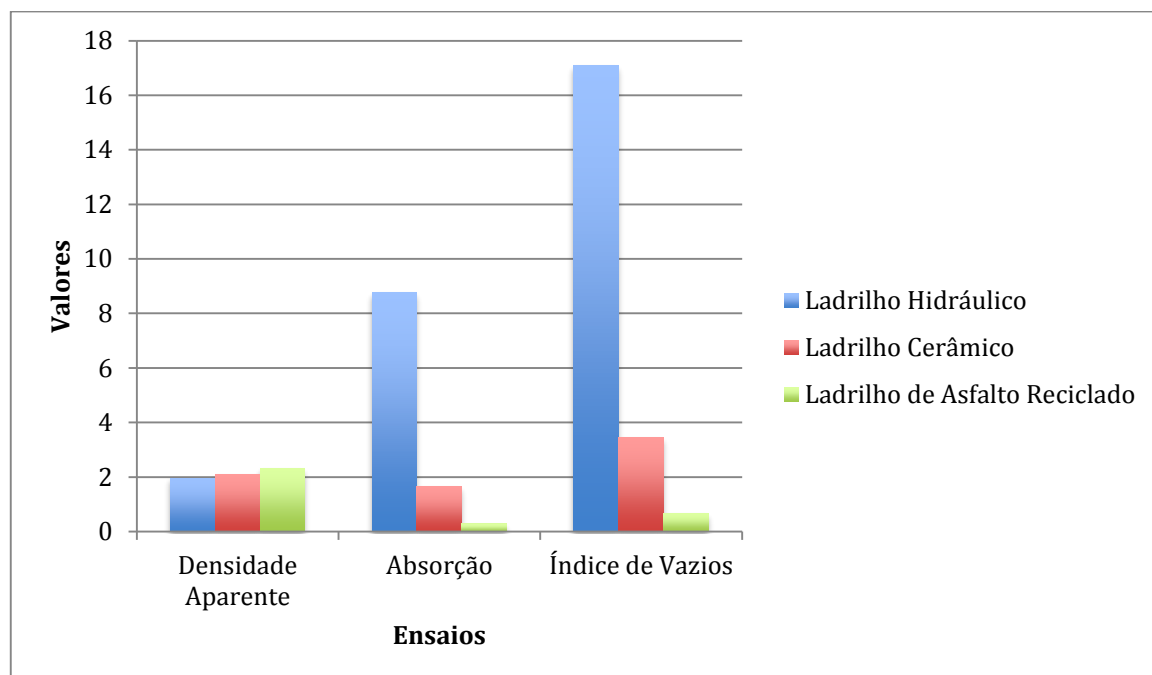
Tabela 8: Resultado do ensaio de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos ladrilhos

Tipo de ladrilho	CP N°	Massa saturada (g)	Massa submersa (g)	Massa seca (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
Hidráulico	1	1142	604	1076	2,000	6,134	12,268
Hidráulico	2	1094	638	994	2,180	10,060	21,930
Hidráulico	3	1222	566	1110	1,692	10,090	17,073
Média Ladrilho Hidráulico					1,957	8,761	17,090
Cerâmico	1	124	66	122	2,103	1,639	3,448
Cerâmico	2	120	64	118	2,107	1,695	3,571
Cerâmico	3	128	68	126	2,100	1,587	3,333
Média Ladrilho Cerâmico					2,104	1,641	3,451
Asfalto Reciclado	1	488	280	486	2,337	0,412	0,962
Asfalto Reciclado	2	480	272	478	2,298	0,418	0,962
Asfalto Reciclado	3	502	282	502	2,282	0,000	0,000
Média Ladrilho de Asfalto Reciclado					2,305	0,277	0,641

Fonte: (AUTORA, 2016)

Podemos observar no gráfico da Figura 65 que as médias das densidades aparentes dos três ladrilhos estudados foram equivalentes. Quanto a absorção de água, os ladrilhos de asfalto reciclado apresentaram valores muito pequenos devido as propriedades impermeabilizantes do CAP. Nos ladrilhos cerâmicos a absorção de água também foi baixa devido a baixa porosidade da parte inferior dos ladrilhos e à esmaltação da parte superior. Já os ladrilhos hidráulicos apresentaram valores elevados de absorção devido à alta porosidade da parte inferior que é constituída por uma mistura de cimento e areia. O mesmo se aplica aos valores do índice de vazios, pois este é proporcional à absorção, portanto se o valor da absorção no ladrilho de asfalto for baixa, conseqüentemente seu índice de vazios também será.

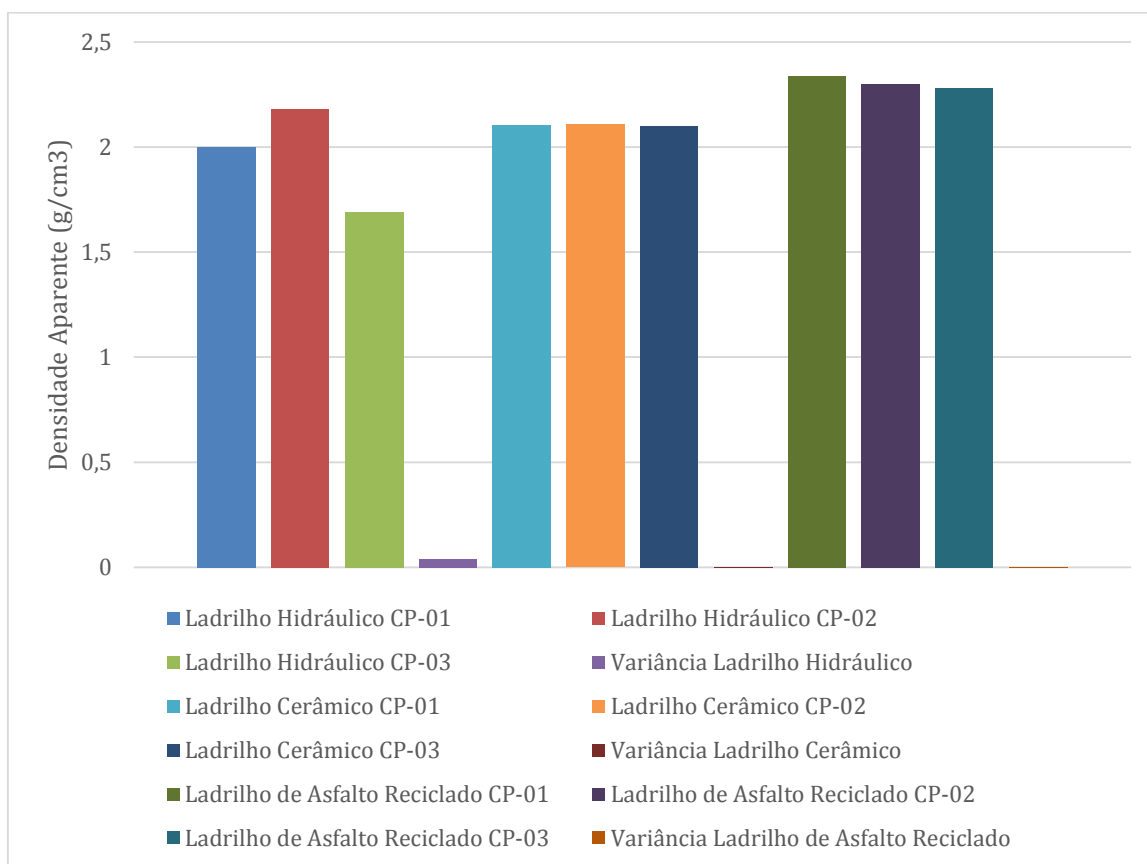
Figura 65: Gráfico com os valores médios de absorção de água, densidade aparente e índice de vazios nos três tipos de ladrilhos



Fonte: (AUTORA, 2016)

Podemos observar no gráfico da Figura 66 que as densidades aparentes dos três tipos de ladrilhos estudados foram equivalentes, resultando em uma variância quase nula nos três materiais.

