

NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND CONTENDO RESÍDUOS POLIMÉRICOS DE PET**

**JOINVILLE
2008**

NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND CONTENDO RESÍDUOS POLIMÉRICOS DE PET**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville. Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro Novaes de Oliveira. Co-Orientador: Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira.

**JOINVILLE
2008**

Aos meus Pais, irmã e irmãos
pelo apoio e incentivo em
todos os momentos...

AGRADECIMENTOS

À Universidade da Região de Joinville, e ao Programa de Mestrado em Engenharia de Processos, na figura dos alunos, professores e funcionários.

Ao Prof. Dr. Antonio Pedro Novaes de Oliveira, pelo brilhante acompanhamento e pela orientação competente durante a realização deste trabalho.

Ao Prof Dr. Rogério Vieira de Almeida, pela seriedade, solicitude e incentivo prestado durante as disciplinas ministradas, e na co-orientação deste trabalho.

À Empresa Stein Construções Ltda, em especial ao Eng^o Vanderley Luiz Marchi, pelo apoio técnico fornecido durante a escolha dos materiais e métodos utilizados neste trabalho, e por todo o apoio fornecido durante a realização de meu mestrado.

Ao Eng^o Arnaldo Alves dos Santos e ao Senhores Rodrigo Luiz Bitencourt, Carlos Cegala e Gentil Censi pelo apoio técnico, pela sugestão de materiais e fornecedores, e pelo fornecimento de materiais poliméricos.

Aos Senhores André e Nelson Benetti Moura, e ao Eng^o Alexandre José Erbs, da empresa TESTESOLO – Análise Laboratorial de Solo, Concreto e Asfalto, responsáveis pela confecção e execução dos ensaios mecânicos dos corpos-de-prova utilizados para a realização deste trabalho.

À Prof^a Dr^a. Ana Paula Testa Pezzin que me auxiliou grandemente durante a realização deste trabalho ao solucionar minhas dúvidas, e ao fornecer valiosas informações e materiais de estudo.

Ao Prof. Msc. Theodoro Marcel Wagner e aos acadêmicos e Gustavo Alexandre Achilles Fischer e Roger Hoél Bello pelo primoroso auxílio na realização dos ensaios de Espectrofotometria de infra-vermelho.

E finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Ninguém pode voltar atrás e fazer um novo começo
mas qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier

RESUMO

Esta dissertação de mestrado refere-se a um trabalho de pesquisa sobre o reaproveitamento de resíduos de poli (tereftalato de etileno) (PET) pós-consumo como substitutos parciais de agregados minerais em concretos de cimento *Portland*. Foram utilizados 3 tipos de resíduos e 4 frações de substituição para cada um dos resíduos (1%, 2%, 3% e 4%vol. para o resíduo denominado Filme, e 10%, 20%, 30% e 40%vol. para os resíduos denominados Areia e Flake). Obteve-se assim, 13 traços de concreto, um sem substituição de resíduos para ser utilizado como referência e 12 traços de concreto com substituição de agregados. Os agregados minerais foram caracterizados de acordo com as práticas usuais na construção civil. Os resíduos foram caracterizados quimicamente através de espectrofotometria do infravermelho próximo. Os traços desenvolvidos foram caracterizados por meio de ensaios de consistência (abatimento do tronco de cone). As propriedades dos concretos obtidos foram determinadas por meio de medidas de porosidade, absorção de água, resistência à compressão axial e de densidades real, aparente e no estado solto e também por meio de análise microestrutural. Os valores referentes as características e propriedades determinadas dos agregados convencionais estavam de acordo com as exigências das normas técnicas da ABNT. Os resultados da espectrofotometria do infravermelho próximo foram analisados e comparados aos espectros padrão e por análise das funções orgânicas características, que confirmaram que os resíduos eram de PET. Maiores frações de substituição de agregados minerais por resíduos de PET provocaram, de modo geral, maiores reduções do abatimento, resistência à compressão axial e das densidades resultando em maiores porosidade e absorção de água. Estes efeitos foram mais predominantes nos traços com resíduos do tipo Filme. Os resultados obtidos apontam favoravelmente para a possibilidade de utilização de resíduos de PET pós-consumo como substitutos de agregados minerais em concreto de cimento *Portland* em aplicações específicas.

Palavras-chave: concreto, cimento Portland, resíduos, poli (tereftalato de etileno) (PET).

ABSTRACT

In this work a study related to the reusing of poli (tereftalato de etileno) (PET) wastes in partial substitution of mineral aggregates in concretes of Portland cements was performed. Three kinds of polymeric (PET) wastes were used and added, in the 1-4% vol. range for the “Filme” waste and in the 10-40%vol. range for the “Areia” and Flake wastes. Thus 12 concrete samples were prepared and obtained for the experiments. A concrete sample without PET addition, i.e. just with mineral aggregates, was also prepared and used as a reference. The mineral aggregates were characterized according to usual building engineering practices. The related wastes were chemically characterized by infra-red spectroscopy. The obtained concrete samples were also characterized according to their consistencies (abatment test). The properties of the obtained concretes were determined by mains of porosity, water absorption, densities and mechanical strength (by compression) measurements as well as by microestructural analysis. The values related to the characteristics and properties determined for the conventional aggregates were in good agreement to the technical Brazilian standards. The results related to the infra-red spectroscopy were analyzed and compared to those of the standard spectra so that by analyzing the characteristics organic functions the wastes were confirmed as PET. As the mineral aggregates were substituted by the PET wastes, in general, a reduction of the abatment, mechanical strength and densities was observed which resulted in higher porosity and water absorption values. These effects were predominants in the concrete samples denominated Filme. In any case, results indicate that the PET wastes can be used as substitutes of mineral aggregates in concretes made of Portland cement in a number of applications.

Keywords: concrete, Portland cement, wastes, poly (ethylene terephthalate) (PET).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fração de reciclagem de PET (%) com relação ao consumo de alguns países e continente Europeu. (fonte: ABIPET, 2008)	7
Figura 2 – Evolução média de resistência à compressão em função da idade de diferentes tipos de cimento Portland. (fonte: ABCP, 1996, apud ABCP, 2002).....	13
Figura 3 – Fotografias de amostras de agregados utilizados para a realização deste trabalho: (a) areia fina; (b) areia média; (c) pedrisco; (d) pó de pedra com pedrisco. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.....	20
Figura 4 – Fotografias de amostras de resíduos de PET utilizados para a realização deste trabalho: (a) Filme de PET; (b) Areia de PET; (c) Flake de PET. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.	22
Figura 5 – Fotografia evidenciando o colapso de amostra com fração de substituição de agregados de 10% de resíduo Filme de PET, submetida ao ensaio de abatimento.....	25
Figura 6 – Curvas de distribuição granulométrica dos agregados.....	35
Figura 7 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Areia de PET.....	36
Figura 8 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Flake de PET.....	37
Figura 9 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Filme de PET com indicação dos picos característicos de funções orgânicas deste tipo de material.....	37
Figura 10 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra do material contaminante do resíduo tipo Filme de PET com indicação dos picos característicos de funções orgânicas deste tipo de material.	39
Figura 11 – Fator de forma dos resíduos Flake e Filme de PET.	41
Figura 12 – Abatimento em função da quantidade de resíduos dos traços ensaiados.	43
Figura 13 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo do tipo Areia de PET.	44

Figura 14 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo tipo Filme de PET.....	45
Figura 15 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo do tipo Flake de PET.....	46
Figura 16 – Porosidade dos traços ensaiados em função da fração volumétrica de substituição.....	49
Figura 17 – Absorção de água em função do percentual de resíduos nos traços ensaiados.	51
Figura 18 – Micrografias (microscopia ótica) da seção transversal de amostras fraturadas: (a) Padrão; (b) AR – 40; (c) FI – 04 e (d) FL – 40. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.	53
Figura 19 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Areia de PET.....	54
Figura 20 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Filme de PET.	55
Figura 21 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Flake de PET.	56

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Traços ensaiados (razão mássica de material com relação ao cimento (neste caso a unidade), material/cimento).....	26
Tabela 2 – Distribuição granulométrica e massa específica dos agregados.	34
Tabela 3 – Funções orgânicas referentes aos picos A, B, C, D e E (resíduos AR, FL e FI).	38
Tabela 4 – Funções orgânicas referentes aos picos A, B, C, D, E e F.....	40
Tabela 5 – Densidades reais, aparentes médias e porosidade média dos traços ensaiados.	48
Tabela 6 – Custo dos materiais convencionais utilizados no desenvolvimento dos traços utilizados neste trabalho.	59
Tabela 7 – Custo dos materiais para a produção de 1 m ³ de concreto dos traços desenvolvidos neste trabalho.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AR – Resíduos do tipo Areia de PET

FI – Resíduos do tipo Filme de PET

FL – Resíduos do tipo Flake de PET

HBR – *Highway Research Board*

NIR – *Near Infrared*

PET – Poli(*tereftalato* de etileno)

PS- Poli(*estireno*)

LISTA DE SÍMBOLOS

P – Porosidade

γ_r - Massa específica dos agregados

γ_a - Massa específica aparente dos agregados

ρ_a - Densidade aparente do material

ρ_r – Densidade real do material

ρ_s – Densidade do material no estado solto

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTAS DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	3
1.3 OBJETIVO GERAL.....	4
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	4
1.6 CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 RECICLAGEM DE PET NO MUNDO	7
2.2 RESÍDUOS DE PET APLICADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL.....	9
2.3 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	12
2.3.1 Cimento Portland	12
2.3.2 Agregado	14
2.3.3 Água de amassamento	16
2.3.4 Aditivo para concreto de cimento Portland	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1 MATERIAIS EMPREGADOS.....	18
3.1.1 Aglomerante.....	18
3.1.2 Agregados	19
3.1.3 Água de amassamento	20
3.1.4 Aditivo plastificante	21
3.1.5 Resíduos de Poli (<i>tereftalato</i> de etileno)	21
3.2 FORMULAÇÃO DOS TRAÇOS.....	23
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS	27

3.3.1	Caracterização da composição granulométrica dos agregados	27
3.3.2	Determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados.....	27
3.3.3	Espectrofotometria dos resíduos na região do infra-vermelho próximo	27
3.3.4	Determinação do fator de forma dos resíduos.....	28
3.4	PREPARAÇÃO DOS TRAÇOS	28
3.5	MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA	29
3.6	CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS.....	29
3.6.1	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	29
3.6.2	Determinação da densidade real dos traços ensaiados	30
3.6.3	Determinação da densidade aparente dos traços ensaiados	30
3.6.4	Determinação da densidade no estado solto dos traços ensaiados	31
3.6.5	Determinação da porosidade dos traços ensaiados	32
3.6.6	Absorção de água.....	32
3.6.7	Análise microestrutural	32
3.6.8	Resistência à compressão axial.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS.....	34
4.1.1	Caracterização granulométrica, massa específica e massa específica aparente dos agregados.....	34
4.1.2	Espectrofotometria dos resíduos na região do infra-vermelho próximo (resíduos AR, FL e FI)	36
4.1.3	Determinação do fator de forma dos resíduos.....	41
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS.....	42
4.2.1	Propriedades físicas	42
4.2.1.1	Abatimento	42
4.2.1.2	Densidades reais, aparentes e no estado solto	44
4.2.1.3	Porosidade	47
4.2.1.4	Absorção de água	50
4.2.2	Análise microestrutural	52
4.2.3	Resistência mecânica	54
4.2.3.1	Resistência à compressão axial.....	54
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
5	CONCLUSÕES.....	61
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS.....	61
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS.....	62
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS OBTIDOS.....	62
5.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	66

ANEXOS	70
ANEXO A – ESPECTRO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PADRÃO DE UM FILME DE POLI(<i>TEREFTALATO</i> DE ETILENO)	70
ANEXO B – ESPECTRO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PADRÃO DE UM FILME DE POLI(ESTIRENO).....	70
ANEXO C – VALORES MEDIDOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA DOS RESÍDUOS	70
ANEXO D – LISTA DE PUBLICAÇÕES	72
ANEXO E – LISTA DE PUBLICAÇÕES	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade de vida dos seres humanos pode ser alterada significativamente através da utilização de novas descobertas científicas para a produção de bens de consumo. Novas técnicas ou materiais podem servir como subsídios para a produção de artigos que tenham características inovadoras e desejáveis para aplicações específicas que venham a facilitar a vida dos seres humanos.

Uma grande inovação tecnológica da humanidade foi o desenvolvimento, na década de 40, século passado, do polímero denominado poli (*tereftalato* de etileno) (PET). O poli (*tereftalato* de etileno) é produzido à partir do petróleo, uma fonte natural não renovável, sendo um produto utilizado largamente para o envase dos mais diversos produtos na atualidade.

No final do último milênio ocorreu uma disseminação da utilização de embalagens “descartáveis” em forma de garrafas, produzidas com resina de PET, como uma alternativa às até então tradicionais garrafas de vidro utilizadas para o envase de refrigerantes. Esta difusão fez com que se reduzisse drasticamente o hábito de se conservar em casa e levar até os fornecedores no momento das compras, as antigas garrafas de vidro denominadas “retornáveis”, que eram utilizadas diversas vezes durante sua vida útil para o envase de um mesmo tipo de produto.

A “facilidade” de se entrar num revendedor, escolher um produto, consumi-lo e descartar (a “nova, prática e segura” embalagem de “plástico”) fez com que este se tornasse um hábito “moderno”. Porém, a praticidade deste hábito apresenta como contrapartida uma grande geração de resíduos pós-consumos.

Todos os resíduos gerados durante o processo de consumo devem ter uma destinação adequada. Dentre as alternativas possíveis para a destinação final de resíduos podem-se destacar a deposição dos resíduos em aterros e, a reciclagem, que além de reduzir a necessidade de criação de novos aterros, possibilita a redução da utilização de novos recursos naturais não renováveis.

Quando depositado em aterros, o poli (*tereftalato* de etileno) pode levar aproximadamente 400 anos para se degradar, reduzindo a capacidade física dos mesmos, e provocando, durante este tempo, uma diminuição da capacidade de percolação de gases e líquidos, aumentando o tempo necessário para estabilização da matéria orgânica.

A desigualdade social presente na realidade brasileira faz com que muitas pessoas encontrem na reciclagem de resíduos uma alternativa para prover seu sustento. Estas pessoas atuam como “catadores” de materiais recicláveis, percorrendo as ruas selecionando, recolhendo e classificando materiais descartados pela população para, posteriormente, vender estes materiais à empresas de reciclagem. Esta demanda colocou o Brasil em uma posição privilegiada no ranking mundial de países recicladores. Em relação ao PET, no ano de 2006, o índice de reciclagem brasileiro (51,3% da resina virgem utilizada) transformou o país no segundo maior reciclador mundial, sendo superado apenas pelo Japão (62%).

O cimento *Portland* utilizado como aglomerante para a produção de concreto de cimento *Portland*, combinado com os agregados e água de amassamento, é um produto de grande e reconhecida utilização em nível mundial.

Os materiais utilizados, normalmente, como agregados para concreto de cimento *Portland* são provenientes de fontes naturais não renováveis e, a exemplo do cimento *Portland*, possuem uma utilização mundial em volumes extremamente

elevados. Este consumo desenfreado, caso não seja contido, poderá provocar uma estagnação das fontes destes materiais, sendo importante então promover uma substituição destes por materiais provenientes de fontes alternativas.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A reciclagem dos resíduos no Brasil é uma realidade atual porém, ainda existe uma grande parcela de resíduos de PET pós-consumo que não possuem esta destinação e que são encaminhados para a deposição em aterros sanitários.

O desenvolvimento de novos materiais de construção a partir de resíduos de PET apresenta-se como uma opção para a obtenção de novas e desejáveis propriedades não encontradas em matriz convencional de cimento *Portland*/ agregados/água de amassamento.

Neste contexto, a utilização de resíduos de PET pós-consumo como substitutos dos agregados em concreto de cimento *Portland* pode ser uma alternativa extremamente viável para dar uma destinação mais nobre aos mesmos, possibilitando reduzir os impactos ambientais provocados pela deposição dos resíduos atualmente não utilizados, em aterros sanitários, como também daquele provocado pelo consumo de produtos provenientes de fontes naturais não renováveis. A utilização destes resíduos como componentes de novos materiais de construção, permitirá também agregar valor aos resíduos do processo produtivo da indústria da reciclagem de PET.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral obter concretos processados a partir de cimento *Portland* contendo resíduos de poli (*tereftalato* de etileno), provenientes de indústria de reciclagem, em substituição aos agregados usuais (areia e brita).

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral proposto foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- I. Caracterizar, do ponto de vista físico os materiais minerais utilizados como agregados convencionais em concretos de cimento *Portland*;
- II. Caracterizar, do ponto de vista físico e químico, os resíduos poliméricos de PET utilizados como substitutos dos agregados convencionais;
- III. Caracterizar os concretos obtidos, com a substituição de agregados minerais convencionais por resíduos poliméricos de PET, com relação às suas propriedades e características típicas.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Neste trabalho foram adotados alguns procedimentos e parâmetros específicos para delimitar e, sobretudo, para explorar as possibilidades de utilização de resíduos de PET em substituição aos agregados convencionais de concreto de cimento *Portland* os quais estão relacionados a:

- Resíduos de PET (três tipos provenientes de fontes diferentes);

- A quantidade de resíduos utilizados em substituição, mas na mesma proporção volumétrica, dos agregados (10%, 20%, 30% e 40%vol. para os resíduos provenientes de indústria de reciclagem de garrafas e fitas, e 1%, 2%, 3% e 4%vol. para os resíduos provenientes de indústria de reciclagem de embalagem de iogurte).
- As idades de ensaio (para o ensaio de compressão normal, três idades - 1, 3 e 7 dias, para os outros ensaios apenas uma idade);

Os materiais naturais utilizados como agregados com concretos de cimento *Portland* foram caracterizados de acordo com os procedimentos de uso corrente na indústria da construção civil.

Os resíduos poliméricos utilizados como substitutos dos agregados convencionais foram caracterizados dimensionalmente (média do fator de aspecto dos mesmos) e quimicamente por espectrofotometria de infravermelho.

Os traços de cimento *Portland* desenvolvidos neste trabalho foram submetidos a ensaios para a avaliação de: trabalhabilidade, absorção de água, resistência à compressão simples, densidade do material, no estado solto, e densidade aparente do material.

1.6 CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A Indústria da construção civil normalmente utiliza como agregados para concreto, produtos provenientes de fontes não renováveis. Por outro lado, existe uma grande quantidade de resíduos poliméricos que não são aproveitados em sua totalidade pela indústria da reciclagem atualmente, sendo seu destino final os aterros sanitários.