Figura 66: Gráfico com os valores de densidade aparente nos três tipos de ladrilhos



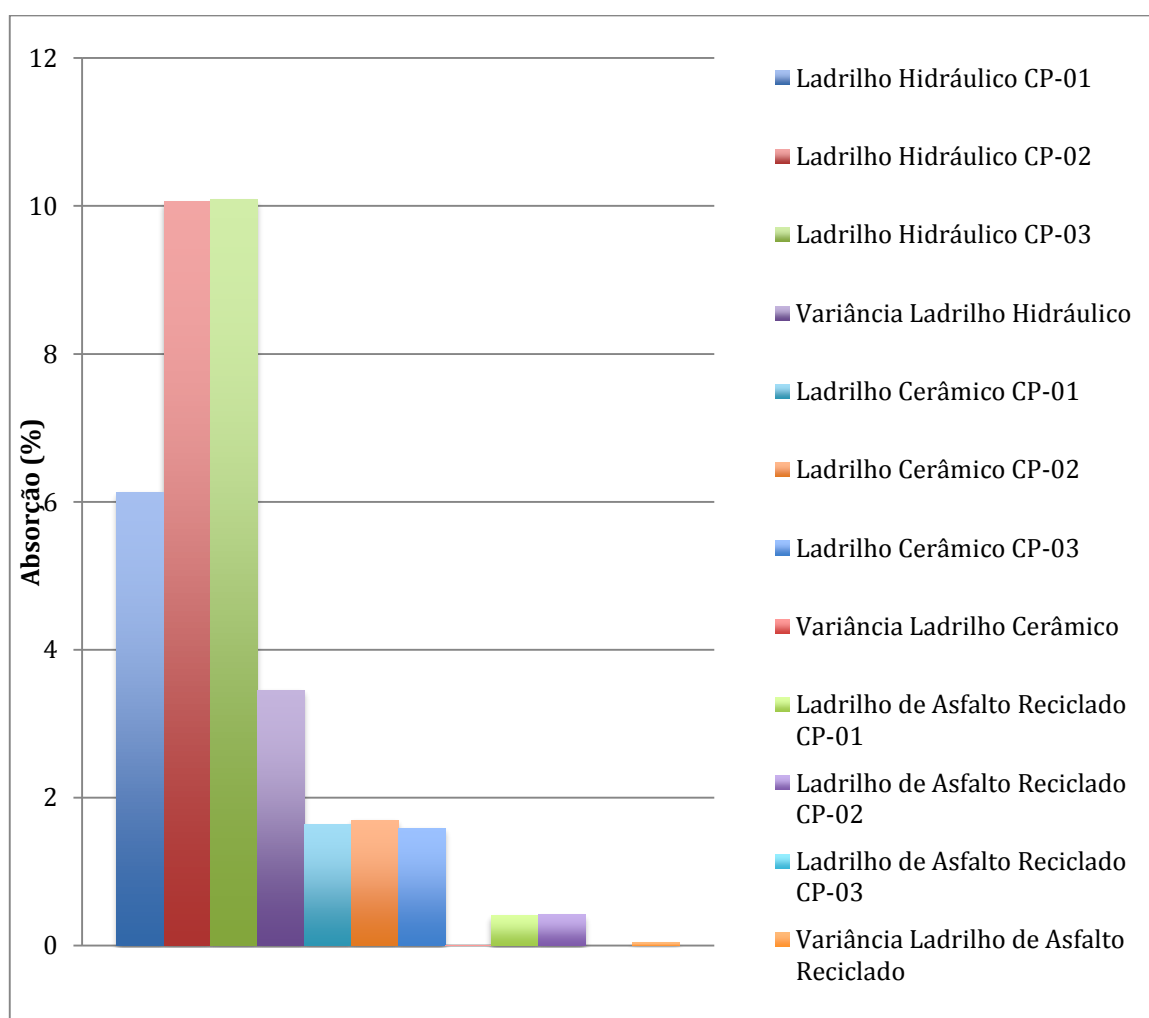
Fonte: (AUTORA, 2016)

No gráfico de absorção de água representado pela Figura 67 podemos observar que o ladrilho hidráulico apresentou o maior índice de absorção dos três ladrilhos estudados. Isso se deve ao fato da granulometria da areia misturada ao cimento ser maior e por isso elevar a porosidade do revestimento. Em 2 dos 3 corpos de prova ensaiados, os ladrilhos hidráulicos apresentaram valores superiores aos estabelecidos pela norma NBR 9457:86. Reis; Tristão (2010), em seus estudos encontraram valores de absorção superiores aos da norma com média aproximada de 13%, afirmando que apesar de não atingir os 8% determinados pela norma, esta especifica que a camada inferior dos ladrilhos hidráulicos seja constituída de material poroso, o que pode favorecer a aderência, por isso o valor elevado da absorção. Cavalli; Valduga (2006), também encontraram em suas pesquisas valores superiores aos 8% nos ensaios de absorção em ladrilhos hidráulicos, atingindo média aproximada de 11%.

Para ladrilhos cerâmicos o ensaio de absorção é essencial para determinar em qual

grupo esses revestimentos estão inseridos. Segundo a norma NBR 13818:97, os ladrilhos cerâmicos ensaiados são considerados de baixa absorção, pertencendo ao grupo Blb, ou seja, são ladrilhos cerâmicos prensados, com absorção entre 0,5% e 3,0%, a partir dessa classificação são estabelecidos os limites para módulo de resistência à flexão e carga de ruptura. Os ladrilhos de asfalto reciclados foram os que apresentaram menor absorção, conseqüentemente menor porosidade, pois o acréscimo de CAP na mistura torna o ladrilho mais impermeável, devido as características impermeabilizantes do ligante.

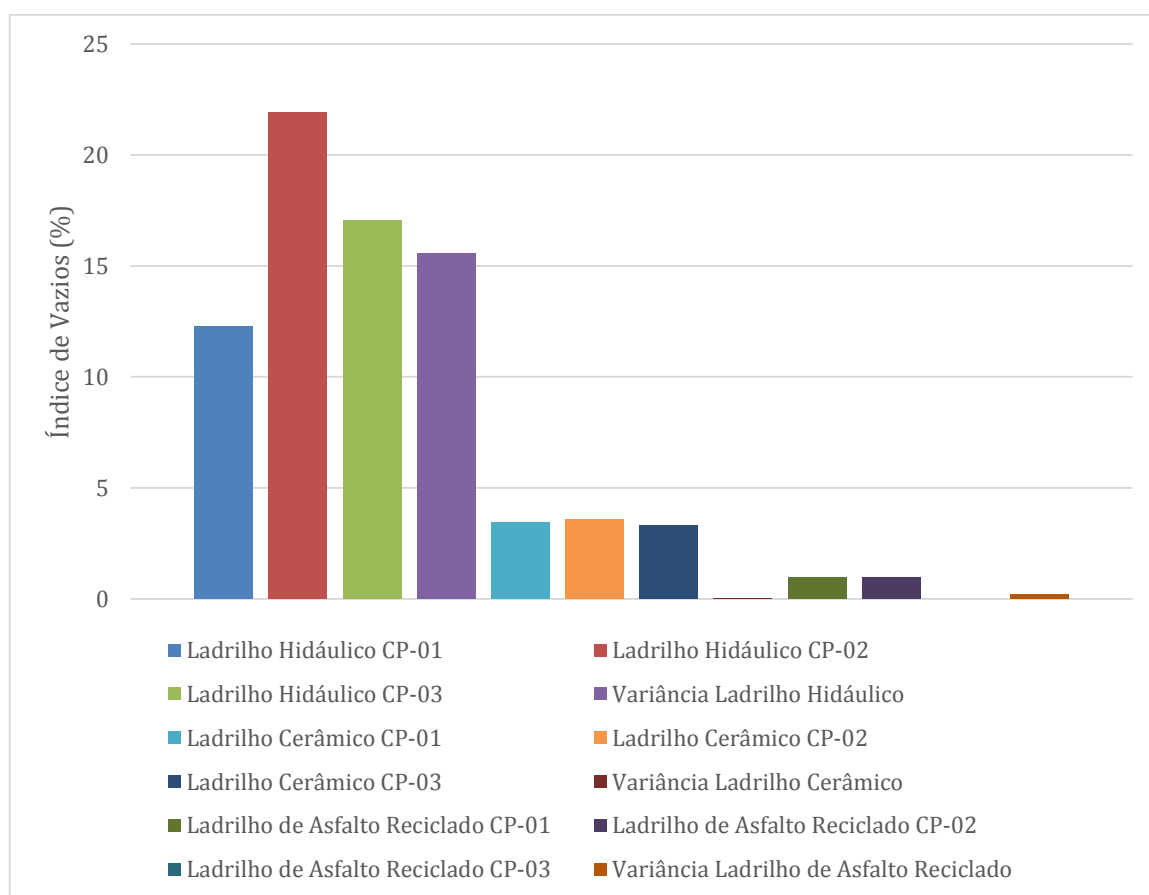
Figura 67: Gráfico com os valores de absorção de água nos três tipos de ladrilhos



Fonte: (AUTORA, 2016)

No gráfico de índice de vazios representado pela Figura 68 observa-se que o volume de vazios diminui à medida que aumenta a quantidade de finos nas misturas, conseqüentemente quanto maior a quantidade de finos, menor a penetração de água nos poros dos materiais. Por isso, o ladrilho hidráulico possui índice de vazios muito superior aos ladrilhos cerâmicos e de asfalto reciclado. Os valores mais baixos de índice de vazios nos ladrilhos cerâmicos e de asfalto reciclado são devidos à quantidade de finos aliado às propriedades impermeabilizantes dos esmaltes do material cerâmico e propriedades impermeabilizantes do CAP adicionado aos ladrilhos de asfalto reciclado.

Figura 68: Gráfico com os valores de índice de vazios nos três tipos de ladrilhos

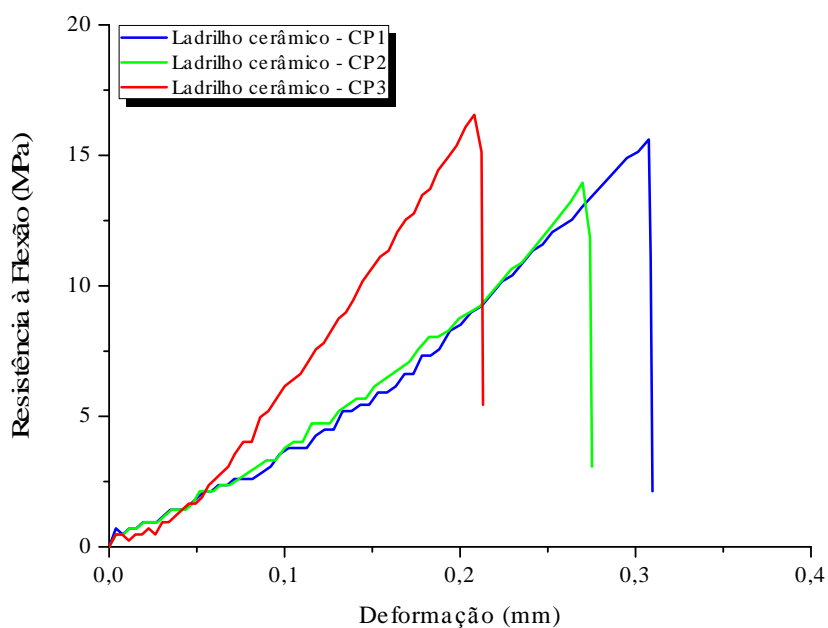


Fonte: (AUTORA, 2016)

4.7 CARGA DE RUPTURA E MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Nas figuras 69 a 76 a seguir serão apresentados os resultados do ensaio de resistência à flexão realizados nos três tipos de ladrilhos. Nos ladrilhos hidráulicos os ensaios foram realizados separadamente para ladrilhos decorativos e para pisos táteis.

Figura 69: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos cerâmicos



Fonte: (AUTORA, 2016)

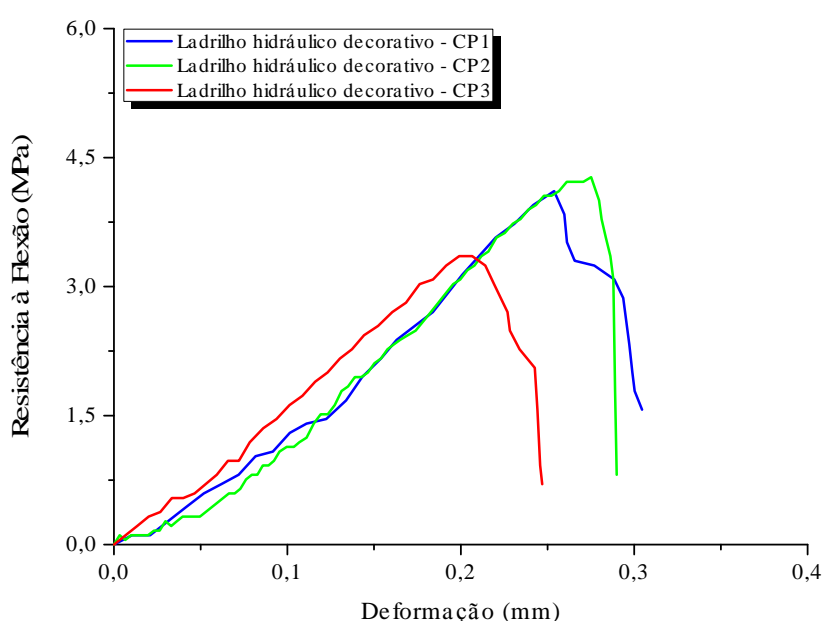
Figura 70: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos cerâmicos



Fonte: (AUTORA, 2016)

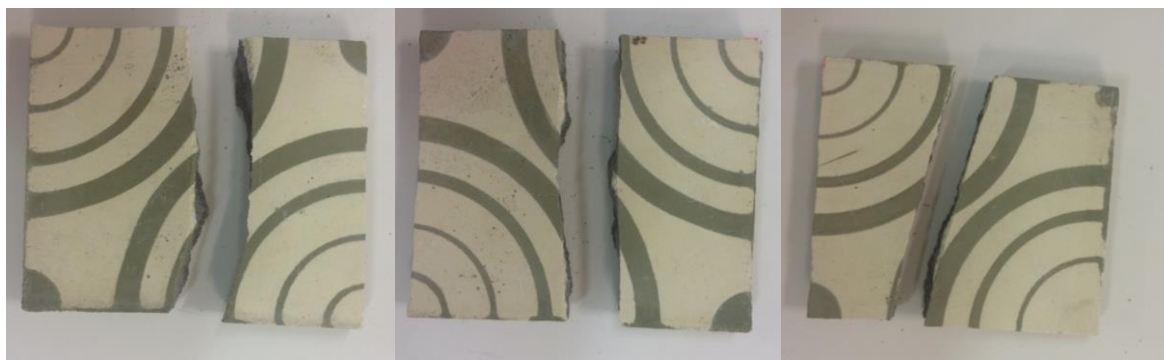
A norma NBR 13818:97 estabelece para ladrilhos cerâmicos do grupo B1b que o módulo de ruptura à flexão seja superior a 30 MPa, o que não ocorreu com o ladrilho cerâmico utilizado. Nos ladrilhos cerâmicos submetidos ao ensaio de flexão os valores do módulo de resistência foram próximos da metade do valor estipulado pela norma. Segundo Hoffmann et al. (2012, p. 76), quanto menor a absorção de água, melhores as características de resistência mecânica dos ladrilhos cerâmicos.