Dentro deste contexto, os resultados obtidos neste trabalho devem contribuir para que as áreas relacionadas à Construção Civil e a Gestão Ambiental vislumbrem uma nova possibilidade de destinação para resíduos poliméricos, fomentando assim a pesquisa e utilização de novos materiais de construção que contemplem a utilização destes resíduos.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação contempla cinco Capítulos organizados da seguinte forma:

No Capítulo 1, é apresentada uma breve contextualização, a justificativa do trabalho, o objetivo geral, os objetivos específicos, a delimitação do tema, a contribuição e a descrição da organização da dissertação.

No Capítulo 2, são abordados temas relevantes a este estudo, abrangendo a Reciclagem no Mundo e no Brasil, o PET aplicado à construção civil, e as características dos componentes do concreto de cimento *Portland*.

No Capítulo 3, é descrita a metodologia experimental utilizada na realização deste trabalho, onde são relacionados os materiais utilizados e os procedimentos de ensaios empregados para caracterizar os materiais, e para avaliar o comportamento mecânico de concretos de cimento *Portland* contendo resíduos poliméricos.

No Capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios descritos no Capítulo anterior.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões deste trabalho e também são apontadas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECICLAGEM DE PET NO MUNDO

O poli (*tereftalato* de etileno), PET foi sintetizado pela primeira vez na Inglaterra em 1941, pelos químicos Whinfield e Dickson. Ele é o principal polímero da classe dos poliésteres alifático-aromáticos e é largamente utilizado para fabricação de embalagens, em razão de suas propriedades: brilho, transparência, alta resistência mecânica (impacto), baixa permeabilidade a gases e odores. (CANELLAS, 2005; PEZZIN, 2007)

Na Figura 1 pode ser observado os percentuais de PET reciclado com relação ao consumo virgem no ano de 2006. Pode-se perceber, pela análise da figura, que a reciclagem de PET é uma realidade atual no Brasil, o que faz com que o país ocupe uma posição de destaque, em nível mundial, com um percentual de reciclagem de 51,3% da resina virgem utilizada, sendo superado apenas pelo Japão (que apresentou um índice de 62%).

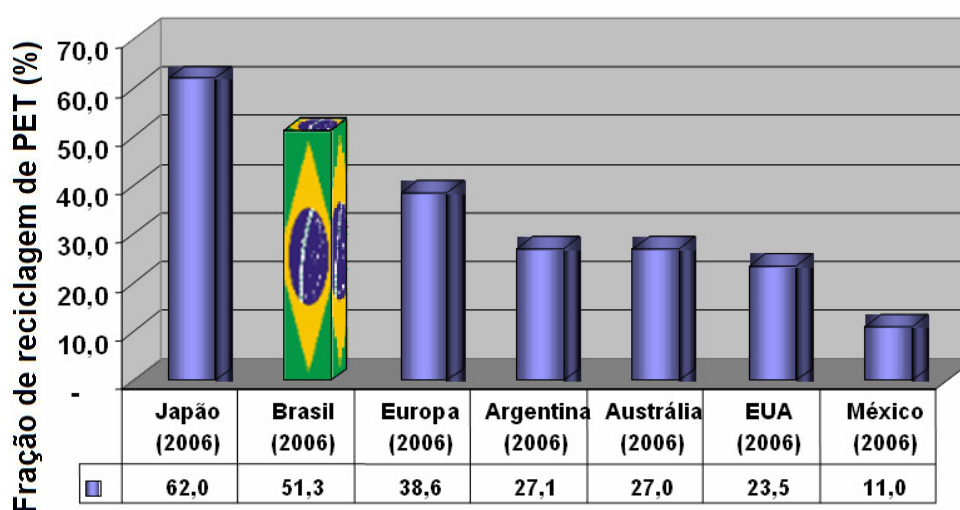


Figura 1 – Fração de reciclagem de PET (%) com relação ao consumo de alguns países e continente Europeu. (fonte: ABIPET, 2008)

Segundo a ABIPET (2008) o percentual de 51,3% de reciclagem de PET corresponde a uma quantidade total de 194 kton de PET. Se por um lado este elevado índice de reciclagem coloca o Brasil numa excelente posição no ranking dos recicladores de PET, por outro lado ele demonstra que existe uma grande parcela deste produto que não possui esta mesma destinação pós-consumo, sendo seu destino final a deposição em aterros.

Quando depositado em aterros o PET pode levar aproximadamente 400 anos para se degradar, reduzindo a capacidade física dos mesmos e provocando durante este tempo uma diminuição da capacidade de percolação de gases e líquidos, provocando um aumento no tempo necessário para estabilização da matéria orgânica. Segundo Pezzin (2007), o PET possui alta resistência a agentes biológicos e atmosféricos, e seus produtos de degradação são inócuos ao corpo humano. Canellas (2005) afirma ainda que: “As garrafas de PET são totalmente inertes. Isto significa que, mesmo indevidamente descartadas, não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos”.

A não reciclagem de embalagens de PET para a produção de novos produtos, com a conseqüente deposição destas embalagens em aterros, aparentemente não provoca um grande dano ambiental. Porém, deve-se levar em consideração o impacto provocado pela retirada da natureza de novas matérias-primas de uma fonte não renovável (petróleo) para possibilitar a reposição dos estoques. Também deve ter-se em conta o enorme potencial econômico desperdiçado com este ato, seja pelo desprezo de matéria-prima perfeitamente reutilizável, seja pelos encargos decorrentes da criação e manutenção de novos aterros.

2.2 RESÍDUOS DE PET APLICADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil está estudando os mais diversos tipos de resíduos de PET visando encontrar novas possibilidades de utilização dos mesmos como materiais de construção. Diversos estudos apontam favoravelmente para a viabilidade desta utilização nas mais diversificadas aplicações.

Soncim *et al* (2004) propõe a utilização de resíduo da reciclagem de garrafas PET na construção de reforço de subleitos de pavimentos rodoviários. Após correção granulométrica de solos não recomendados para tais obras e acréscimos de 30% em peso de areia de PET, a classificação dos solos estudados foi alterada para bom para a execução de subleitos rodoviários, de acordo com o HRB o qual é o instituto que regulamenta e classifica características de solos recomendados para obras rodoviárias.

Barth *et al* (2004) desenvolveram um sistema de fabricação de painéis modulares de parede auto portante que incorporam garrafas PET em seu interior. Estes painéis são formados por colunas verticais de garrafa PET cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidos nas duas faces com argamassa de cimento e areia. O mesmo sistema construtivo pode ser utilizado para a fabricação da cobertura, produzida em formato de painéis planos ou curvos. A adoção deste sistema apresenta como vantagem a melhoria do desempenho térmico e a redução de seu peso, conferindo, assim, maior espessura da parede e maior rigidez ao conjunto.

Coelho (2006) apresentou a proposta da utilização de um sistema de laje nervurada com a utilização de garrafas PET como material de enchimento. Lajes fabricadas com este sistema apresentam uma redução superior a 40% sobre o custo

de lajes fabricadas com materiais convencionais, reduzindo assim o custo final da unidade habitacional.

Ochi *et al* (2007) relataram o desenvolvimento de um método para a produção de fibras para reforço de concreto produzidas a partir de garrafas PET previamente utilizadas. As fibras produzidas por este método são facilmente manipuláveis e podem ser misturadas sem dificuldades no concreto em frações de até 3%. O PET não apresenta elevada resistência a álcalis, entretanto os autores não detectaram qualquer problema durante a utilização das fibras em concretos normais. Durante o teste de combustão das fibras de PET não foi gerado nenhum gás tóxico.

Nunes *et al* (2007), Lima (2007) e, Aguir *et al* (2008) desenvolveram um bloco de concreto de cimento *Portland* para vedação que contém em seu interior uma garrafa de PET pós-consumo vedada. A garrafa PET tem a função de preencher espaço, reduzindo assim o consumo de cimento e o peso do bloco, e melhorando o isolamento térmico e acústico do artefato. Esta Idéia teve um aprimoramento apresentado por Ferreira *et al* (2007) que consiste na total inserção de água no interior das garrafas adicionadas aos blocos. O artefato produzido com a adição deste monobloco (garrafa + água) apresentou uma resistência à compressão igual a 10,7 MPa, valor bastante superior ao do bloco de vedação comum (2,5 MPa).

Almeida *et al* (2004) estudaram a utilização de resíduo da reciclagem de garrafas conhecido como areia de PET como substituto de areia natural utilizada na dosagem de concretos convencionais. As proporções de substituições foram 0%, 25%, 50%, 75% e 100% vol. A trabalhabilidade é influenciada pela fração volumétrica de substituição de material, isto é, traços com maiores quantidades do resíduo resultam em menores abatimentos, apresentando valor zero para quantidades de substituição equivalentes a 100%. Os corpos-de-prova foram

ensaiados nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Para todas as idades de ensaio foi verificada perda de resistência à compressão à medida que se aumentava a quantidade de substituição. A resistência à compressão também foi avaliada para a idade de 150 dias, e não foi detectada qualquer perda de resistência. Com base nos resultados obtidos os pesquisadores recomendam uma quantidade de substituição equivalente a menos de 50%.

Choi *et al* (2004) verificaram os efeitos nas propriedades de concreto de cimento *Portland* provocados pela utilização de agregados leves para concreto confeccionados a partir de garrafas PET recicladas e com formato de grânulos “arredondados”. A resistência à compressão na idade de 28 dias, para traços com quantidade de substituição de agregados convencionais de 75% e fator água/cimento 0,45, sofreu uma redução de aproximadamente 33% em relação ao traço sem substituição (utilizado como padrão). A densidade do concreto com agregados leves variou entre 1940 e 2260 kg/cm³, reduzindo de acordo com o aumento do percentual de substituição. A trabalhabilidade do concreto com quantidade de substituição de agregados de 75% e fator água/cimento igual a 0,53 aumentou cerca de 123% em relação ao traço padrão.

Canellas (2005) estudou a possibilidade da utilização de PET reciclado como substitutos de agregados em argamassas. Flocos de PET eram obtidos através da fragmentação de garrafas PET, e foram utilizados como substitutos nas proporções de 10%, 30% e 50% (duas substituições para cada fração – uma em peso e outra em volume). A melhor possibilidade de utilização refere-se a quantidades de substituição de 30% já que não apresentou perdas significativas de plasticidade e resistências à compressão e à tração, ao contrário de quantidades maiores de substituições.

2.3 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Concreto é um material de larga aplicação na construção civil, obtido pela composição de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que também influenciam o seu desempenho. A proporção de seus componentes (dosagem ou traço) deve atender às condições requeridas de resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais do concreto. A resistência mecânica fornece, normalmente, uma indicação geral de sua qualidade por estar diretamente relacionada com a microestrutura da pasta de cimento endurecida. (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2006)

2.3.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um produto de uso consagrado na indústria da construção civil. Segundo ABCP (2002) ele é o material de construção de mais extenso uso no mundo.

Segundo BAUER (2005) o cimento *Portland* é obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidratados de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante. Depois de endurecido mesmo que seja novamente

submetido a ação da água, o cimento *Portland* não se decompõe mais. (ABCP, 2002).

Um tipo especial de cimento Portland é o que possui alta resistência inicial, e é classificado como CP V-ARI e que no Brasil deve ser fabricado de acordo com a Norma Técnica Brasileira NBR 5.733 (ABNT, 1991). Segundo a ABCP (2002) o desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências em menor tempo.

No gráfico da Figura 2 pode ser observada a diferença na resistência à compressão entre diversos tipos de cimento, em idades de 1, 3, 7, e 28 dias. A alta resistência inicial do cimento tipo CP V fica claramente evidenciada.

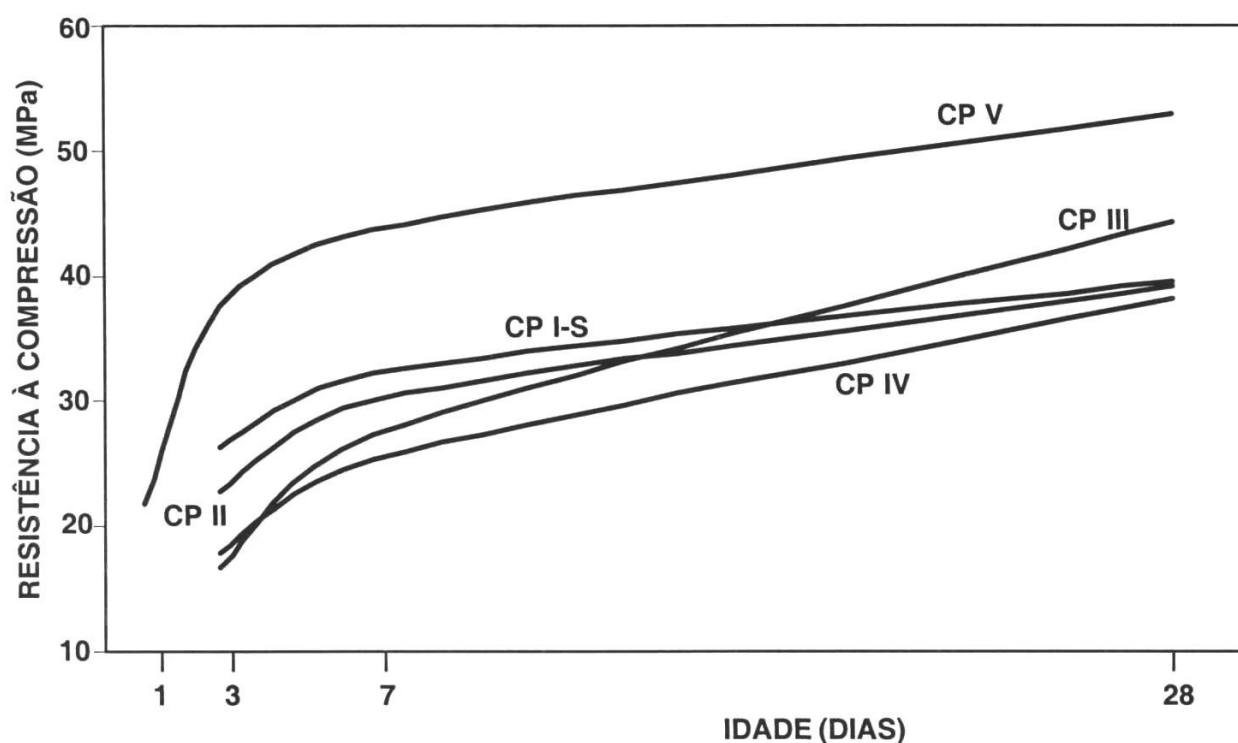


Figura 2 – Evolução média de resistência à compressão em função da idade de diferentes tipos de cimento Portland. (fonte: ABCP, 1996, apud ABCP, 2002)

2.3.2 Agregado

Agregado é a denominação genérica dada aos materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos. (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2006)

Este conceito é perfeitamente complementado por Bauer: “Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas, cobrindo extensas gamas de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: “filler”, pedra britada, bica-corrida, rachão, etc.” (BAUER, 2005).

Os agregados para concreto de cimento *Portland* normalmente são originários de fontes naturais não renováveis, e seu uso é extremamente elevado em todo o mundo. Leonhardt e Mönnig (1977) apresentam como viável a utilização de agregados artificiais tais como a argila expandida ou sinterizada e a ardósia expandida, para a produção de concreto de cimento *Portland*.

Atualmente a procura por uma fonte alternativa de agregados artificiais produzidos a partir de resíduos para substituição dos agregados naturais está em voga, pois vislumbra-se uma possível escassez futura dos mesmos caso nenhuma providência seja tomada a esse respeito. Diversos estudos estão sendo realizados visando substituir os agregados naturais por resíduos dos mais diversos materiais, dentre os quais podem ser destacados:

- Reuso de resíduos laminados de fibra de vidro na construção civil. (ZATTERA, CARVALHO E FREIRE, 2000).
- Uso de grãos de polipropileno reciclado em substituição aos agregados de concreto (COELHO, 2005);

- Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do mármore e do granito e estudo de propriedades mecânicas. (LISBOA, 2005);
- Uma contribuição ao estudo da adição de resíduos de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve (SIQUEIRA, 2006);
- Reciclagem secundária de rejeitos de porcelanas elétricas em estruturas de concreto: determinação do desempenho sob envelhecimento acelerado (PORTELLA *et al*, 2006);
- Utilização de resíduo de concreto como agregado miúdo para argamassas de concreto estruturais convencionais (SOUZA, 2007);
- Estudo de lajes com adição de resíduos de pneus (TRIGO, 2008);
- Utilização de agregado reciclado proveniente de rejeitos da construção civil em substituição ao agregado natural (NUNES e COSTA, 2008).

Os resíduos de PET também são alvos de estudos que buscam determinar a sua viabilização dentro da indústria da construção civil nos mais variados formatos, conforme visto no item 2.2. Entretanto, não é recente a preocupação com esta possibilidade de escassez de agregados naturais. O Professor José Dafico Alves, da Universidade Federal de Goiás, que vem alertando para que a possibilidade de uma futura falta de matéria-prima para esta finalidade, desde o início da década de 90: "Com a escassez dos agregados naturais nas regiões das grandes cidades, estão se desenvolvendo os chamados agregados artificiais, que serão fabricados, de preferência, de resíduos industriais. Estes agregados serão produzidos de modo a atender as propriedades específicas que se ajustam às necessidades das obras, conferindo maior resistência e trabalhabilidade ao concreto." (ALVES 1993).

2.3.3 Água de amassamento

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, ou seja, quando em contato com água ele sofre uma reação química (hidratação) que promove seu “endurecimento”. Nesse contexto, é definida “água de amassamento” como toda a água utilizada numa dosagem de concreto. A relação entre o peso da água e o peso do cimento numa dosagem de concreto é denominada fator água/cimento (a/c).

Quando se realiza uma dosagem de concreto deve-se ter o cuidado de utilizar um fator a/c que permita a promoção da hidratação do cimento sem “sobra” ou “falta” de água na mistura, permitindo que o concreto atinja sua resistência máxima. Caso a quantidade de água seja inferior à necessária não ocorrerá hidratação de todo o cimento, não permitindo que o concreto atinja sua resistência plena. Caso exista água em quantidade maior que a necessária, após ocorrida toda a hidratação do cimento esta água em excesso migrará para a superfície da massa do concreto, formando capilares em seu interior, responsáveis pela queda na resistência mecânica e pelo aumento da permeabilidade do concreto.