Figura 71: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos decorativos



Fonte: (AUTORA, 2016)

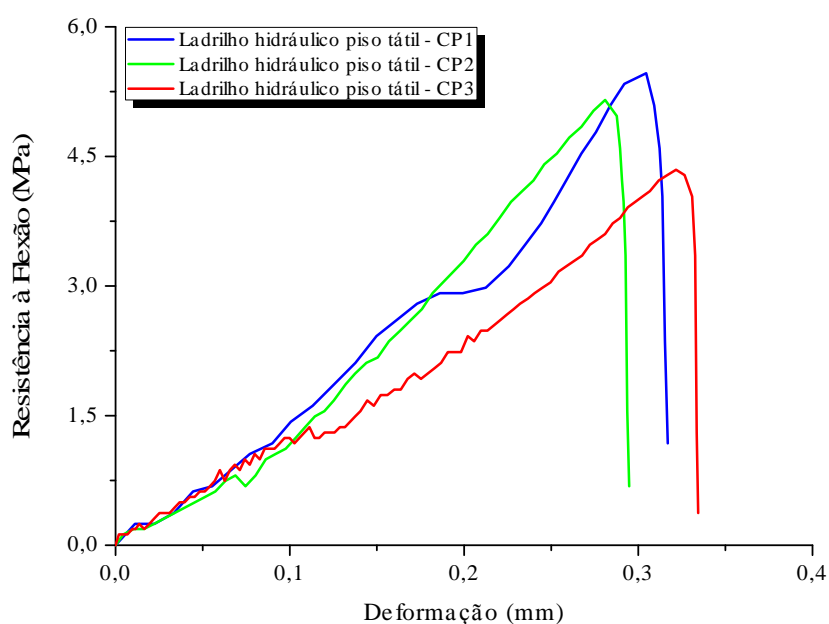
Figura 72: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos decorativos



Fonte: (AUTORA, 2016)

O valor mínimo estabelecido pela NBR 9457:86 para resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos é de 3,5 MPa. Dos 3 corpos de prova ensaiados, 2 ladrilhos estavam de acordo com o padrão. De acordo com Toledo et al. (2014), quando a carga mínima não é alcançada faz-se necessário redefinir o traço da argamassa.

Figura 73: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis



Fonte: (AUTORA, 2016)

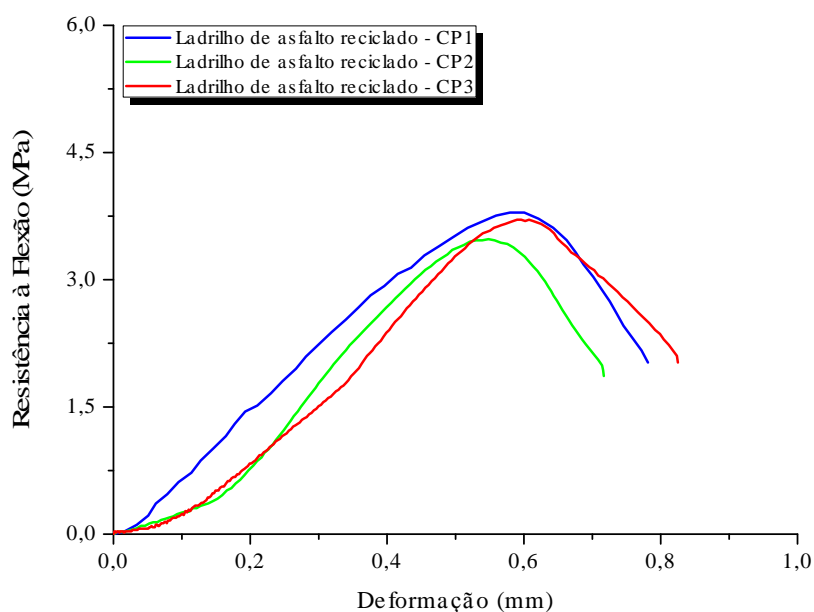
Figura 74: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos pisos táteis



Fonte: (AUTORA, 2016)

Para os ladrilhos hidráulicos pisos táteis, os 3 corpos de prova ensaiados estavam de acordo com a padronização. O gráfico para esse ensaio demonstra um deslocamento mais rápido no momento inicial, mas ao longo do ensaio apresenta uma reta ascendente até a ruptura para todos os corpos de prova.

Figura 75: Gráfico do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos de asfalto reciclado



Fonte: (AUTORA, 2016)

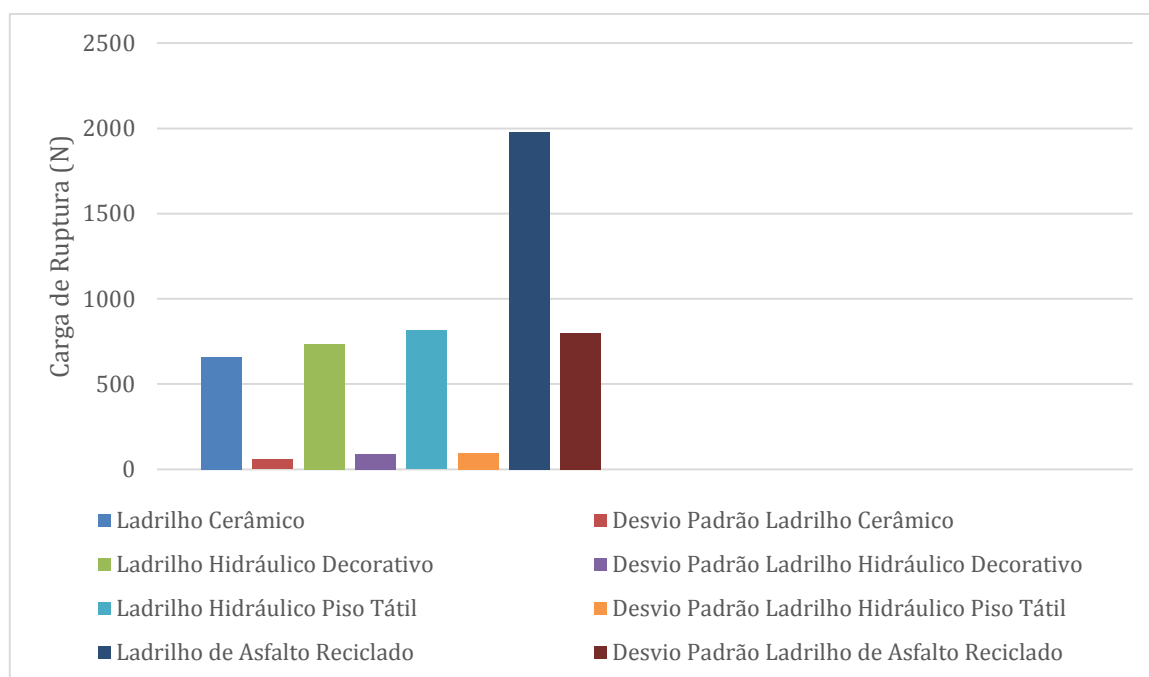
Figura 76: Peças utilizadas no ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos de asfalto reciclado



Fonte: (AUTORA, 2016)

Os ladrilhos cerâmicos possuem resistência muito maior quando comparados aos ladrilhos hidráulicos e aos ladrilhos de asfalto reciclados. Os ladrilhos de asfalto reciclados possuem módulo de resistência à flexão inferior aos demais, porém apresenta valores de carga de ruptura bastante elevados conforme mostra o gráfico da Figura 77 com a média da carga de ruptura para cada ladrilho estudado.

Figura 77: Valores médios da carga de ruptura dos ladrilhos ensaiados



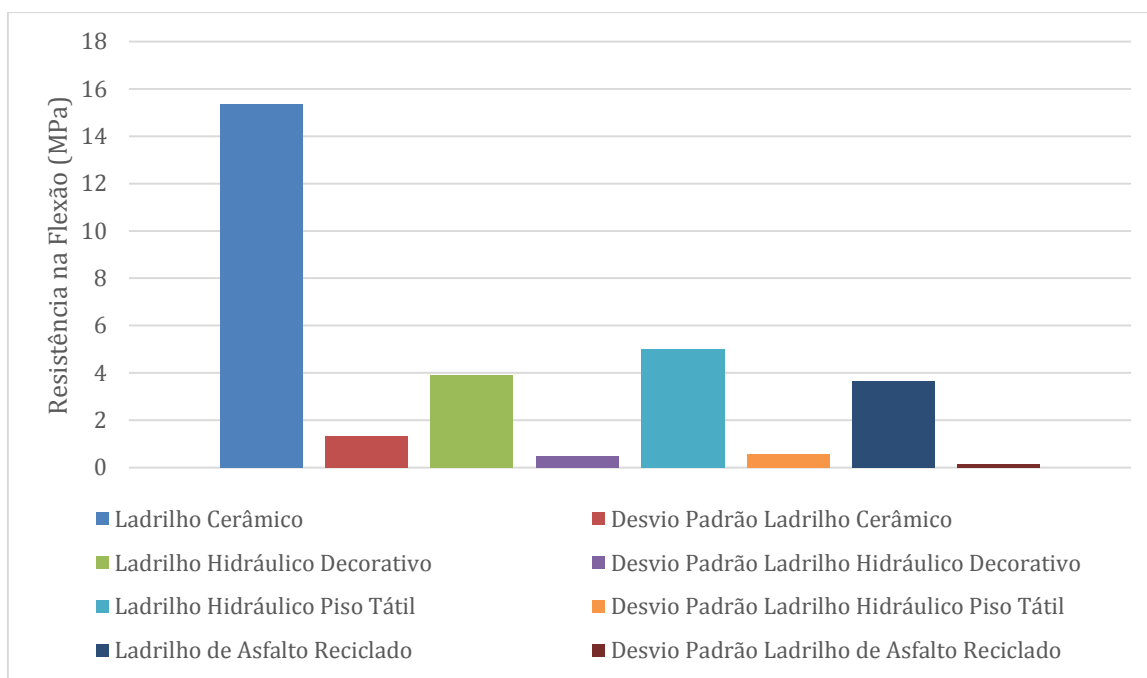
Fonte: (AUTORA, 2016)

De acordo com a norma NBR 13818/97 a carga de ruptura depende tanto do material quanto da espessura da peça. Segundo o Inmetro (1998), a carga de ruptura dos ladrilhos cerâmicos depende da classe de absorção da água, pois quanto menor a absorção, maior a carga suportada, portanto, quanto mais porosas, menos resistentes são, o que justifica os ladrilhos de asfalto reciclado possuírem valor médio de carga de ruptura muito superior aos demais ladrilhos.

Nos 3 tipos de revestimentos estudados, quando se observa o detalhe das peças submetidas ao ensaio de flexão, nota-se que em todas elas ocorreu ruptura no terço central, fato que torna o ensaio válido e demonstra a correta solicitação dos ladrilhos.

O gráfico representado pela Figura 78 mostra os valores médios da resistência à flexão nos ladrilhos ensaiados.

Figura 78: Valores médios de resistência à flexão dos ladrilhos ensaiados



Fonte: (AUTORA, 2016)

4.8 RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

No quadro 3 são apresentados os resultados da perda de peso obtidos durante o ensaio de abrasão profunda nos três tipos de ladrilho. Assim como no ensaio de resistência à flexão, os ladrilhos hidráulicos foram avaliados em dois ensaios, um para ladrilhos hidráulicos decorativos e outro para ladrilhos hidráulicos pisos táteis. A avaliação para cálculo do desgaste foi feita pela diferença de peso dos ladrilhos a cada ciclo de 20 minutos.

Quadro 3: Resultados da perda de peso em ensaio de abrasão profunda

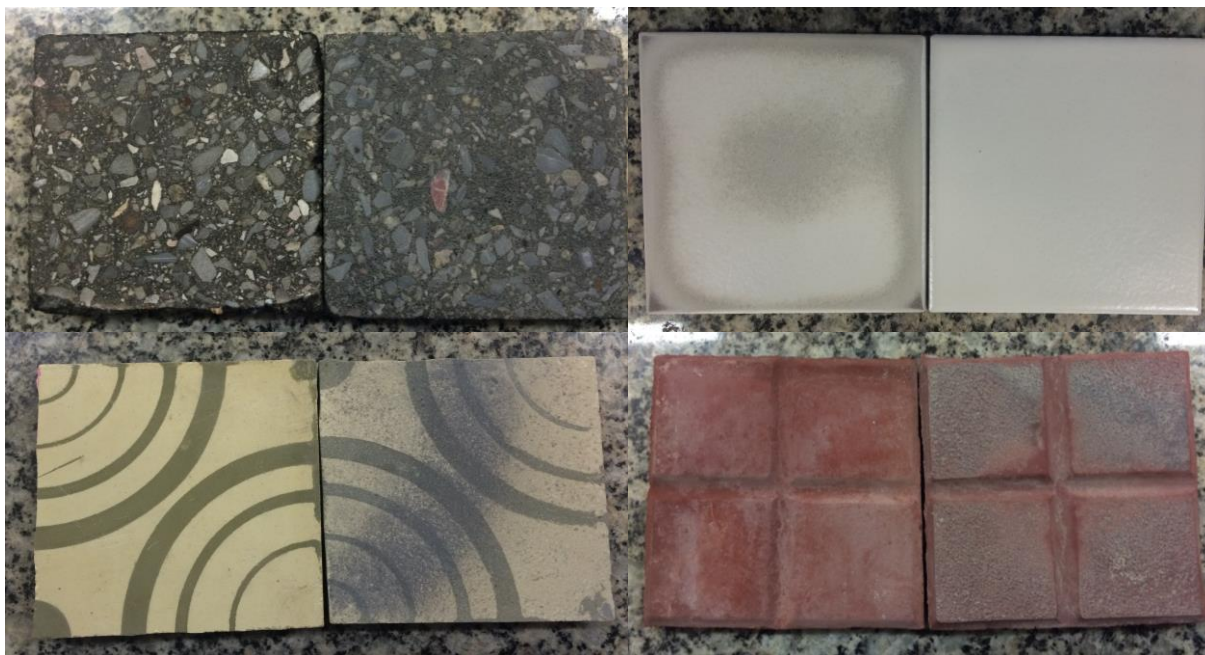
Ladrilhos de Asfalto Reciclado	Perda de massa total em 120 min. (g)	Média CP's (g)
CP-01	9,02	7,71
CP-02	5,93	
CP-03	8,18	
Ladrilhos Cerâmicos	Perda de massa total em 120 min. (g)	Média CP's (g)
CP-01	0,9	0,76
CP-02	0,75	
CP-03	0,62	
Ladrilhos Hidráulicos Decorativos	Perda de massa total em 120 min. (g)	Média CP's (g)
CP-01	8,86	8,57
CP-02	8,29	
CP-03	8,55	
Ladrilhos Hidráulicos Pisos Táteis	Perda de massa total em 120 min. (g)	Média CP's (g)
CP-01	5,79	5,35
CP-02	5,57	
CP-03	4,68	