A água de amassamento deve ser isenta de impurezas, tais como matéria orgânica, resíduos sólidos, açúcares e íons cloreto sulfato. BALLARIN (2003).

A água potável fornecida através de rede de abastecimento público é considerada uma água adequada ao uso nas misturas de concreto, embora nem todas as águas consideradas de boa qualidade para o concreto sejam potáveis. ALVES (1993), BALLARIN (2003), DANTAS (2003), TÉCHNE (2003).

2.3.4 Aditivo para concreto de cimento Portland

As Normas Norte-Americanas (ASTM C 125) definem o aditivo como “Material outro que não água, agregado ou cimento, empregado como ingrediente do concreto ou da argamassa, adicionados a estes, antes ou durante a mistura”. (BAUER, 2005)

A Norma Técnica Brasileira - NBR 11768 (ABNT, 1992) apresenta a seguinte definição para aditivos: “Produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento *Portland* modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

A função dos aditivos para concreto de cimento *Portland* segundo RIBEIRO (2006) é: “melhorar o seu desempenho”. Por melhorar o desempenho de um concreto podemos entender como a obtenção, acentuação, ou mesmo a modificação de determinada propriedade que permita que o mesmo possa ser utilizado com maior eficiência.

Existe uma gama variada de produtos utilizados como aditivos de concreto de cimento *Portland* e que possuem as mais diversas funções, tais como: acelerador ou redutor de pega, redutor de evaporação, incorporador de ar, controlador de hidratação, expensor e, plastificante. A Norma Técnica Brasileira - NBR 11768 (ABNT, 1992) define aditivo plastificante (tipo P) como: “Produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência”.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS EMPREGADOS

O objetivo deste trabalho foi a verificação da possibilidade de aplicação de resíduos de material polimérico (PET) em matrizes de cimento *Portland*. Determinou-se que para atingir este objetivo os materiais utilizados deveriam ser produtos facilmente encontrados e comercializados na região, que estivessem de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras e que possuíssem utilização consolidada na execução de obras civis. Foram selecionados materiais de uso corrente em obras realizadas pelo autor deste trabalho, bem como em fábricas de artefatos pré-moldados de concreto da região, e suas características são apresentadas a seguir.

3.1.1 Aglomerante

Neste trabalho foi utilizado como material aglomerante o cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial (CP V - ARI), marca VOTORAN, fabricado de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira - NBR 5.733 (ABNT, 1991).

Foi utilizado para a confecção da matriz cimentícia necessária para efetuar todo o estudo desta dissertação, cimento comercializado em sacos de papel *kraft* de 50 kg cada. Todos os sacos utilizados eram provenientes da mesma partida de fabricação, ou seja, pertenciam ao mesmo lote, visando com isto eliminar problemas de variações que poderiam acarretar mudanças no comportamento dos concretos.

3.1.2 Agregados

Com base nas opções disponíveis no comércio local foram selecionados quatro tipos de materiais para serem utilizados como agregados neste trabalho. Esta escolha foi baseada no fato de que a combinação destes agregados permite a confecção de uma vasta e variada gama de produtos, incluindo peças pré-moldadas esbeltas tais como: blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, placas para revestimento, telhas, entre outros.

Para evitar possíveis contaminações dos agregados com substâncias desconhecidas foi adotado procedimento de acondicionar todos os materiais em sacos plásticos no momento de sua coleta. Os agregados foram desembalados apenas no momento de sua utilização.

Os agregados foram utilizados no estado de fornecimento, ou seja, não foi realizada nenhum tipo de alteração em suas características iniciais, tais como: lavagem prévia ou ajuste da granulometria através de peneiramento. Desta forma, foi possível trabalhar de acordo com a realidade das fábricas locais produtoras de artefatos pré-moldados de concreto.

Foram utilizados 4 tipos de agregados: “areia fina”, coletada no Rio Itajaí Açu, na cidade de Ilhota – SC; “areia média” coletada na cidade de Araquari – SC; “pedrisco” e “pó de pedra com pedrisco” fornecidos pela Pedreira Vale do Selke, Blumenau – SC. As fotografias da Figura 3 evidenciam as morfologias e os tamanhos das partículas dos agregados utilizados para a realização deste trabalho.

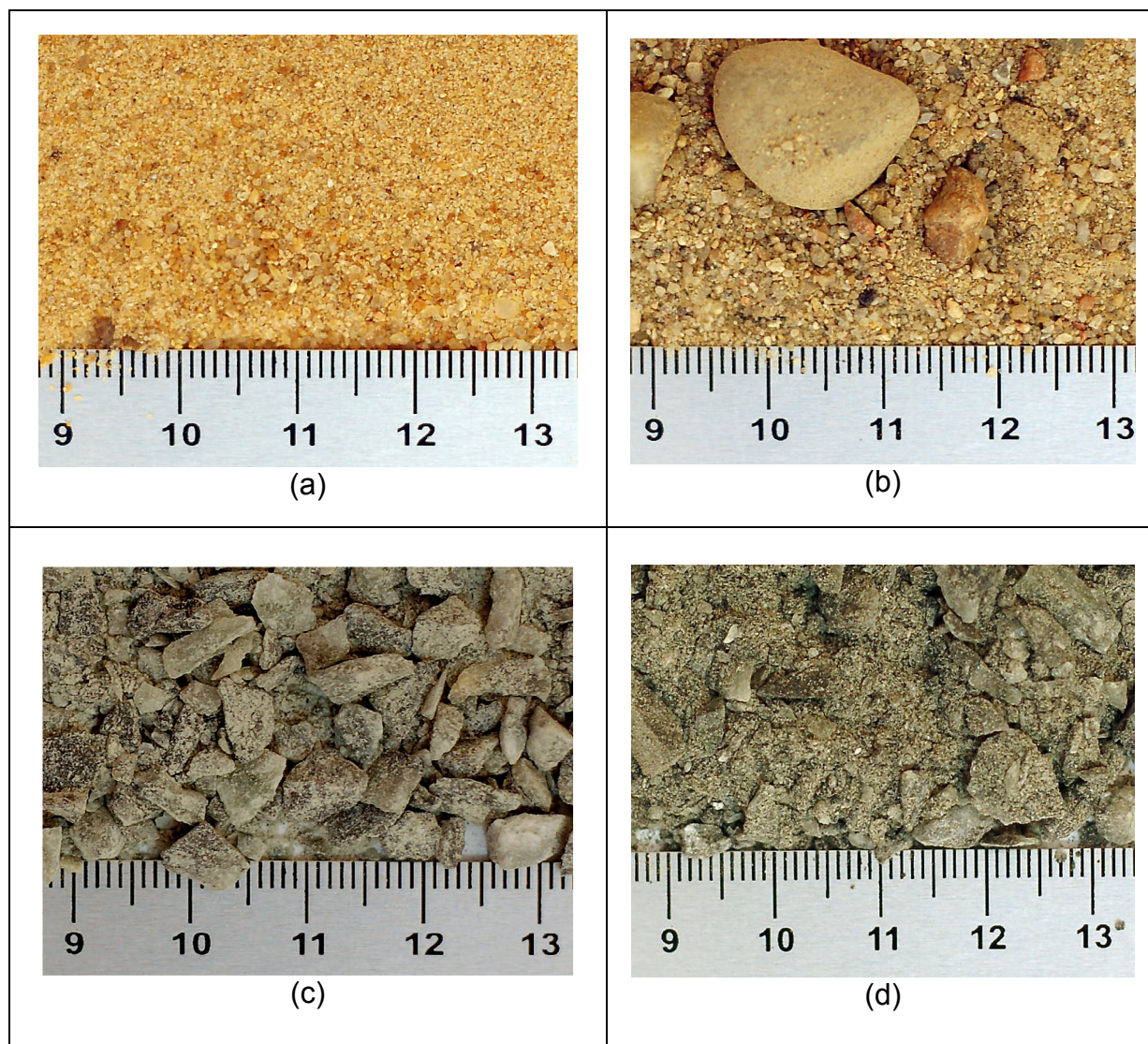


Figura 3 – Fotografias de amostras de agregados utilizados para a realização deste trabalho: (a) areia fina; (b) areia média; (c) pedrisco; (d) pó de pedra com pedrisco. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.

3.1.3 Água de amassamento

Os corpos-de-prova foram confeccionados na cidade de Blumenau – SC, sendo utilizada como água de amassamento, água potável fornecida por meio da rede de abastecimento de água da concessionária local, denominada “Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE”.

3.1.4 Aditivo plastificante

Foi utilizado o aditivo plastificante RHEOBUILT 1000, fabricado pela empresa BASF (*The Chemical Company*). Este produto é um aditivo líquido, pronto para o uso e é caracterizado pelo seu poder superplastificante de alto desempenho e que atende aos requisitos da Norma Técnica Brasileira - NBR 11768 (ABNT, 1992). Este produto foi fornecido em contentores de 30 kg.

3.1.5 Resíduos de Poli (*tereftalato* de etileno)

Foram utilizados três tipos de resíduos de poli(*tereftalato* de etileno) pós-consumo, todos provenientes de empresas de reciclagem:

- Poli (*tereftalato* de etileno) proveniente de embalagens pós-consumo de iogurte, com formatos de plaquetas com elevada razão de aspecto (fator de forma), e contaminado com impurezas (poliestireno e alumínio). Este produto é o descarte de uma empresa local, que recicla exclusivamente embalagens de iogurte, e daqui por diante será referenciado como “Filme de PET” ou “FI”.
- Poli (*tereftalato* de etileno) proveniente de embalagens pós-consumo de refrigerantes, com pequenas dimensões (material passante na peneira com malha 4,8 mm) e com presença de impurezas tais como: terra, areia, pedrisco, cola. Este produto é o descarte de uma empresa local de reciclagem de embalagens, e doravante será denominado simplesmente “Areia de PET” ou “AR”.
- Poli (*tereftalato* de etileno) proveniente de fitas para fixar mercadorias em *pallets*, com formato de lâminas. Este produto é proveniente de uma empresa local de

distribuição de mercadorias o qual foi denominado simplesmente “*Flake* de PET” ou “FL”.

Os resíduos Filme de PET e Areia de PET não passaram por nenhum tipo de alteração em seu formato original, ou seja, foram utilizados nas mesmas condições em que são descartados pelas empresas.

O resíduo *Flake* de PET foi alterado em seu formato por meio da fragmentação das fitas de PET num Triturador forrageiro, marca TRAPP, modelo TRF – 400. O triturador estava equipado com uma peneira com abertura de malhas de 5 mm, que permitia a passagem de resíduos com comprimentos variados.

O aspecto geral dos resíduos de PET utilizados neste trabalho é mostrado nas fotografias da Figura 4.

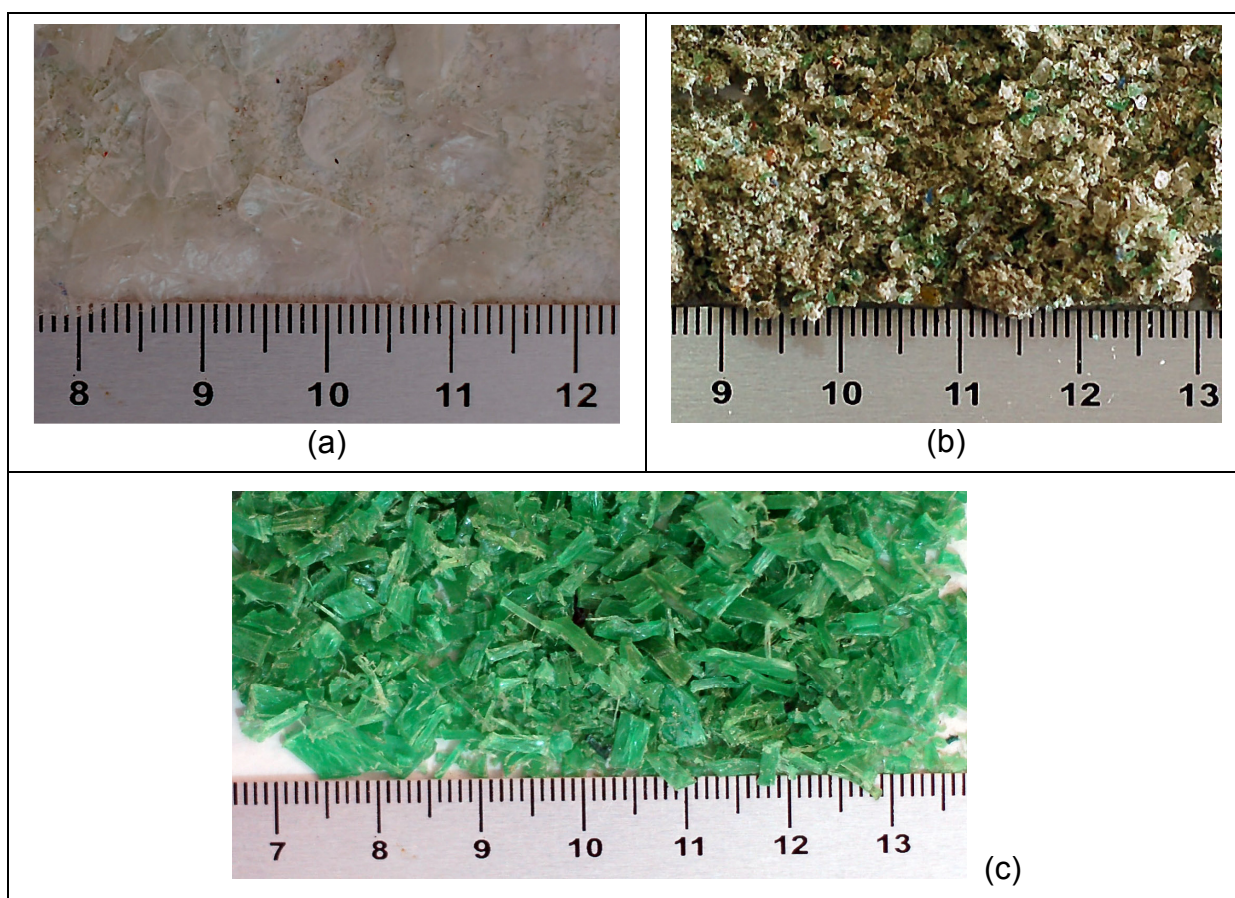


Figura 4 – Fotografias de amostras de resíduos de PET utilizados para a realização deste trabalho: (a) Filme de PET; (b) Areia de PET; (c) Flake de PET. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.

3.2 FORMULAÇÃO DOS TRAÇOS

Tomou-se como parâmetro inicial para a determinação do traço do concreto a dosagem utilizada por uma grande empresa local para a produção comercial de artefatos pré-moldados de concreto. Com base neste traço foi incorporado o aditivo plastificante, devido ao fato de se ter encontrado relatos na literatura, conforme descrito no item 2.2, sobre a ocorrência da perda da trabalhabilidade em concreto com substituições de agregados por resíduos de PET, optando-se então pela utilização de aditivo plastificante.

Para garantir que se atingisse o objetivo deste trabalho, que era a verificação da influência da substituição, em quantidades diferentes, dos agregados minerais convencionais por resíduos de material polimérico (PET), foi fixada uma mesma quantidade de aditivo plastificante para todas as frações de substituição, em todos os traços desenvolvidos neste trabalho. Isto foi necessário para garantir que apenas um parâmetro fosse variado, que neste caso é a fração de substituição de agregados por material polimérico, garantindo com isto a não variação da matriz cimentícia.

A fração volumétrica de adição de aditivo plastificante utilizado para a confecção de todos os corpos-de-prova utilizados neste trabalho foi de 1% (% em massa com relação à massa de cimento). Para facilitar a dispersão do aditivo plastificante na matriz cimentícia adotou-se o procedimento de misturá-lo à água de amassamento.

Outra alteração realizada foi a redução da quantidade de agregados em relação à massa do cimento (de 1:7 para 1:5). Isto foi necessário pelo fato dos artefatos serem produzidos com o auxílio de mesa vibratória e prensa, necessitando

então de um menor abatimento em relação ao adensamento manual com haste de socamento.

Com base nas mudanças acima descritas, foram realizadas dosagens experimentais, aumentando a relação água/cimento que inicialmente não resultava num abatimento considerado satisfatório, até que se obtivesse um abatimento próximo de zero quando utilizada maior fração de substituição de agregados por resíduos de *Flake* de PET (40%). O abatimento foi determinado segundo as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBRNM67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998).

Subsequentemente, verificou-se o abatimento para os demais resíduos. Constatou-se que os parâmetros de processo adotados resultaram em traços com comportamento geral satisfatório, para a mesma fração de substituição, para o resíduo Areia de PET. No entanto, o mesmo não ocorreu com o resíduo Filme de PET, que apenas apresentou resultados viáveis para frações de substituição de até 4%. Para valores acima deste percentual o ensaio de abatimento apresentou resultados insatisfatórios devido a ocorrência de colapso na amostra, conforme ilustrado na fotografia da Figura 5.



Figura 5 – Fotografia evidenciando o colapso de amostra com fração de substituição de agregados de 10% de resíduo Filme de PET, submetida ao ensaio de abatimento.

O traço de concreto utilizado como padrão apresenta a seguinte composição - 1:0,5:2,0:2,0:0,5:0,65:0,01 (cimento, pedrisco, pó de pedra, areia média, areia fina, água e aditivo plastificante, respectivamente), denominado PADRÃO. Com base neste traço foram desenvolvidos mais 12 traços, sendo que a diferença entre eles está relacionada à quantidade de resíduos utilizados em substituição, mas na mesma proporção volumétrica, dos agregados. Os traços com substituição são denominados: FI - 01 – substituição no traço padrão de 1% dos agregados pelo mesmo volume de Filme de PET; FI - 02 – substituição no traço padrão de 2% dos agregados pelo mesmo volume de Filme de PET; FI - 03 – substituição no traço padrão de 3% dos agregados pelo mesmo volume de Filme de PET; FI - 04 – substituição no traço padrão de 4% dos agregados pelo mesmo volume de Filme de PET, AR - 10 – substituição no traço padrão de 10% dos agregados pelo mesmo volume de Areia de PET; AR - 20 – substituição no traço padrão de 20% dos agregados pelo mesmo volume de Areia de PET; AR - 30 – substituição no traço

padrão de 30% dos agregados pelo mesmo volume de Areia de PET; AR - 40 – substituição no traço padrão de 40% dos agregados pelo mesmo volume de Areia de PET, FL - 10 – substituição no traço padrão de 10% dos agregados pelo mesmo volume de *Flake* de PET; FL - 20 – substituição no traço padrão de 20% dos agregados pelo mesmo volume de *Flake* de PET; FL - 30 – substituição no traço padrão de 30% dos agregados pelo mesmo volume de *Flake* de PET; FL - 40 – substituição no traço padrão de 40% dos agregados pelo mesmo volume de *Flake* PET.