Fonte: (AUTORA, 2016)

Os resultados dos desgastes por abrasão profunda indicaram que os ladrilhos cerâmicos foram os que apresentaram menor desgaste por abrasão, isso se deve ao fato desse material possuir a superfície esmaltada. O ladrilho hidráulico decorativo foi o que apresentou maior desgaste devido principalmente ao fato da superfície do material conter apenas cimento e pigmento, já o desgaste do ladrilho hidráulico piso tátil foi menor que o decorativo por sua superfície ser em relevo. A média do desgaste por abrasão nos ladrilhos de asfalto reciclado foi muito próxima da média dos ladrilhos hidráulicos decorativos. Foi observado também que nos primeiros minutos de ensaio em todos os ladrilhos o desgaste foi maior e esse desgaste foi

diminuindo à medida que o tempo de ensaio prolongava, apresentando uma perda gradual em todos os materiais. A Figura 79 mostra os desgastes dos ladrilhos.

Figura 79: Desgaste dos ladrilhos em ensaio de abrasão profunda



Fonte: (AUTORA, 2016)

4.9 ENSAIO DE DEGRADAÇÃO EM CÂMARA CLIMÁTICA

Geralmente as argamassas apresentam coeficiente de dilatação térmica diferentes dos ladrilhos, as variações bruscas de temperatura (aquecimento e resfriamento) podem ocasionar ruptura ou desprendimento dos revestimentos por efeito de fadiga. Durante o ensaio de degradação em câmara climática nenhum dos ladrilhos que foram submetidos ao ensaio descolou-se da argamassa ou soltou-se da placa de fibrocimento.

Foi observado durante as etapas dos ciclos da câmara que quando a mudança de temperatura ou umidade programadas eram muito extremas, as etapas seguintes demoravam mais tempo para atingir a temperatura ou umidade, por isso a discrepância entre os gráficos representativos do que foi planejado e o que foi alcançado.

4.10 ENSAIO DE ADERÊNCIA

Os quadros 4 a 6 mostram os resultados da tensão de ruptura obtidos durante o ensaio de aderência e a média encontrada para cada tipo de argamassa utilizada e cada ladrilho ensaiado. Todos os valores encontrados para tensão de ruptura foram abaixo dos valores sugeridos pela norma, porém a maioria dos rompimentos ocorreu entre a argamassa e o substrato, levantando a hipótese que esses valores possam ser superiores caso haja a substituição do substrato de fibrocimento pelo substrato de concreto.

Quadro 4: Tensão de ruptura em ladrilhos de asfalto reciclado

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
Ladrilhos de Asfalto Reciclado		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tensão de ruptura (MPa)	CP-01	0,15	0,15	0,09	0,09
	CP-02	0,06	0,13	0,11	0,10
	CP-03	0,14	0,15	0,10	0,09
	CP-04	0,11	0,07	0,13	0,16
	CP-05	0,11	0,07	0,13	0,13
	CP-06	0,12	0,06	0,10	0,09
	Média (MPa)	0,12	0,14	0,11	0,11

Fonte: (AUTORA, 2016)

Nos ladrilhos de asfalto reciclado, a média dos valores obtidos após arrancamento das placas assentadas com argamassa AC-II submetidas à câmara climática foram inferiores às placas que permaneceram em condições naturais, já para a argamassa AC-III, a média da tensão de ruptura nos dois casos foi a mesma. As tensões de ruptura para argamassas do tipo AC-II foram superiores às tensões para argamassas do tipo AC-III, contrariando o conceito da norma NBR 14081-1/2012 que sugere valores de tensões superiores para argamassas do tipo AC-III. Ferreira

(2014, p. 80) salienta que no ensaio de aderência não é possível prever que o comportamento dos materiais sejam aproximados, mesmo que estes pertençam a mesma origem e tenham sido fabricados seguindo a mesma metodologia.

Quadro 5: Tensão de ruptura em ladrilhos cerâmicos

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tensão de ruptura (MPa)	Ladrilhos Cerâmicos				
	CP-01	0,09	0,11	0,10	0,11
	CP-02	0,14	0,11	0,12	0,15
	CP-03	0,10	0,13	0,09	0,10
	CP-04	0,09	0,15	0,09	0,17
	CP-05	0,10	0,15	0,12	0,14
	CP-06	0,14	0,13	0,10	0,11
	Média (MPa)	0,11	0,13	0,10	0,13

Fonte: (AUTORA, 2016)

Para os ladrilhos cerâmicos, tanto para placas assentadas com argamassa AC-II, quanto para placas assentadas com argamassa AC-III, as placas submetidas à câmara climática tiveram média de tensão de ruptura inferior às placas submetidas às condições naturais, porém as médias encontradas nos estudos das duas argamassas foram muito próximas.

Quadro 6: Tensão de ruptura em ladrilhos hidráulicos

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
Ladrilhos Hidráulicos		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tensão de ruptura (MPa)	CP-01	0,12	0,09	0,24	0,19
	CP-02	0,11	0,10	0,16	0,09
	CP-03	0,12	0,12	0,15	0,24
	CP-04	0,11	0,12	0,15	0,18
	CP-05	0,11	0,11	0,16	0,16
	CP-06	0,10	0,10	0,16	0,18
	Média (MPa)	0,11	0,11	0,17	0,17

Fonte: (AUTORA, 2016)

Para os ladrilhos hidráulicos, o desempenho da argamassa do tipo AC-II foi inferior ao desempenho da argamassa AC-III, porém os valores das médias de tensão de ruptura foram iguais para as placas submetidas à câmara climática e as submetidas às condições naturais.

Os quadros 7 a 9 mostram os resultados da avaliação do tipo de ruptura ocorrido durante o arrancamento.

Quadro 7: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos de asfalto reciclado

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
Ladrilhos de Asfalto Reciclado		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tipo de ruptura	CP-01	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-02	P	S/A	S/A	S/A
	CP-03	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-04	S/A	F	S/A	S/A
	CP-05	S/A	F	S/A	S/A
	CP-06	S/A	P	S/A	S/A

Legenda:

S/A – Ruptura na interface argamassa e substrato.

P - Ruptura do ladrilho.

F - Falha na colagem da peça metálica.

Fonte: (AUTORA, 2016)

Quadro 8: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos cerâmicos

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
Ladrilhos Cerâmicos		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tipo de ruptura	CP-01	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-02	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-03	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-04	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-05	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-06	S/A	S/A	S/A	S/A

Legenda:

S/A – Ruptura na interface argamassa e substrato.

Fonte: (AUTORA, 2016)

Quadro 9: Avaliação do tipo de ruptura em ladrilhos hidráulicos

		Argamassa AC-II		Argamassa AC-III	
Ladrilhos Hidráulicos		Após período em câmara climática	Após período em condições naturais	Após período em câmara climática	Após período em condições naturais
Tipo de ruptura	CP-01	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-02	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-03	S/A	S/A	S/A	A/P
	CP-04	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-05	S/A	S/A	S/A	S/A
	CP-06	S/A	S/A	S/A	S/A

Legenda:

S/A – Ruptura na interface argamassa e substrato.