Na Tabela 1 são mostradas as especificações de todos os traços utilizados para a realização deste trabalho.

Tabela 1 –Traços ensaiados (razão mássica de material com relação ao cimento (neste caso a unidade), material/cimento).

TRAÇO	CIMENTO (-)	PÓ DE PEDRA (-)	AREIA MÉDIA (-)	PEDRISCO (-)	AREIA FINA (-)	ÁGUA (-)	ADITIVO (-)	PET (-)
PADRÃO	1,000	2,000	2,000	0,500	0,500	0,800	0,010	0,000
FI - 01	1,000	1,980	1,980	0,495	0,495	0,800	0,010	0,026
FI - 02	1,000	1,960	1,960	0,490	0,490	0,800	0,010	0,052
FI - 03	1,000	1,940	1,940	0,485	0,485	0,800	0,010	0,079
FI - 04	1,000	1,920	1,920	0,480	0,480	0,800	0,010	0,105
AR - 10	1,000	1,800	1,800	0,450	0,450	0,800	0,010	0,262
AR - 20	1,000	1,600	1,600	0,400	0,400	0,800	0,010	0,524
AR - 30	1,000	1,400	1,400	0,350	0,350	0,800	0,010	0,786
AR - 40	1,000	1,200	1,200	0,300	0,300	0,800	0,010	1,048
FL - 10	1,000	1,800	1,800	0,450	0,450	0,800	0,010	0,262
FL - 20	1,000	1,600	1,600	0,400	0,400	0,800	0,010	0,524
FL - 30	1,000	1,400	1,400	0,350	0,350	0,800	0,010	0,786
FL - 40	1,000	1,200	1,200	0,300	0,300	0,800	0,010	1,048

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

3.3.1 Caracterização da composição granulométrica dos agregados

A caracterização da composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com Norma Técnica Brasileira NBRNM248 (ABNT, 2003).

3.3.2 Determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados

A determinação da massa específica (γ_r) e da massa específica aparente (γ_a) dos agregados foi realizada segundo as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBRNM52. (ABNT, 2003)

3.3.3 Espectrofotometria dos resíduos na região do infra-vermelho próximo

A caracterização estrutural dos resíduos foi realizada através do ensaio de espectrofotometria na região do infravermelho próximo, utilizando um aparelho PERKIN-ELMER, modelo 1420 *Ratio Recording Infrared Spectrophotometer*, que utiliza a técnica de infra-vermelho na região próxima (NIR, *Near-Infrared*). O equipamento está alocado no Laboratório de Análises Instrumentais, da Universidade da Região de Joinville, em Joinville - SC.

Tal procedimento foi adotado para que se obtivesse uma confirmação sobre os tipos de materiais recebidos dos fornecedores.

3.3.4 Determinação do fator de forma dos resíduos

Devido ao fato dos resíduos poliméricos tipo FL possuírem formato de lâminas e os resíduos tipo FI formato de filme, não foi possível caracteriza-los por meio de medidas granulométricas. Para caracterizá-los fisicamente realizou-se a determinação do fator de forma ou razão de aspecto dos mesmos (relação entre comprimento e largura), através da medição de uma amostragem de 100 peças de cada um dos resíduos. O valor das espessuras dos resíduos são conhecidos e constantes, não sendo, portanto, necessário realizar a medição das mesmas.

Os resíduos foram medidos utilizando um paquímetro digital marca WESTERN, com escala de medição entre 0 e 150 mm, resolução 0,01 mm, precisão $\pm 0,02$ mm (< 100 mm), $\pm 0,03$ mm (> 100 mm).

3.4 PREPARAÇÃO DOS TRAÇOS

Para cada um dos traços formulados para serem utilizados neste trabalho foi desenvolvida uma única dosagem. Todos os materiais eram previamente selecionados e pesados antes do início do amassamento, que foi realizado utilizando uma betoneira com capacidade para 120 litros, modelo Premium, da marca Menegotti.

Para facilitar a dispersão do aditivo plastificante na matriz cimentícia adotou-se o procedimento de misturá-lo à água de amassamento.

Os materiais foram colocados individualmente na betoneira que permaneceu em funcionamento durante todo o processo de amassamento. O intervalo de tempo entre o final da colocação de um material e o início da colocação do próximo foi de 10 segundos. A adição dos materiais foi realizada na seguinte ordem:

- água de amassamento e aditivo plastificante;
- aglomerante (cimento *Portland*);
- resíduo de poli(tereftalato de etileno);
- pedrisco;
- pó de pedra com pedrisco;
- areia média;
- areia fina.

O tempo total de amassamento (incluindo o tempo para adicionar os componentes e o tempo de mistura) foi de 4,5 minutos.

3.5 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA

A moldagem e cura dos corpos-de-prova utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas de acordo com as orientações da Norma Técnica Brasileira NBR 5.738 (ABNT, 2003).

3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS

3.6.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Devido ao fato de se encontrar na literatura relato de perda de abatimento em concretos com adição de resíduos de PET, realizou-se para cada um dos traços utilizados neste trabalho um ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O procedimento foi realizado em conformidade com as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBRNM67 (ABNT, 1998). Foi

realizada uma comparação entre os resultados obtidos nos testes de abatimento realizados para todos os traços ensaiados.

3.6.2 Determinação da densidade real dos traços ensaiados

As densidades reais dos traços ensaiados foram calculadas de acordo com as frações dos materiais constituintes de cada um dos traços. Todos os traços ensaiados neste trabalho foram formulados em função das massas dos materiais. As densidades reais de cada um dos materiais também eram conhecidas. Para calcular a densidade real de cada um dos traços foi adotado um procedimento dividido em duas etapas preliminares:

- Determinação do somatório das massas dos componentes do traço, tendo como parâmetro a massa unitária de cimento;
- Determinação do somatório dos volumes dos componentes do traço, calculados dividindo a massa de cada um dos materiais pela respectiva densidade real.

Após determinado o valor dos dois somatórios basta dividir o somatório das massas pelo somatório dos volumes para determinar a densidade real do traço em questão.

3.6.3 Determinação da densidade aparente dos traços ensaiados

O ensaio de determinação da densidade aparente consistiu em pesar todos os corpos-de-prova cilíndricos utilizados para a realização do ensaio de resistência à compressão axial no momento da desforma (24 horas após a moldagem), registrar os valores encontrados, e finalmente comparar os resultados.

3.6.4 Determinação da densidade no estado solto dos traços ensaiados

Durante o amassamento ocorre uma redução no valor da densidade do concreto, provocada pela incorporação de ar devido ao efeito de “tombamento” do material. A determinação da densidade no estado solto é um fator importante para possibilitar a programação da dosagem máxima a ser utilizada numa betoneira. Caso esta variação não seja considerada poderá ocorrer “transbordamento” do material no momento do amassamento.

Para se determinar a densidade no estado solto dos traços ensaiados, adotou-se o procedimento idêntico ao utilizado para a determinação da massa unitária de agregados no estado solto, preconizados na Norma Técnica Brasileira NBR 7251 (ABNT, 1998). O ensaio de determinação da densidade no estado solto consistiu em pesar um volume conhecido de concreto no momento em que era retirado da betoneira, calcular a densidade aparente no estado solto, registrar os valores encontrados, e finalmente comparar os resultados entre si.

Para cada um dos traços ensaiados neste trabalho foi realizado apenas um ensaio de determinação da densidade no estado solto.

Foi realizada uma comparação entre os valores encontrados para as densidades no estado solto com os valores de densidades reais e, também com os valores encontrados nos ensaios de determinação das densidades aparentes, para todos os traços ensaiados.

3.6.5 Determinação da porosidade dos traços ensaiados

A partir do momento em que se conhece os valores da densidade real (que neste trabalho foi obtida de maneira teórica, conforme descrito no item 3.6.2) e da densidade aparente (obtida conforme descrito no item 3.6.3), é possível calcular a porosidade do material por meio da equação (1):

$$P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde:

P – porosidade (%);

ρ_a - densidade aparente do material (kg/m^3);

ρ_r – densidade real do material (kg/m^3).

Foi realizado o cálculo do índice da porosidade e realizado uma comparação entre os valores obtidos para todos os traços ensaiados neste trabalho.

3.6.6 Absorção de água

A determinação do índice de absorção de água dos traços obtidos foi realizada de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira NBR 6.124 (ABNT, 1980). Para cada um dos traços obtidos foram confeccionados 5 corpos-de-prova, com dimensões de 10 cm x 10 cm (diâmetro x altura).

3.6.7 Análise microestrutural

As amostras de concreto reforçado com polímero PET foram fraturadas e analisadas em dois planos: no plano de fratura (longitudinalmente) e no plano de

cut (transversalmente). The analyses were performed in an Olympus SZ – CTV stereoscope with reflected light and a 6.3x magnification, and the photos were obtained with a Panasonic GP-KR222 camera attached to the stereoscope. Each division (smallest division) of the scale represented in the photos is equivalent to 1 mm. The analysis was performed in the Research Core in Ceramics and Glasses (CERMAT/UFSC), in the city of Florianópolis – SC.

3.6.8 Axial compression resistance

The evaluation of the axial compression resistance was performed according to the procedures of the Brazilian Technical Norm NBR 5.739 (ABNT, 2007).

For each of the specimens developed in this work, 15 specimens were tested, with 5 specimens at 1 day, 5 specimens at 3 days and 5 specimens at 7 days. The specimens had dimensions of 10 cm x 20 cm (diameter x height).

The equipment used for the execution of this test was a hydraulic press for axial compression, brand EMIC, model PCE 100C, which has a nominal capacity of 1000 kN and hydraulic actuation through an electric pump. The equipment was located at the company TESTESOLO – Laboratory of Solo, Concrete and Asphalt, in the city of Blumenau – SC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

4.1.1 Caracterização granulométrica, massa específica e massa específica aparente dos agregados

Os valores encontrados para os parâmetros de caracterização dos agregados são apresentados na (Tabela 2). De acordo com os valores encontrados é possível afirmar que os agregados são comercializados estão de acordo com a classificação da norma. Os valores encontrados para a massa específica aparente dos agregados permitem a sua classificação como normais ($1 < \gamma_a < 2$).

Tabela 2 – Distribuição granulométrica e massa específica dos agregados.

Agregado		Areia fina		Areia média		Pó com pedrisco		Pedrisco	
Estudo		%Ret	%Acu	%Ret	%Acu	%Ret	%Acu	%Ret	%Acu
Abertura das peneiras (mm)	6,3	-	-	0,56	0,56	-	-	-	-
	4,8	-	-	0,79	1,35	1,26	1,26	7,56	7,56
	2,4	-	-	4,08	5,43	28,53	29,79	77,92	85,48
	1,2	0,57	0,57	11,47	16,90	24,63	54,42	8,97	94,45
	0,6	10,64	11,21	30,23	47,13	16,86	71,28	2,15	96,60
	0,3	22,29	33,50	27,22	74,35	7,83	79,11	0,77	97,37
	0,15	51,06	84,56	12,76	87,11	6,67	85,78	0,67	98,04
	Fundo	15,44	100,00	12,89	100,00	14,22	100,00	1,96	100,00
Módulo finura		1,29		2,62		3,22		4,80	
Dim. Máx. caract. (mm)		1,2		4,8		4,8		6,3	
γ_r (g/cm ³)		2,63		2,60		2,66		2,68	
γ_a (g/cm ³)		1,42		1,43		1,496		1,286	

%Ret – Porcentagem de material retido na peneira;

%Acu – Porcentagem de material retido acumulado até a peneira;

Dim. Máx. Caract. – Dimensão máxima característica (mm).

A Figura 6 mostra as curvas de distribuição granulométrica dos agregados. com base nas porcentagens retidas em cada uma das peneiras utilizadas no ensaio.

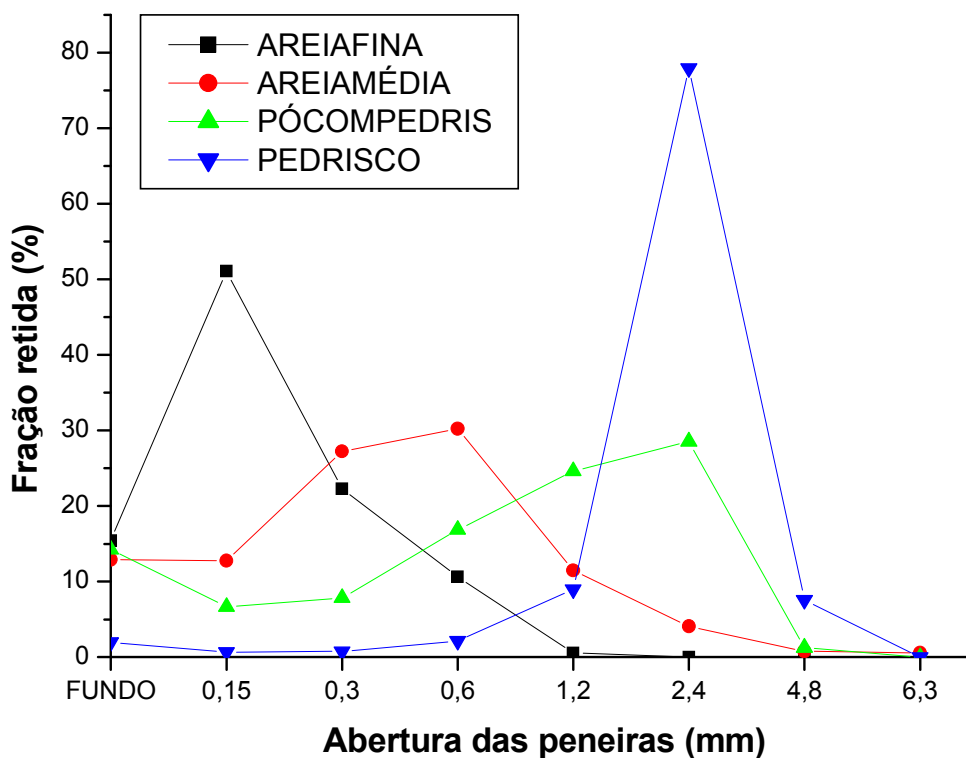


Figura 6 – Curvas de distribuição granulométrica dos agregados.

A partir da análise das curvas de distribuição granulométrica dos agregados, é possível perceber que a uma maior dimensão de um dado agregado está sempre associado agregados de menor dimensão tal que os interstícios originados pelas partículas maiores são ocupados pelas partículas menores, o que resulta em concretos mais densos e resistentes mecanicamente. De fato, exceto pelo agregado denominado pedrisco que apresenta maiores dimensões e também uma maior fração retida, todos os outros agregados apresentam menor tamanho de partículas

e, em particular, como o próprio nome sugere, a areia fina. Tais distribuições de tamanhos de partículas de agregados são típicas de materiais empregados na construção civil.

4.1.2 Espectrofotometria dos resíduos na região do infra-vermelho próximo (resíduos AR, FL e FI)

Os resultados obtidos por meio do ensaio de espectrofotometria na região do infra-vermelho próximo realizado nos resíduos poliméricos utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 7 para os resíduos tipo AR, na Figura 8 para os resíduos tipo FL e na Figura 9 para os resíduos tipo FI. O ANEXO A apresenta um espectro Padrão de um filme de PET constante no manual de Padrões fornecido pelo fabricante do equipamento de ensaio. Este espectro foi utilizado para comparação com os resultados obtidos neste ensaio.

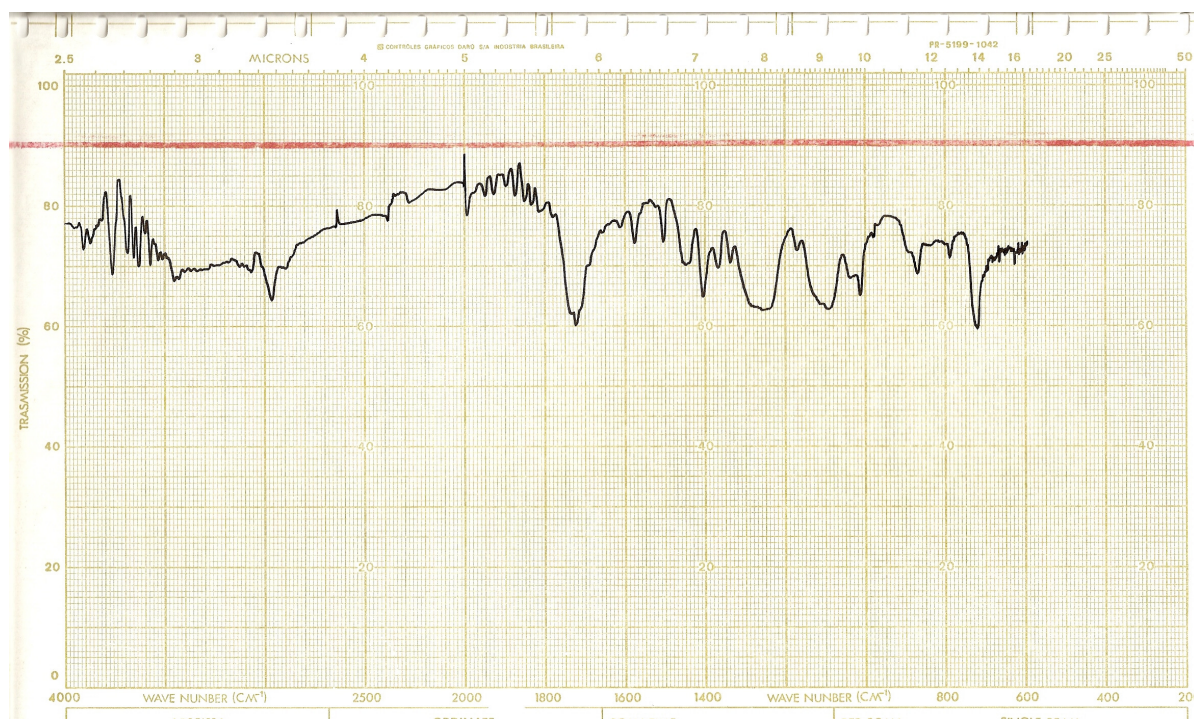


Figura 7 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Areia de PET.

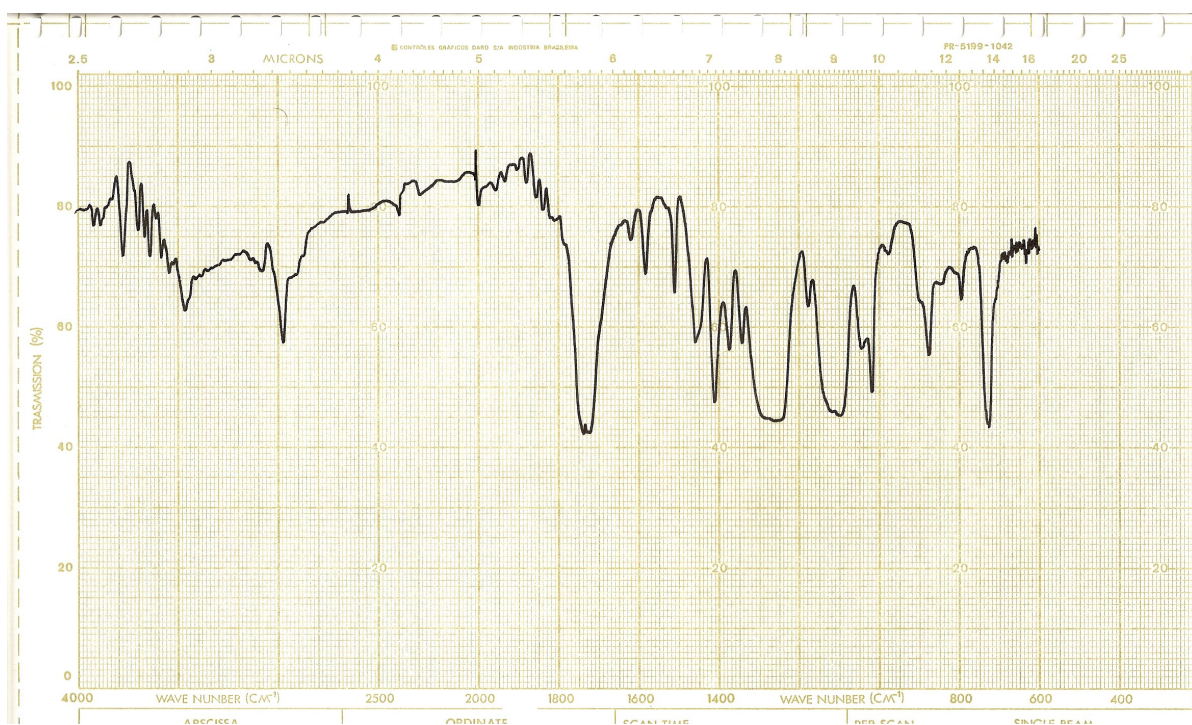


Figura 8 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Flake de PET.

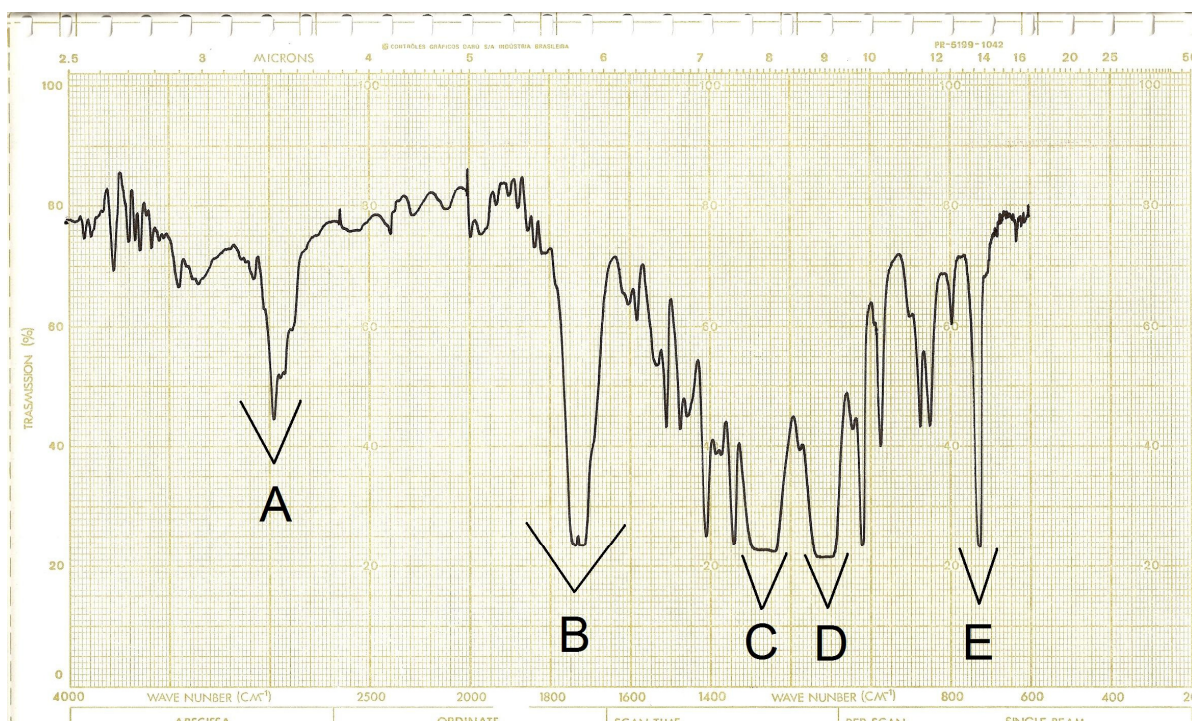


Figura 9 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra tipo Filme de PET com indicação dos picos característicos de funções orgânicas deste tipo de material.

Os picos apresentados entre 3950 cm^{-1} e 3500 cm^{-1} , e os picos apresentados entre 2000 cm^{-1} e 1800 cm^{-1} , são ruídos do equipamento (provocados por defeito no mesmo) e devem ser desconsiderados para efeito de análise dos espectros obtidos.

As funções orgânicas relativas aos picos A, B, C, D e E, obtidas segundo as orientações encontradas em SILVERSTEIN (1994) são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Funções orgânicas referentes aos picos A, B, C, D e E (resíduos AR, FL e FI).

PICO	FUNÇÃO ORGÂNICA
A	Deformação axial simétrica e assimétrica de metileno, 2960 a 2980 cm^{-1}
B	Deformação axial de $\text{--- C} \equiv \text{O}$, 1730 cm^{-1}
C	Deformação axial assimétrica de $\text{C} \text{---} \text{O} \text{---} \text{C}$, 1245 cm^{-1}
D	Deformação axial simétrica de $\text{C} \text{---} \text{O} \text{---} \text{C}$, 1030 cm^{-1}
E	Deformação angular fora do plano de $\text{--- C} \equiv \text{C} \text{---}$ do anel, 720 cm^{-1}

Pela interpretação dos espectros obtidos, com relação às funções orgânicas encontradas, pode-se concluir que os resíduos do tipo Areia de PET (AR), *Flake* de PET (FL) e Filme de PET (FI) são constituídos de material polimérico do tipo poli(*tereftalato* de etileno).

Os espectros obtidos nos ensaios de espectrofotometria de infravermelho próximo para os resíduos tipo AR, FL e FI quando comparados com o espectro infravermelho próximo constante no manual de Padrões fornecido pelo fabricante do equipamento de ensaio e apresentado no (ANEXO A), permitem concluir que as amostras são constituídas de material polimérico do tipo poli(*tereftalato* de etileno). O critério utilizado nesta comparação foi a análise visual para a verificação da coincidência dos picos das funções orgânicas características presentes no espectro

obtido nos ensaios com os picos característicos das funções orgânicas constantes no espectro padrão, num mesmo intervalo de número de ondas.

Os resultados obtidos através do ensaio de espectrofotometria na região do infra-vermelho próximo realizado no contaminante dos resíduos poliméricos tipo Filme de PET (FI) utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 10. O ANEXO B apresenta um espectro Padrão de um filme de PS constante no manual de Padrões fornecido pelo fabricante do equipamento de ensaio. Este espectro foi utilizado para comparação com o resultado obtido neste ensaio.

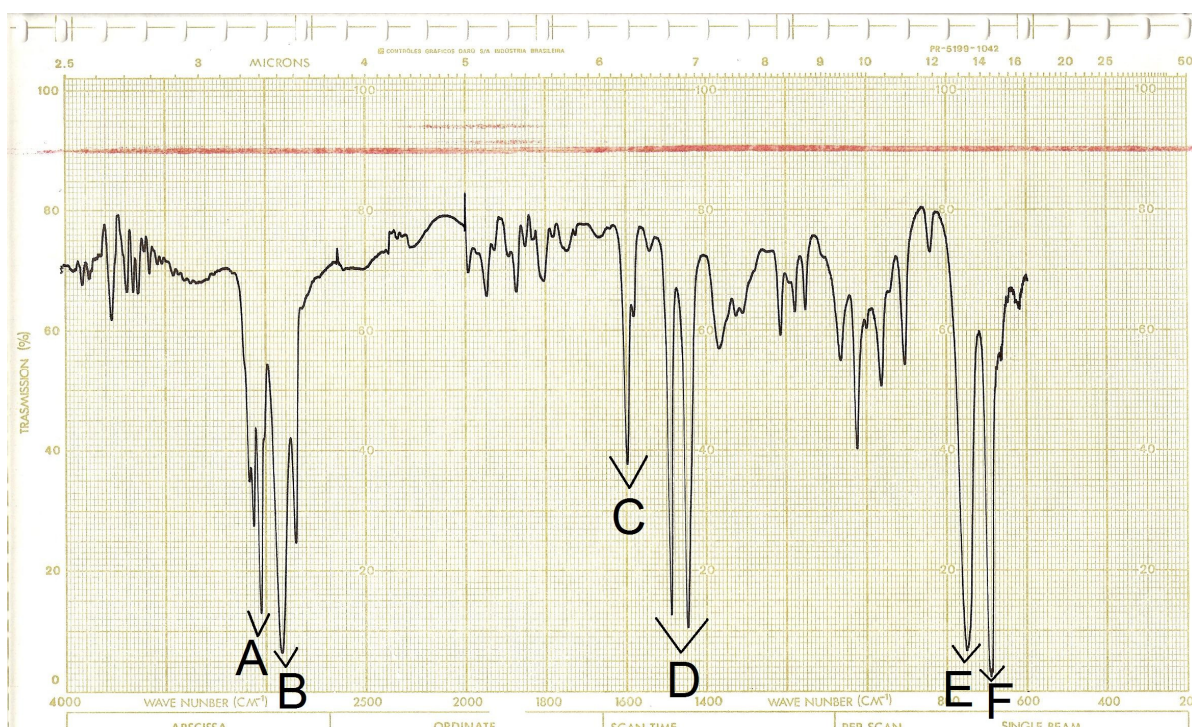


Figura 10 – Espectro infravermelho próximo de um filme de uma amostra do material contaminante do resíduo tipo Filme de PET com indicação dos picos característicos de funções orgânicas deste tipo de material.

Os picos apresentados entre 3950 cm^{-1} e 3500 cm^{-1} e os picos apresentados entre 2000 cm^{-1} e 1800 cm^{-1} , são ruídos do equipamento (provocados por defeito no mesmo) e devem ser desconsiderados para efeito de análise dos espectros obtidos.

As funções orgânicas relativas aos picos A, B, C, D, E e F, obtidas conforme orientações encontradas em SILVERSTEIN (1994) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Funções orgânicas referentes aos picos A, B, C, D, E e F.

PICO	FUNÇÃO ORGÂNICA
A	Deformação axial de C --- H aromático, 3010 cm ⁻¹
B	Deformação axial de C --- H de metila, 2940 cm ⁻¹
C	Deformação axial das ligações C === C do anel, 1600 cm ⁻¹
D	Sobreposição das Bandas de --- C --- K alifático, 1450 cm ⁻¹ , 1465 cm ⁻¹ de --- C === C de anel aromático, 1475 cm ⁻¹
E	Deformação angular fora do plano de C --- H, 745 cm ⁻¹
F	Deformação angular fora do plano de C === C do anel, 685 cm ⁻¹

Pela interpretação dos espectros obtidos, com relação às funções orgânicas, pode-se concluir que o contaminante do resíduo do tipo Filme de PET (FI) é constituído de material polimérico do tipo poli(estireno).

O resultado do ensaio de espectrofotometria de infravermelho próximo para o contaminante dos resíduos tipo FI quando comparado com o espectro infravermelho próximo constante no manual de Padrões fornecido pelo fabricante do equipamento de ensaio e apresentado no (ANEXO B), permite concluir que o contaminante é constituído de material polimérico do tipo poli(estireno). O critério utilizado nesta comparação foi a análise visual para a verificação da coincidência dos picos das funções orgânicas características presentes no espectro obtido nos ensaios com os picos característicos das funções orgânicas constantes no espectro padrão, num mesmo intervalo de número de ondas.

4.1.3 Determinação do fator de forma dos resíduos

Os valores específicos medidos durante a realização do ensaio de determinação do fator de forma ou razão de aspecto dos resíduos do tipo Flake de PET e do tipo Filme de PET são apresentados no ANEXO C deste trabalho. Na Figura 11 são apresentados, resumidamente, os resultados das medidas.

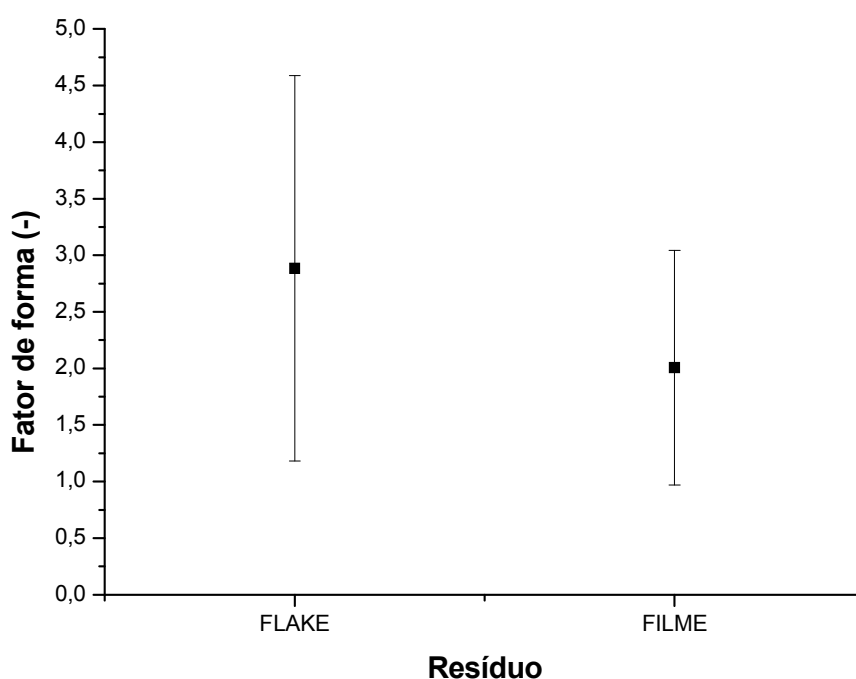


Figura 11 – Fator de forma dos resíduos Flake e Filme de PET.

A partir da análise da Figura 11 pode-se perceber que a razão de aspecto ou fator de forma média do resíduo do tipo *Flake* de PET (2,88) é superior ao fator de forma médio do resíduo do tipo Filme de PET (2,01). Por outro lado, pode-se observar que a amplitude da medida referente ao resíduo do tipo *Flake* de PET (11,56) é mais que o dobro da amplitude da medida referente ao resíduo do tipo Filme de PET (5,09). Observa-se ainda que estes valores influenciaram diretamente os desvios padrões, respectivamente 1,70 para o resíduo do resíduo do tipo *Flake*

de PET e 1,04 para os resíduos do tipo Filme de PET. Na realidade a dispersão associada às medidas está relacionada à maneira como os resíduos foram processados, isto é, moagem em moinho de facas. Este tipo de moagem acarreta, naturalmente em “fibras” com comprimentos variados.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS

4.2.1 Propriedades físicas

4.2.1.1 Abatimento

Os valores encontrados no ensaio de abatimento realizados para todos os traços utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 12. Como pode ser observado pela análise das curvas da Figura 12, os valores de abatimento encontrados apresentam, em geral, uma tendência de redução para traços com substituição de resíduos. Isto está de acordo com a literatura já que foram encontradas indicações de perda de abatimento quando da utilização destes tipos de polímero (PET) como agregados de concreto de cimento *Portland*.

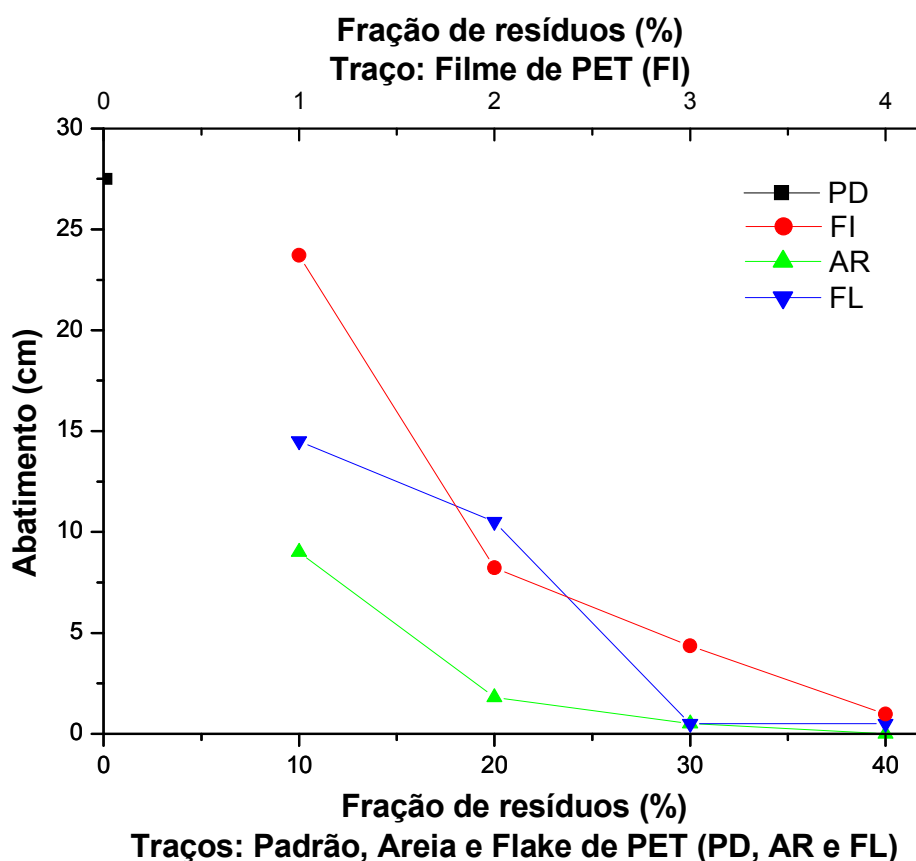


Figura 12 – Abatimento em função da quantidade de resíduos dos traços ensaiados.