A/P - Ruptura na interface argamassa e ladrilho.

Fonte: (AUTORA, 2016)

Quanto ao tipo de ruptura, os valores marcados em vermelho foram descartados conforme sugestão da norma NBR 14081-4:2012, mas na maioria dos casos ocorreu ruptura entre a argamassa e o substrato. A Figura 80 mostra alguns tipos de ruptura ocorridos durante o ensaio.

Figura 80: Tipos de ruptura ocorridos durante ensaio de arrancamento por tração



Fonte: (AUTORA, 2016)

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões observadas com base nos resultados obtidos na pesquisa, como descrito:

- O teor de betume da amostra estudada, se apresentou dentro do limite fixado pelo DNIT, porém muito próximo da faixa mínima, podendo-se concluir que o material recolhido é relativamente pobre em quantidade de ligante, o que acaba justificando o acréscimo de 1% de CAP na mistura para confecção dos ladrilhos. Este acréscimo de ligante acabou evidenciando as propriedades impermeabilizantes do material.
- Quanto à granulometria, a amostra de CAF apresenta equilíbrio nos percentuais de agregados graúdos e miúdos, sendo os graúdos com dimensão máxima de 19mm. Pelo módulo de finura pode-se concluir que os grãos referentes a agregados miúdos ultrapassam o valor referencia do padrão DNER-ME-035/95, predominando a porcentagem de grãos maiores, ou seja os grãos não são tão finos quanto o esperado pela norma. A curva granulométrica mostrou-se dentro dos limites (superior e inferior) da faixa C, estimados pelo DNIT.
- Na fabricação de blocos de asfalto reciclado pode-se concluir que quanto maior a temperatura de aquecimento do material fresado e quanto maior a quantidade de finos na mistura, menor o esforço de tensão gerado no processo de prensagem dos blocos. A tensão aumenta à medida que há acréscimo de agregado graúdo e diminuição da temperatura que faz com que os grumos da mistura sejam maiores.
- Com relação à prensagem dos blocos e às densidades aparentes, foi observado que quanto menor a tensão de prensagem dos blocos, menor a densidade aparente dos mesmos.
- Os blocos de asfalto reciclado apresentaram baixos índices de absorção de água devido às características impermeabilizantes do CAP contidos na mistura de asfalto reciclado e o valor da tensão muito baixo aliado à elevada quantidade de grumos fez com que o bloco apresentasse falhas nas extremidades após o corte dos ladrilhos.
- Os ladrilhos de asfalto reciclado apresentaram o menor índice de absorção devido as propriedades impermeabilizantes do ligante, porém índices maiores

de absorção indicam elevada porosidade. O baixo valor de absorção e índice de vazios nos ladrilhos de asfalto reciclado resultam em valores elevados da carga de ruptura nos ensaios de flexão, a partir daí pode-se afirmar que quanto menor a absorção de água, melhores as características de resistência mecânica dos materiais.

- Os resultados apresentados no ensaio de desgaste por abrasão profunda foram satisfatórios.
- No ensaio em câmara climática não houve descolamento nem ruptura dos ladrilhos nas placas de fibrocimento, mostrando-se que as mudanças bruscas de temperatura e umidade não afetaram diretamente os ladrilhos no período de permanência na câmara climática.
- Quanto ao ensaio de aderência, os ladrilhos de asfalto reciclado apresentaram valores inferiores aos estipulados pela norma, porém grande parte dos arrancamentos ocorreram entre a camada de argamassa e o substrato, o que levanta a hipótese que se for utilizado outro substrato para realização deste ensaio a força de arrancamento será maior.

Como conclusão dos estudos realizados nesta pesquisa, observou-se que o ladrilho de asfalto reciclado pode ser viável sob o ponto de vista técnico.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho de pesquisa sugere como trabalhos futuros:

1. Realização de ensaios de desgaste químicos em ladrilhos de asfalto reciclado a fim de comparar esses desgastes com os de outros ladrilhos estudados;
2. Realização de ensaios mecânicos em ladrilhos de asfalto reciclado sem acréscimo de ligante e com acréscimo maior de ligante, para saber as variações que porventura possam ocorrer serão significativas ou não;
3. Utilização de substrato de concreto, ao invés do fibrocimento para ensaio de aderência e verificar se os resultados durante o arrancamento por tração serão superiores aos obtidos nesta pesquisa.
4. Elaboração de um estudo econômico detalhado para atestar a viabilidade econômica dos ladrilhos asfálticos reciclados.

7 REFERÊNCIAS

ABREU, Liliana; et al. Formulação e caracterização de ligantes numa mistura betuminosa com uma taxa de reciclagem elevada. Repositorium, Braga, 2013. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/26291>>. Acesso em 19 ago. 2015.

AGUILAR, Gildeci Souza de. Blocos intertravados em concreto asfáltico reciclado à quente – Estudo de viabilidade técnica. 2016. 181f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ALMEIDA, M.D.; et al. Mix design considerations for warm mix recycled asphalt with bitumen emulsion. Construction and Building Materials, Lisboa, v. 28, n. 1, p. 687-693, mar. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Dados estatísticos mensais. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?pg=64555%26m=%26t1=%26t2=%26t3=%26t4=%E5%3C8%26cachebust=1408326992231>>. Acesso em 23 mai. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9457: Ladrilho hidráulico. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Rio de Janeiro, 2012.

BAPTISTA, A.M.C. Misturas betuminosas recicladas a quente em central: Contribuição para o seu estudo e aplicação. 2006. 382f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.

BARRETA, Ana Carolina; FORTES, R.C. Estudo comparativo da utilização de duas tecnologias diferentes na reciclagem de pavimento asfáltico com espuma de asfalto para utilização em camada de base. VII Jornada de iniciação científica, São Paulo, 2011. Disponível em http://www.mackenzie.br/fileadmin/Pesquisa/pibic/publicacoes/2011/pdf/eciv/ana_carolina_barreta.pdf. Acesso em 27 ago. 2015.

BETINI, Daniela Gioppo. Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá. 2007. 145f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BRIONIZIO, J.D; MAINER, F.B. Avaliação de temperatura e umidade em uma câmara climática. In: CONGRESSO E FEIRA DA QUALIDADE EM METROLOGIA, 2006, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: REMESP, 2006. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/producao intelectual/obras_intelectuais/225_obraIntelectual.pdf. Acesso em 17 nov. 2015.

CABEÇAS, H.J.H.Z. Reciclagem de pavimentos na engenharia rodoviária. 2014. 131f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora.

CALLISTER, Jr, W.D. Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 708p.

CAMPOS, C.F. Trajetória e significado do ladrilho hidráulico em Belo Horizonte. 2011. 201f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CASTRO, Luciana Nogueira de. Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto. 2003. 183f. Tese (Doutorado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CATOIA, Thiago. Ladrilhos e revestimentos hidráulicos de alto desempenho. 2007. 133f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

CAVALLI, Angelina Franciele; VALDUGA, Laila. Ladrilhos hidráulicos: Reconstituição e caracterização. In: ENTAC, 11, 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2006, p. 4042-4050.

COSTA, P.J.S. Manutenção de pavimentos rodoviários: Utilização do sistema HDM-4. 2014. 150f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto.

DANTAS, T.N.C.D., et al. Reciclagem de material asfáltico fresado com a utilização de solventes e microemulsões. In: PDPETRO, 4, 2007, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas: ABPG, 2007. Disponível em <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0194-1.pdf> Acesso em 9 set. 2015.