Com relação aos resíduos do tipo AR e FL, para frações de 10% e 20% de substituição de agregados ocorreu maior perda de abatimento para os resíduos tipo AR. Para 30% de substituição de agregados os valores de abatimento, para AR e FL, foram iguais (0,5 cm) e, para 40% de substituição de agregados os valores encontrados para o abatimento apresentaram uma pequena variação (0,0 cm para o resíduo tipo AR e 0,5 cm para o resíduo tipo FL).

Os traços com resíduo tipo Filme de PET apresentaram a mesma tendência de redução de abatimento indicada na literatura. Entretanto, a perda de abatimento foi verificada numa proporção muito superior àquelas encontradas para os outros resíduos. Para uma fração de substituição de 4% para os resíduos do tipo FI, foi

encontrado um abatimento semelhante aos abatimentos para os traços com fração volumétrica de substituição de 40% dos outros resíduos.

4.2.1.2 Densidades reais, aparentes e no estado solto

Os valores encontrados para as densidades reais, aparentes e no estado solto dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Areia de PET são mostrados na Figura 13.

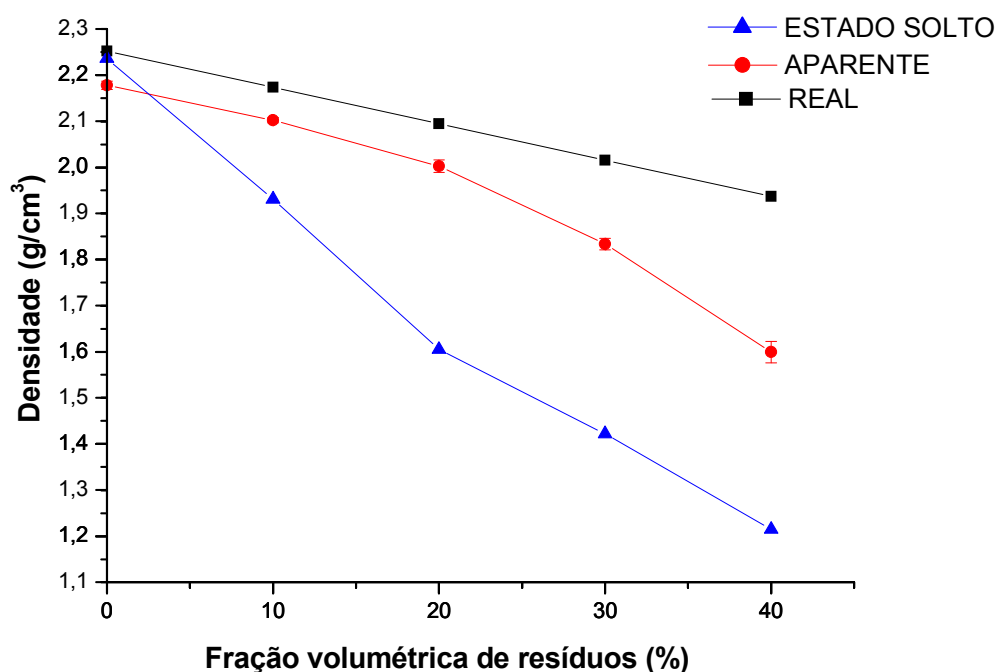


Figura 13 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo do tipo Areia de PET.

Os valores encontrados para as densidades reais, aparentes e no estado solto dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Filme de PET são mostrados na Figura 14.

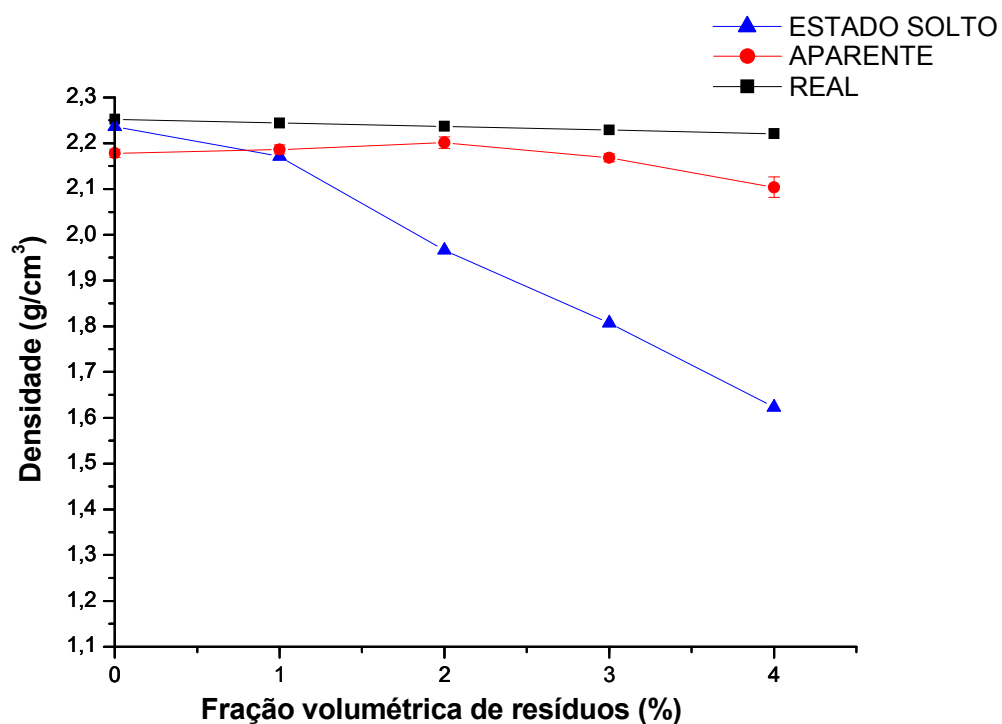


Figura 14 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo tipo Filme de PET.

Os valores encontrados para as densidades reais, aparentes e no estado solto dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Flake de PET são mostrados na Figura 15.

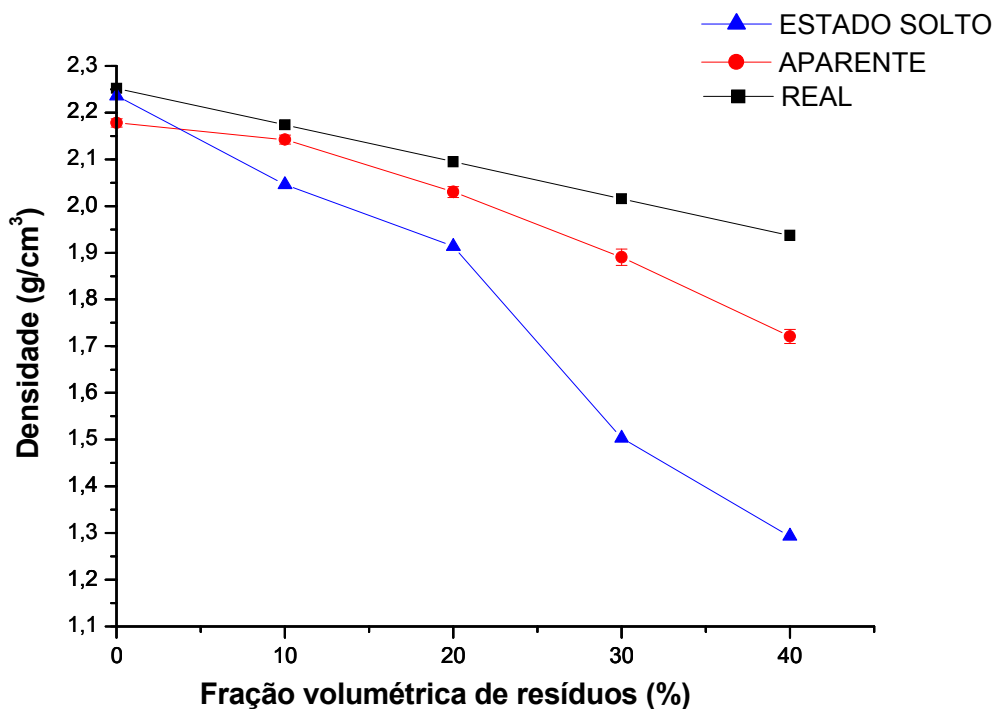


Figura 15 – Densidades reais, aparentes e no estado solto, dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduo do tipo Flake de PET.

Para todos os traços com adição de resíduos ocorreu uma tendência de redução no valor densidade no estado solto, que estão parcialmente de acordo com a tendência apresentada para os valores de densidade real. A variação verificada foi em relação ao coeficiente angular da reta, maior para os valores de densidade aparente, uma vez que traços com maiores quantidades de substituição apresentaram valores proporcionalmente menores de densidade no estado solto. Isto ocorre, provavelmente, devido ao fato dos traços com maiores quantidades de substituição de agregados por resíduos apresentarem maiores perdas de trabalhabilidade, o que possibilitaria a ocorrência de maior incorporação de ar durante o amassamento.

O traço PADRÃO apresentou um valor de densidade no estado solto bastante próximo da densidade real do material. Esta pequena diferença pode estar

associada ao fato do traço apresentar um abatimento extremamente elevado (27,5 cm) possibilitando um amassamento com pequena incorporação de ar.

Os valores de densidade aparente dos traços com resíduos do tipo AR e FL seguiram uma tendência intermediária entre àquelas apresentadas pelos valores de densidade real e no estado solto. Os traços com resíduos do tipo FI e para percentuais de substituições diferentes de 1%, apresentaram a mesma tendência verificada nos traços com os outros resíduos, porém o traço FI – 01 apresentou um valor de densidade aparente menor que o valor encontrado para o traço FI – 02. Esta redução atípica no valor de densidade aparente para este traço pode estar relacionada com o elevado valor fator água/cimento dos traços ensaiados, e da pequena concentração de resíduos, fatores que podem ter provocado uma maior perda da água de constituição na idade inicial deste traço, em relação aos traços com maiores percentuais de substituição.

O valor de densidade aparente encontrado para o traço PADRÃO foi menor que o da densidade no estado solto, e a exemplo do traço FI – 01, isto também pode estar relacionado com o elevado valor do fator água/cimento e com o elevado valor do abatimento encontrado, fatores que podem ter levado a uma eventual segregação e uma rápida perda de água de constituição na idade inicial destes concretos confeccionados com estes traços.

4.2.1.3 Porosidade

Os valores da densidade real, das densidades médias aparentes, e das porosidades médias dos traços ensaiados neste trabalho são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Densidades reais, aparentes médias e porosidade média dos traços ensaiados.

TRAÇO	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	POROSIDADE (%)
PADRÃO	2,18	2,25	3,30
FI - 01	2,19	2,24	2,60
FI - 02	2,20	2,24	1,59
FI - 03	2,17	2,23	2,72
FI - 04	2,10	2,22	5,27
AR - 10	2,10	2,17	3,28
AR - 20	2,00	2,10	4,40
AR - 30	1,83	2,02	9,05
AR - 40	1,60	1,94	17,44
FL - 10	2,14	2,17	1,43
FL - 20	2,03	2,10	3,08
FL - 30	1,89	2,02	6,23
FL - 40	1,72	1,94	11,17

Na Figura 16 são apresentados os valores de porosidade dos traços ensaiados em função da fração volumétrica dos resíduos.

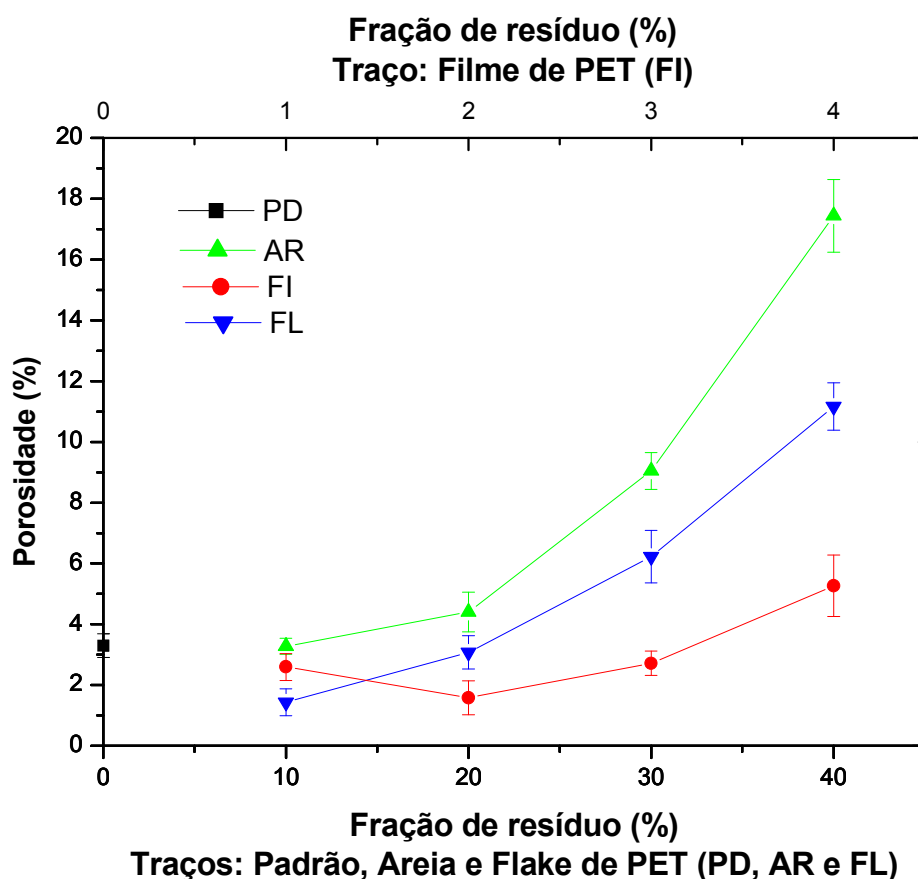


Figura 16 – Porosidade dos traços ensaiados em função da fração volumétrica de substituição.

Para todos os traços, conforme mostra a Figura 16, com adição de resíduos ocorre, de maneira geral, um aumento da porosidade a medida que a quantidade ou a fração volumétrica de resíduos aumenta. Esta tendência também, e de maneira geral, pode ser observada a medida que se passa do resíduo de FI para FL e para AR que apresenta a maior porosidade para uma mesma fração volumétrica de resíduos. Isto pode estar relacionado com o fato dos traços apresentarem valores menores de abatimentos para maiores percentuais de substituições, o que poderia estar provocando um aumento proporcional de incorporação de ar nos mesmos.

O traço FI – 01 apresentou um valor “atípico” para o índice de porosidade, menor que o traço FI – 02, que continha maior fração volumétrica de substituição. O

traço PADRÃO apresentou um índice de porosidade superior aos traços AR – 10, FI – 01, FI – 02, FI -03, FL – 10, FL – 20. Isto pode estar relacionado com o alto fator água/cimento e com o alto abatimento encontrado para os traços FI – 01 e PADRÃO, fatores que podem provocar uma eventual segregação e uma rápida perda de água de constituição na idade inicial destes concretos confeccionados com estes traços, provocando a geração de capilares em quantidade superior à gerada nos outros traços.

Na realidade o aumento de porosidade está relacionado, sobre tudo, com a área de superfície específica dos resíduos, que é tanto maior quanto mais irregular ele é como é o caso do resíduo de AR. De fato, aumentando-se a área de superfície dos agregados, maior deverá ser a quantidade de água adsorvida e portanto absorvida no processo de cura do concreto. Esta é a razão pela qual o resíduo tipo filme de PET não pode ser adicionado nas mesmas proporções que os demais resíduos, pois tendo uma menor área de superfície específica, isto é, ocupando um maior volume, a relação água/cimento deveria ser modificada (deveria ser maior) para corrigir a trabalhabilidade dos traços.

4.2.1.4 Absorção de água

Na Figura 17 são apresentados os valores encontrados no ensaio de absorção de água, realizado em cinco corpos-de-prova para cada um dos traços utilizados neste trabalho.

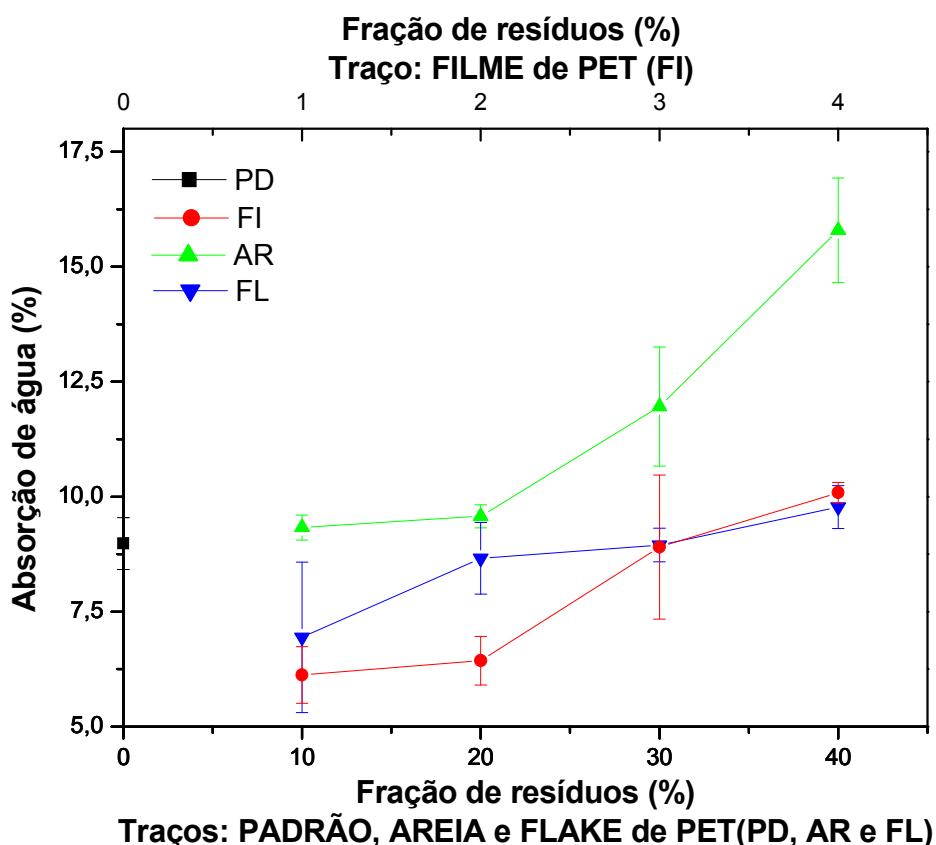


Figura 17 – Absorção de água em função do percentual de resíduos nos traços ensaiados.