DELBIANCO, Gislaíne Aparecida Barana. Estudo de rejeitos de galvanoplastia e sua aplicação na fabricação de peças cerâmicas rústicas para fins decorativos. 2008. 96f. Tese (Doutorado) – Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 035: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 037: Agregado graúdo para concreto de cimento. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 038: Agregado miúdo para concreto de cimento. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 053: Misturas betuminosas – percentagem de betume. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 081: Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 083: Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 084: Agregado – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 086: Agregado – determinação do índice de forma. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - EM 096: Agregado graúdo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 192: Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 194: Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 195: Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 196: Agregados – determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 197: Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 266: Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - PRO 120: Coleta de amostras de agregados. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – ES 031: Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Rio de Janeiro, 2005.

EMBRAMACO. Informações técnicas. Disponível em <http://www.embramaco.com.br/porcellanato_esmaltado/index.php>. Acesso em 13 jul. 2016.

FALCHETTO, A.C.; et al. Microstructural and rheological investigation of asphalt mixtures containing recycled asphalt materials. *Construction and Building Materials*, Minneapolis, v. 35, p. 321-329, oct. 2012.

FERREIRA, Ana Isabel de Graça. Estudo de aderência de argamassas-cola em lâminas cerâmicas. 2014. 86f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

FONSECA, Paulo; et al. Estudo de material fresado para incorporação em misturas betuminosas a quente com altas taxas de reciclagem. *Repositorium*, Braga, 2013. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/26296>>. Acesso em 19 ago. 2015.

FIORITTI, César Fabiano. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. 2007. 218f. Tese (Doutorado) – Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FREITAS, Eduardo De. "Petróleo no Brasil "; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/o-petroleo-no-brasil.htm>>. Acesso em 11 ago. 2015.

GONÇALVES, Bruno César Silva.; et al. Análise de dispersão de resultados do controle de teor de ligante e granulometria de misturas asfálticas com agregados de baixa absorção a partir do Rotarex. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2015, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: ISSN, 2015.

GORINI, A.P.F.; CORREA, A.R. BNDES. Cerâmica para revestimentos. Rio de Janeiro, 1999.

HOFFMANN, F.S.; et al. Estudo de fundente e argilito com potencial para uso em formulações de porcelanato. *Cerâmica*, São Paulo, v. 58, p. 174-185, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Revestimentos cerâmicos (pisos e azulejos). Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>> . Acesso em 21 mai. 2016.

LEITE, L.F.M. Sustentabilidade de pavimentos asfálticos. SINICESP, São Paulo, jun. 2013. Disponível em <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt07a.htm>>. Acesso em 18 ago. 2015.

LIMA, Cristian Kelly Moraes de. Estudo da incorporação de resíduo industrial polimérico ao CAP. 2008. 101f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LOPES, Vítor Emanuel Alfonso. Desenvolvimentos recentes na normalização de revestimentos cerâmicos, colas e argamassas de juntas. 2012. 196f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

MALANHO, S.O. Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Aveiro.

MARQUES, Jonathan de Souza. Estudo do processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando à implantação de resíduos sólidos. 2012. 119f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

NAKAMURA, Juliana. Ensaio de aderência de revestimento de argamassa: Normas e legislação. Técnica, São Paulo, 2010. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/159/teste-padrao-ensaio-de-aderencia-de-revestimentos-de-argamassa-287754-1.aspx>>. Acesso em 25 fev. 2016.

OLIVEIRA, A.P.N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. Cerâmica Industrial, Florianópolis, 2000. Disponível em <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n06/v5n6_6.pdf>. Acesso em 13 out. 2015.

PALHA, Daniela; et al. Avaliação do desempenho de misturas betuminosas recicladas com elevadas taxas de material fresado. Repositorium, Braga, 2014. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/32103>>. Acesso em 19 ago. 2015.

PORTOBELLO. Manual técnico. Disponível em <<https://www.portobello.com.br/atendimento#support-tecnical>>. Acesso em 13 jul. 2016.

REIS, A.C.R. Propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas em usina protótipo de escala reduzida. 2013. 115f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia. Departamento de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2013.

REIS, A.S; TRISTÃO, F.A. Ladrilho hidráulico piso tátil com adição de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. IBRACON, São Paulo, 2010. Disponível em <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/riem/volume3_n4.asp>. Acesso em 21 ago. 2015.

REMÉDIOS, Nuno; FARIA, Paulina. Avaliação de sistemas de acabamento para rebocos de edifícios antigos. In: REHABEND, 2016, Burgos. Anais... Burgos: 2016. p. 1260-1268.

ROMAN, Humberto et al. Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes de construção. In: ROMAN, Humberto et al. Normalização e certificação na construção habitacional. 1. ed. Porto Alegre: Ed. Antac, 2003, cap. 7.

SACHET, Taís. Estudo de propriedades mecânicas de concretos compactados com incorporação de fresados para bases de pavimentos. 2012. 186f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo.

SAGAVE, A.M. Desenvolvimento de método de ensaio de aderência ao cisalhamento de peças cerâmicas de revestimento. 2001. 130f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados. 2013. 130f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SENÇO, Wastermiler. Manual de técnicas de projetos rodoviários. 1. Ed. São Paulo: PINI, 2008, 758p.

SENS, Fabrício. Análise das características do revestimento asfáltico aplicado nas vias urbanas de Lages – SC. 2012. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) – Engenharia Civil, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2012.

SENYWAN Corporation. Equipamentos para construção e manutenção de rodovias. SENYWAN, 2015. Disponível em <<http://www.senyuancorporation.com.br/products/0/180431>>. Acesso em 18 ago. 2015.

SHU, X.; et al. Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, Knoxville, v. 22, n. 7, p. 1323-1330, July 2008.

SILVA, C.C. Utilização de betume espuma na produção de misturas betuminosas mais sustentáveis. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Braga.

SILVA, Inês Martins Louraço Gonçalves da. O projeto de revestimentos cerâmicos aderentes de fachada: proposta de diretrizes para o seu desenvolvimento e implementação. 2014. 186f. Dissertação (Mestrado) – Construção e reabilitação, Técnico Lisboa, Lisboa, 2014.

SILVESTRE, José; BRITO, Jorge de. Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes. Repositorium, Braga, 2008. Disponível em <<http://www.civil.uminho.pt/revista/n30/Pag%2068.pdf>> . Acesso em 13 out. 2015.

SOUZA, A.J.; et al. Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado. *Cerâmica*, São Paulo, v. 57, p. 212-218, mar. 2011.

TAGLIAFERRI, Paulo. Fresagem Asfalto. Operation, Belo Horizonte, 2014. Disponível em <<http://www.operation.com.br/blog?q=fresagem%20asfalto>>. Acesso em 19 ago. 2015.

TOLEDO, A.; et al. Uso de resíduos da indústria de rochas ornamentais na confecção de ladrilhos hidráulicos. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014, Guimarães. Anais... Guimarães: Universidade do Minho, 2014. p. 415-426.

TORRES, H.P. Utilização de betumes modificados na regeneração de misturas com elevadas percentagens de reciclagem. 2014. 125f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade do Minho, Braga.

VISLAVICIUS, K; SILVILEVICIUS, H. Effect of reclaimed asphalt pavement gradation variation on the homogeneity of recycled hot-mix asphalt . *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vilnius, v. 13, n. 3, p. 345-353, sep. 2013.

WIDYATMOKO, Iswandar. Mechanist – empirical mixture design for hot mix asphalt pavement recycling. *Construction and Building Materials*, Nottingham, v. 22, n. 2, p. 77-87, feb. 2008.

WU, S.; et al. Investigation of temperature characteristics of recycled hot mix asphalt mixtures. *Resources, Conservation and Recycling*, Wuhan, v. 51, n. 3, p. 610-620, sep. 2007.