Para todos os traços com adição de resíduos observa-se, de maneira geral um aumento de absorção de água a medida que aumenta o percentual de substituições sobre tudo apara o resíduo de AR o qual apresenta sempre uma maior absorção de água com relação aos demais resíduos independente da fração de adição de resíduo utilizada.

Todos os traços com resíduos do tipo Areia de PET apresentaram valores de absorção de água maiores que aquele do traço PADRÃO (8,98%), sendo que para o traço com 40% de substituição AR – 40 o aumento relativo da absorção de água verificado foi de aproximadamente 76%.

Para o percentual de substituição de 40% para resíduos do tipo *Flake* de PET, e para o percentual de substituição de 4% para o resíduo tipo Filme de PET, os aumentos do índice de absorção em relação ao traço PADRÃO foram de aproximadamente 9% e 12%, respectivamente. Os valores obtidos para percentuais de substituições de agregados de até 30%, para o resíduo tipo *Flake* de PET, e de até 3% para o resíduo tipo Filme de PET, foram menores que o obtido para o traço PADRÃO. Dentre todos os traços ensaiados o que apresentou o menor valor de absorção de água foi o FI – 01 (6,12), que representa cerca de 68% do valor obtido para o traço PADRÃO.

4.2.2 Análise microestrutural

A Figura 18 mostra a microestrutura de amostras dos traços preparados neste trabalho referentes, especificamente as amostras padrão, sem adição de resíduos, AR (Areia de PET) com 40% de resíduo; FI (Filme de PET) com 4% de resíduo e FL (Flake de PET) com 40% de substituição de agregado por resíduo polimérico. De acordo com as observações ao microscópio ótico e as ilustrações da Figura 18, os resíduos poliméricos adicionados, nas devidas proporções, estão uniformemente distribuídos (inclusive no caso da Areia e do *Flake* apresentam coloração verde o que facilita a visualização) ao longo da matriz cimentícia. Não foram observadas delaminações ou destacamentos dos resíduos da matriz ou qualquer indicação de reações químicas entre os materiais.

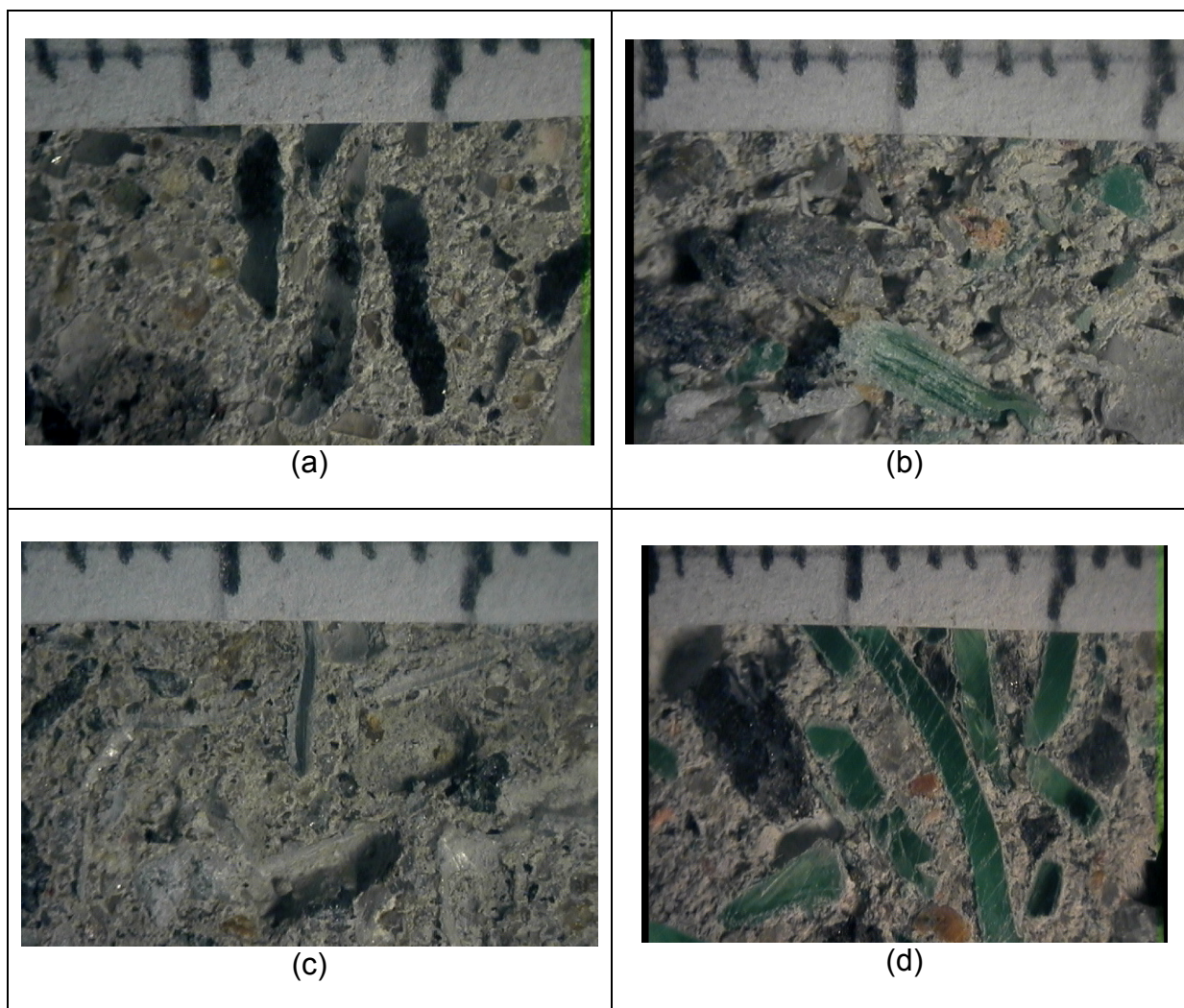


Figura 18 – Micrografias (microscopia ótica) da seção transversal de amostras fraturadas: (a) Padrão; (b) AR – 40; (c) FI – 04 e (d) FL – 40. Menor divisão da escala equivale a 1 mm.

Em algumas das observações ao microscópio foi evidenciada certa porosidade o que pode causar uma redução da resistência mecânica dos traços preparados. De fato, as medidas de porosidade realizadas evidenciaram um aumento de porosidade a medida que a quantidade de resíduos aumentou e foi mais acentuada para o traço contendo resíduo do tipo areia de PET (AR-40).

4.2.3 Resistência mecânica

4.2.3.1 Resistência à compressão axial

Os valores encontrados para as resistências à compressão axial dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Areia de PET são mostrados na Figura 19.

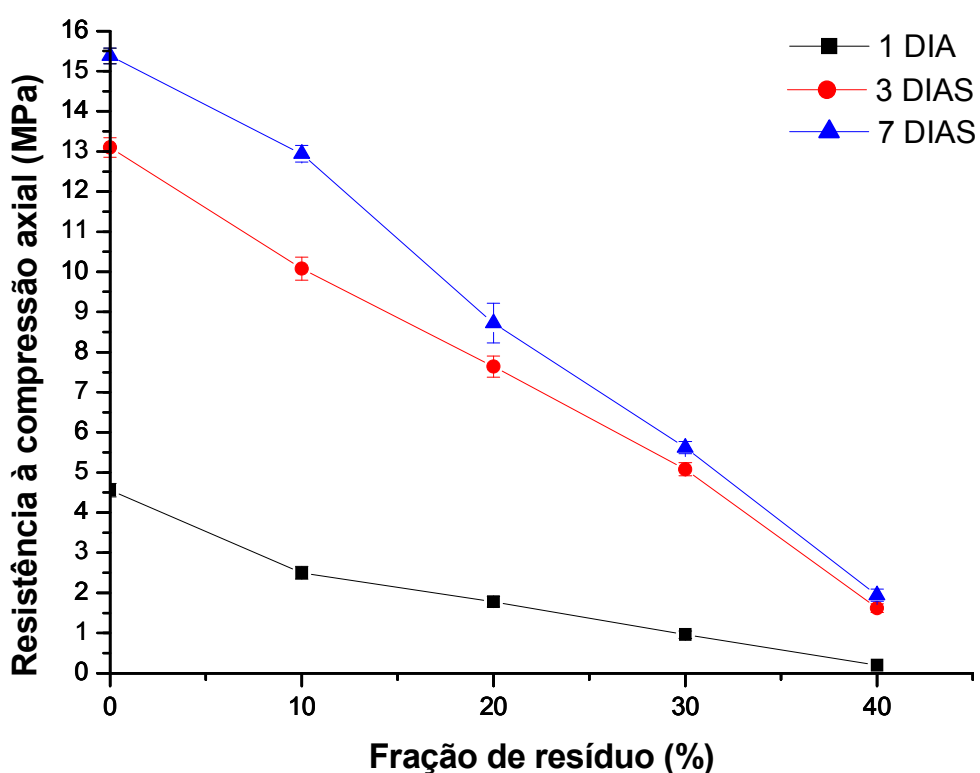


Figura 19 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Areia de PET.

Os valores encontrados para as resistências à compressão axial dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Filme de PET são mostrados na Figura 20.

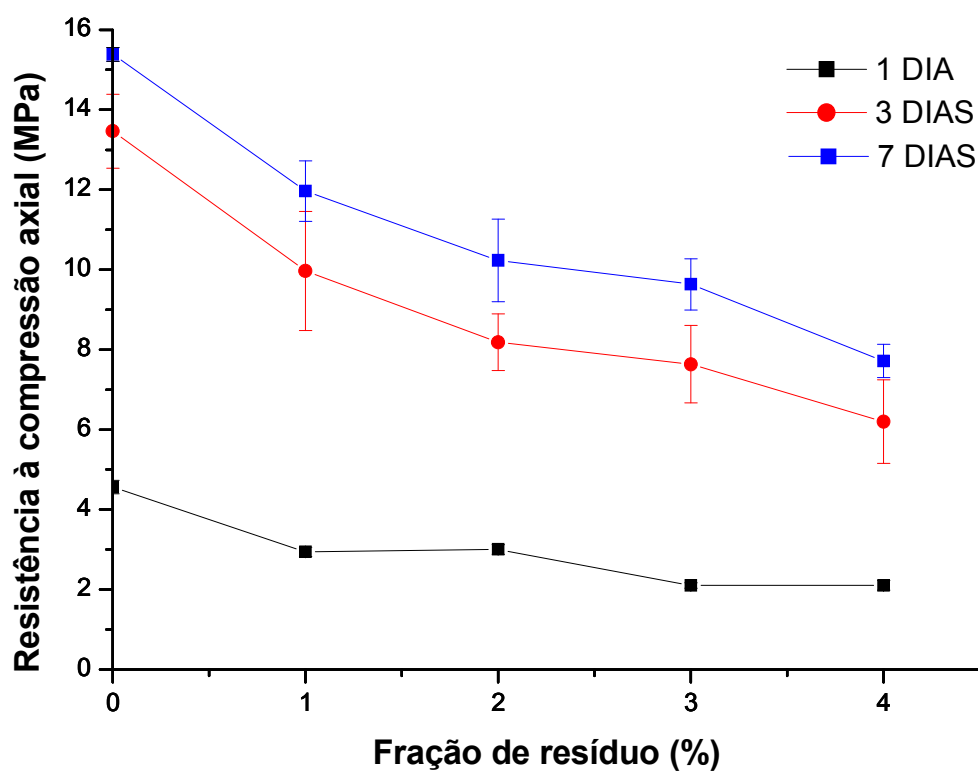


Figura 20 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Filme de PET.

Os valores encontrados para as resistências à compressão axial dos traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Flake de PET são mostrados na Figura 21.

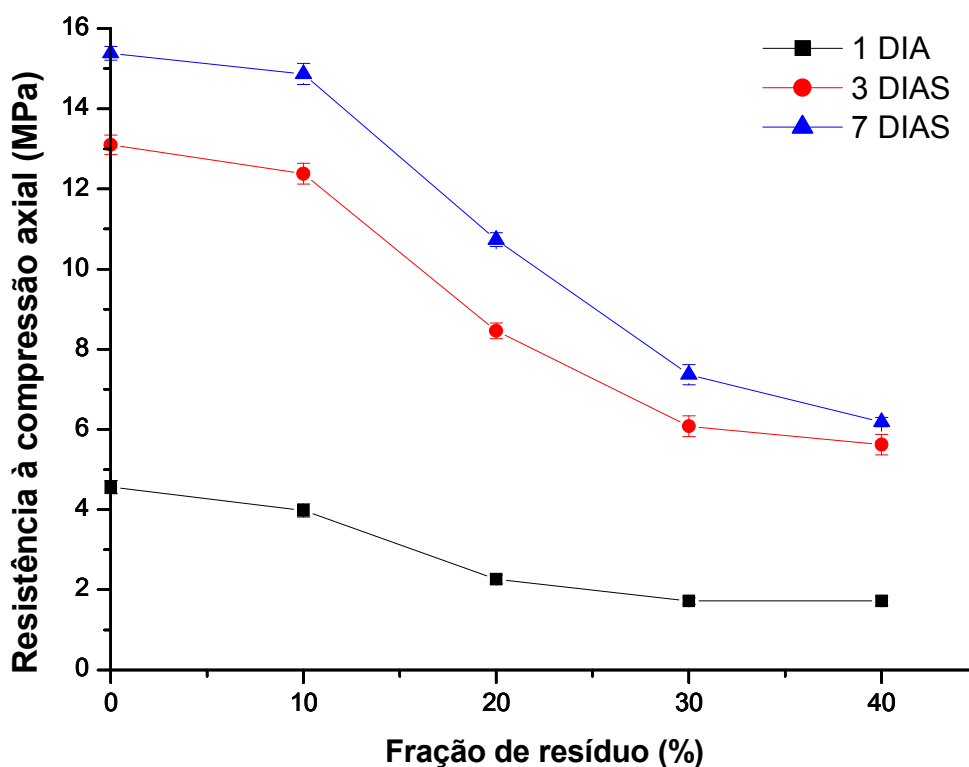


Figura 21 – Resistência à compressão axial dos traços com diferentes frações volumétricas de resíduos do tipo Flake de PET.

Para todos os traços obtidos, e em todas as idades das amostras ensaiadas a compressão axial, pode-se notar uma tendência de redução da resistência com o aumento na fração volumétrica de substituição de agregados. Por outro lado e apesar de sua redução com o aumento da fração volumétrica de resíduos adicionados, a resistência à compressão aumentou de maneira análoga para todos os tipos de traços à medida que a idade dos mesmos aumentou de 1 dia para 7 dias como era esperado.

Para a idade de 7 dias, e para todos as frações volumétricas de substituição de agregados por resíduos, os traços com resíduos do tipo Areia de PET apresentaram uma tendência de redução da resistência à compressão axial superior em relação aos traços com resíduos do tipo *Flake* de PET com as mesmas as frações volumétricas de substituição. As quantidades de substituições de agregados

por resíduo do tipo Filme de PET foram inferiores aos dos resíduos do tipo Areia de PET e *Flake* de PET, porém a perda de resistência à compressão axial apresentada por este resíduo foi proporcionalmente superior àquelas apresentadas pelos outros traços com os outros resíduos.

A resistência à compressão normal com a idade de 7 dias apresentada pelo traço Padrão foi de 15,38 MPa. Para a mesma idade e com as frações volumétricas de substituição de agregados máximas, o valor da resistência apresentado foi de 1,94 MPa para o traço com 40% de substituição por resíduo tipo Areia de PET (traço AR-40), 7,72 MPa para o traço com 4% de substituição por resíduo tipo Filme de PET (traço FI-04) e 6,18 MPa para o traço com 40% de substituição por resíduo *Flake* de PET (traço FL-40).

A diminuição da resistência à compressão dos traços obtidos com a adição de resíduos de PET em relação ao padrão (sem adição de resíduo de polímero), está relacionada, sem dúvida, a menor interação química entre o polímero e a matriz cimentícia e a porosidade residual gerada, mas sobretudo devido a menor resistência mecânica intrínseca dos polímeros com respeito aos agregados minerais que são muito mais resistentes mecanicamente.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista de aplicação e considerando os resultados obtidos, em particular com relação à resistência mecânica, os traços obtidos com a substituição de agregados minerais por resíduos de PET, podem ser aplicados na indústria da construção civil para a fabricação de artefatos não estruturais, isto é, não limitados por normas específicas sobretudo referentes a resistência mecânica. Neste caso, exemplos potenciais de utilização são: alvenaria interna de fechamento, capas para lajes nervuradas, capas para lajes pré-moldadas, material de enchimento (em escadas, rebaixos de nível, base de enchimento para pisos térreos de edificações).

A redução da densidade aparente em peças de concreto, isoladamente ou em sua totalidade, pode representar uma grande vantagem com relação à economia de tempo de execução em uma obra civil. Esta economia pode ser verificada durante a confecção, transporte e manuseio no canteiro de obras de peças pré-fabricadas, bem como se apresenta pela possibilidade de redução de seção em peças de concreto estruturais (lajes, vigas, pilares e principalmente nas fundações). A substituição de agregados minerais convencionais por resíduos de PET, que possuem densidade inferior a destes, acarreta em concretos também com menor densidade e menos resistentes à compressão axial. Esta relação entre resistência à compressão axial e densidade de um traço de concreto, quando utilizada parcimoniosamente, representa uma grande vantagem competitiva na indústria da construção civil.

Partindo do princípio que os resíduos utilizados poderiam ser fornecidos gratuitamente ou a um preço muito inferior aos preços referentes aos agregados convencionais proveniente de recursos naturais não renováveis, pode-se afirmar, seguramente, que os traços obtidos podem apresentar custos inferiores. De fato,

considerando que o custo unitário dos materiais componentes dos traços obtidos no desenvolvimento deste trabalho são apresentados na Tabela 6, e que o custo dos resíduos são nulos, o custo final dos materiais para a produção de 1 m³ de concreto dos traços com substituição de agregados será realmente inferior ao do traço convencional (PADRÃO), conforme os dados da Tabela 7.

O preço apresentado na Tabela 7 está acima do valor de mercado para concreto usinado (aproximadamente R\$ 300,00, na primeira quinzena de novembro de 2008). Isto ocorre pelo fato de este ser um trabalho experimental, e que desejava-se verificar a variação do abatimento nos traços com adição de resíduos poliméricos, sendo então necessário utilizar uma fração de adição elevada de aditivo plastificante (1%), fato este que encarece exageradamente o produto final. Caso se utilize o uma fração de adição de 0,5% de aditivo plastificante, o custo dos materiais para a confecção do traço padrão é reduzido para R\$ 311,02.

Tabela 6 – Custo dos materiais convencionais utilizados no desenvolvimento dos traços utilizados neste trabalho.

MATERIAL	UNIDADE	CUSTO POR UNIDADE
AGLOMERANTE	kg	R\$ 0,38
PÓ DE PEDRA COM PEDRISCO	m ³	R\$ 47,28
AREIA MÉDIA	m ³	R\$ 45,00
PEDRISCO	m ³	R\$ 49,39
AREIA FINA	m ³	R\$ 55,00
ÁGUA	m ³	R\$ 4,85
ADITIVO PLASTIFICANTE	kg	R\$ 11,00

AGLOMERANTE – Cimento Portland CPV ARI, Votoran, embalagens de 50 kg, novembro de 2008.

ÁGUA – Custo em outubro de 2008, Companhia Águas de Joinville.

ADITIVO PLASTIFICANTE – Rheobuit 1000, Basf, novembro de 2008.

Tabela 7 – Custo dos materiais para a produção de 1 m³ de concreto dos traços desenvolvidos neste trabalho.

TRAÇO	CUSTO (R\$/M³)	REDUÇÃO DE CUSTO EM RELAÇÃO AO TRAÇO PADRÃO (%)
PADRÃO	469,91	(-)
AR - 10	466,98	0,62
AR - 20	464,10	1,24
AR - 30	461,22	1,85
AR - 40	458,33	2,46
FI - 01	469,58	0,07
FI - 02	469,29	0,13
FI - 03	469,00	0,19
FI - 04	468,71	0,25
FL - 10	466,98	0,62
FL - 20	464,10	1,24
FL - 30	461,22	1,85
FL - 40	458,33	2,46

5 CONCLUSÕES

Resíduos de poli(tereftalado de etileno) foram utilizados como substitutos de agregados naturais em concretos de cimento *Portland*. Os resultados obtidos apontam favoravelmente para a possibilidade da utilização destes resíduos como substituto de agregados naturais, agregando desta forma valor aos mesmos durante o processo de destinação final, e permitindo a redução do impacto ambiental provocado por sua deposição em aterros e também daqueles decorrentes da retirada de fontes naturais não renováveis das matérias-primas utilizadas atualmente.

A partir da análise dos resultados obtidos em cada uma das etapas experimentais do desenvolvimento deste trabalho pode-se chegar as conclusões relacionadas a seguir.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

As curvas de distribuição granulométricas dos agregados apresentaram distribuições de tamanhos de partículas de agregados típicas de materiais empregados na construção civil. A massa específica dos agregados apresentou valores entre 2,60 e 2,68 g/cm³. A massa específica aparente dos agregados apresentou valores que permitem sua classificação como normais ($1 < \gamma_a < 2$). O módulo de finura dos agregados variou entre 1,29 e 4,80 mm, e a dimensão máxima característica valores entre 1,2 e 6,3 mm.

Os resultados dos ensaios de espectrofotometria quando analisados por dois métodos diferentes, a análise das funções orgânicas e o comparativo com o espectro padrão, apresentaram o mesmo resultado que confirmou que os resíduos

eram do material solicitado aos fornecedores (PET), e que o contaminante do resíduo Filme de PET era poli (estireno).

A razão de aspecto ou fator de forma médios do resíduo do tipo *Flake* de PET (2,88414) é superior ao fator de forma médio do resíduo do tipo Filme de PET (2,00607).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS OBTIDOS

O abatimento obtido para o traço Padrão (com agregados minerais convencionais) foi de 27,5 cm. Os resíduos do tipo Areia de PET e *Flake* de PET apresentaram abatimento zero para frações de substituição de 40%vol. O resíduo tipo Filme de PET apresentou abatimento zero para fração de substituição de 4%vol.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS OBTIDOS

O traço PADRÃO apresentou valores de 2,25 g/cm³, 2,18 g/cm³ e 2,24 g/cm³, para a densidade real, aparente e no estado solto respectivamente.

Os traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Areia de PET apresentaram valores de densidade real entre 2,17 g/cm³ e 1,94 g/cm³; de densidade aparente entre 2,10 g/cm³ e 1,60 g/cm³; e de densidade no estado solto entre 1,93 g/cm³ e 1,22 g/cm³.

Os traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Filme de PET apresentaram valores de densidade real entre 2,24 g/cm³ e 2,22 g/cm³; de densidade aparente entre 2,19 g/cm³ e 2,10 g/cm³; e de densidade no estado solto entre 2,17 g/cm³ e 1,62 g/cm³.

Os traços com substituição de agregados por resíduos do tipo Flake de PET apresentaram valores de densidade real entre 2,17 g/cm³ e 1,94 g/cm³; de densidade aparente entre 2,14 g/cm³ e 1,72 g/cm³; e de densidade no estado solto entre 2,05 g/cm³ e 1,29 g/cm³.

O traço PADRÃO apresentou valor de porosidade igual a 3,30%. Os traços com substituições de agregados convencionais por resíduos apresentaram valores de porosidade entre 1,59% e 5,27% para o resíduo do tipo Areia de PET, entre 1,59% e 5,27% para o resíduo do tipo Filme de PET e entre 1,43% e 11,17% para o resíduo do tipo Flake de PET.

O traço PADRÃO apresentou valor de absorção de água igual a 8,98%. Os traços com substituições de agregados convencionais por resíduos apresentaram valores de absorção de água entre 9,33% e 15,79% para o resíduo do tipo Areia de PET, entre 6,12% e 10,09% para o resíduo do tipo Filme de PET e entre 6,94% e 9,78% para o resíduo do tipo Flake de PET.

A análise microestrutural permitiu a confirmação da distribuição uniforme dos resíduos na matriz cimentícia, não sendo constatadas delaminações ou destacamentos dos resíduos da matriz ou qualquer indicação de interação química entre os materiais. O maior valor de porosidade medido para os traços com substituição de resíduos ocorreu no traço AR – 40.

O traço PADRÃO apresentou valores de resistência a compressão axial de 15,38 MPa na idade de 7 dias. A resistência a compressão axial dos traços com substituição de agregados minerais convencionais por resíduos, na idade de 7 dias, variou de 1,94 MPa (AR – 40) a 12,94 MPa (AR – 10) para os resíduos do tipo Areia de PET; de 7,72 MPa (FI – 04) a 11,96 MPa (FI – 01) para os resíduos do tipo Filme

de PET e, de 6,18 MPa (AR – 40) a 14,86 MPa (AR – 10).para os resíduos do tipo *Flake* de PET.

5.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abriu novos horizontes de estudos na área de agregados para concreto, em especial a substituição de agregados naturais por agregados artificiais produzidos a partir de resíduos, e existem diversos caminhos que permitem o seu prosseguimento. Considera-se que os seguintes temas podem e devem estar contemplados em trabalhos futuros:

- Identificar o potencial de utilização dos resíduos do tipo Filme de PET como fibras para reforço de concreto;
- Realizar ensaio de resistência à compressão axial em corpos-de-prova com idades avançadas (> 150 dias) para a verificação de ocorrência ou não de perdas de resistência provocadas por eventual deterioração do PET provocada pelo concreto;
- Aprofundar o estudo sobre a redução de abatimento de concretos com adição de resíduos poliméricos, visando descobrir a possível causa e o mecanismo de ação deste fenômeno;
- Realizar estudo de adaptação dos traços obtidos para a confecção de artefatos de concreto. Confeccionar e caracterizar os artefatos para verificar se os mesmos cumprem ou não as exigências das normas vigentes. Realizar ensaios de caracterização mecânica dos artefatos, bem como e de outras propriedades que se julgue interessante, tais como: isolamento térmico, isolamento acústico, combustão, toxicidade e lixiviação;

- Corrigir granulometricamente os resíduos nos formatos já disponíveis para possibilitar a obtenção de uma curva semelhante às dos agregados naturais. Repetir os ensaios de caracterização mecânica, de modo a verificar se substituições de agregados por resíduos com mesma granulometria provoca efeitos diferentes dos já encontrados e aqui relatados;
- Produzir a partir dos resíduos de PET grânulos arredondados de dimensões variadas e classificá-los granulometricamente. Repetir os ensaios de caracterização mecânica promovendo a substituição dentro de uma mesma faixa granulométrica dos agregados convencionais por estes grânulos, visando com isto verificar como o formato dos grãos influencia nas propriedades mecânicas dos concretos desenvolvidos.
- Determinar a viabilidade operacional e econômica da utilização dos resíduos de PET como substitutos de agregados naturais.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO *PORTLAND*. **Guia básico de utilização de cimento *Portland***, Boletim Técnico 106. 7 ed, São Paulo, 2002.

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **3º Censo da Reciclagem de PET no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/noticias/Terceiro%20Censo%20Reciclagem%20do%20%20PET%2006-07.pps>>. Acesso em 10 de agosto de 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.733 - Cimento *Portland* de alta resistência inicial**, Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738 - Moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**, Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739 - Concreto - ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.124 - Determinação da elasticidade, carga de ruptura, absorção de água e da espessura do cobrimento em postes e cruzetas de concreto armado**, Rio de Janeiro, 1980.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.251 - Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**, Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.768 - Aditivos para concreto de cimento *Portland***, Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**, Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, Rio de Janeiro, 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM248 - Agregados - determinação da composição granulométrica**, Rio de Janeiro, 2003.

AGUIR, Ely Costa Cardona; SILVÉRIO, Cássio Daniel Valenga; PEREIRA, Luciano Alves; KANNING, Rodrigo Cesar. **A tecnologia do concreto aliada ao meio**

ambiente. CEFET-PR. Disponível em: <<http://www.cefetpr.br/deptos/dacoc/isopet/>> Acesso em: 18 de outubro de 2008.

ALMEIDA, Marconi Oliveira de; JÚNIOR, Marle José Ferrari; SONCIM, Sérgio Pacífico; JUNIOR, Gilson Barbosa Athayde. **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – Livro de Resumos. Santa Catarina, 2004.

ALVES, José Dafico. **Manual de Tecnologia do Concreto**. 3. ed. Goiânia: Ed. UFG, 1993.

BALLARIN, Adriano Wagner. Argamassa armada: tecnologia e aplicações no meio rural. In: FREIRE, Wesley Jorge (Org.). **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. São Paulo: Editora da Unicamp, 2003.

BARTH, Fernando; SILVEIRA, Wilson J. C; ALENCASTRO, João Paulo U. de; VEFAGO, Luiz Henrique M.; PROVENZANO, Thais L.. **Reciclagem de garrafas PET para a pré-fabricação de habitação de interesse social**. Actas do Congreso Nacional de Construção – Construção 2004: Repensar a Construção. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal, 2004.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção – Volume 1 e Volume 2**. 5. ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. [Dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2005.

CHOI, Yun-Wang; MOON, Dae-Joong; CHUNG, Jee-Seung; CHO, Sun-Kyu. **Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete**. Cement and Concrete Research, nº 35, páginas 776 – 781. 2005.

COELHO, Francisco Carvalho Arruda. **ECOLAJE. Utilização de garrafa PET na fabricação de lajes nervuradas**. Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Habana, Cuba, 2006

COELHO, Rivaldo Teodoro. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NOS COMPÓSITOS À BASE DE CIMENTO PORTLAND: Uso de grãos reciclados de polipropileno reciclado em substituição aos agregados do concreto**. [Dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas; 2005.

DANTAS, Francisco de Assis Souza. Agregados leves e concretos alternativos. In: FREIRE, Wesley Jorge (Org.). **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. São Paulo: Editora da Unicamp, 2003.

FERREIRA, Evelyn de Mancilha; PENIDO, Humberto Soares; SILVA, Sindi Honstender; ALVES, Eliane; GOMES, Carlos Augusto. **Estudo de garrafas PET incorporadas aos blocos de concreto – Aplicação alternativa na construção**. XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. Paraíba, 2007

LEONHARDT, Fritz; MÖNING, Eduard. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Volume I. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1977.

LIMA, Newton Silva. **Tijolo PET – Mais barato e ambientalmente correto**. Revista Amazonas Ciência. Ano II - Número 5, pg 31-33, Amazonas, Julho de 2007.

LISBOA, Edvaldo Monteiro. **OBTENÇÃO DO CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL UTILIZANDO RESÍDUO DO MÁRMORE E DO GRANITO E ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS**. [Dissertação de mestrado]. Alagoas: Universidade Federal de Alagoas; 2005.

NUNES, Gabriela Fontes Nunes; ALVIN, Ricardo de Carvalho; ALVIN, Rosana de A. Arléo. **Uso de concreto leve para a produção de elemento estrutural na região cacaueira**. XIII Seminário de Iniciação Científica e 9a Semana de Pesquisa e Pós-Graduação da UESC. Bahia, 2007.

NUNES, J. B. M.; COSTA, J. S. da. **Utilização de agregado reciclado proveniente de rejeitos da construção civil em substituição ao agregado natural**. 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais Eletrônico. Santa Catarina, 2008.

OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K. **Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber**. Cement and Concrete Composites, nº 29, páginas 448 – 455. 2007.

PEZZIN, Ana Paula Testa. **Reciclagem química de embalagens de PET pós-consumo: Síntese de novos co-polímeros biodegradáveis**. [Notas de aula]. Santa Catarina: Universidade da Região de Joinville; 2007.

PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; FRANCK, R; DERKSEN, R. **Reciclagem secundária de rejeitos de porcelanas elétricas em estruturas de concreto: determinação do desempenho sob envelhecimento acelerado**. Revista Cerâmica, nº 52, páginas 155 – 167. 2006.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. Minas Gerais: Editora da UFMG, 2006.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. Glayton; MORRIL, Terence C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabana Koogan, 1994.

SIQUEIRA, Ligia Vieira Maia. **Uma contribuição ao estudo da adição de resíduos de poliuretano expandido para a fabricação de blocos de concreto leve**. [Dissertação de mestrado]. Santa Catarina: Universidade do Estado de Santa Catarina; 2006.

SONCIM, Sérgio Pacífico; JUNIOR, Gilson Barbosa Athayde; JÚNIOR, Marle José Ferrari; ALMEIDA, Marconi Oliveira de; ALMEIDA, Sávio Giacominni de; VIDAL, Frederico Xavier Rodrigues. **O emprego do resíduo da reciclagem de garrafas PET (polietileno tereftalato) como agregado em reforço de subleito de rodovias**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – Livro de Resumos. Santa Catarina, 2004.

SOUZA, Carla Adriana de. **Utilização de resíduo de concreto como agregado miúdo para argamassas de concreto estruturais convencionais**. [Dissertação de mestrado]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.

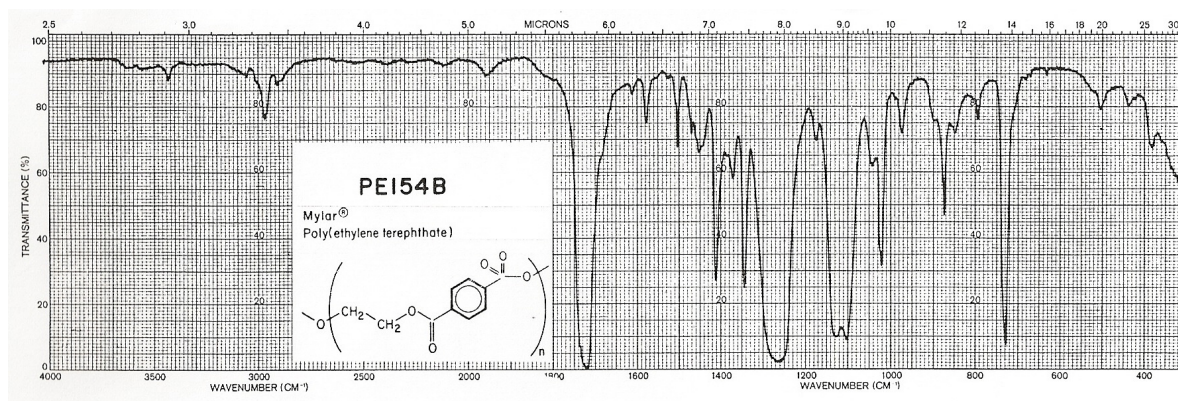
TÉCHNE. A revista do Engenheiro Civil. Edição 81, dezembro de 2003. São Paulo: Editora PINI Ltda. ISSN 0104-1053.

TRIGO, Ana Paula Moreno. **Lajes com adição de resíduo de pneu**. [Dissertação de mestrado]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; 2008.

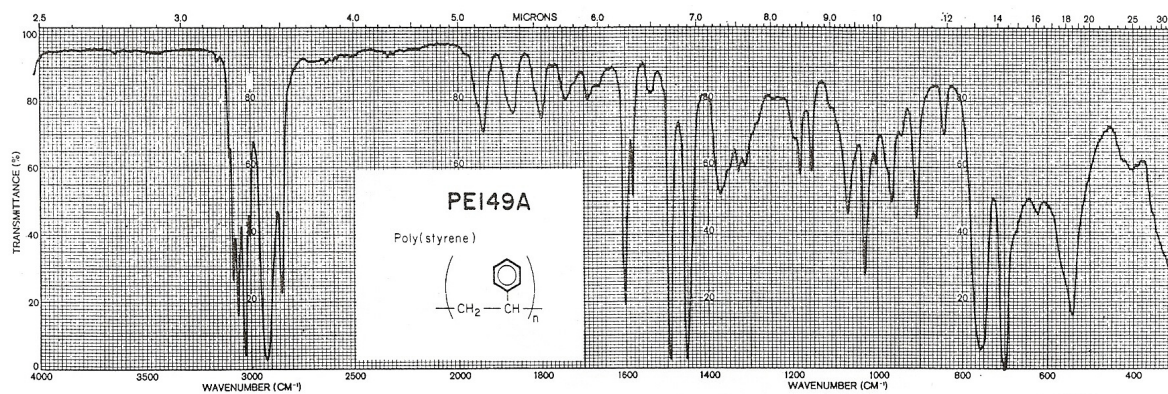
ZATTERA, Ademir J; CARVALHO, Glaucio de Almeida; FREIRE, Estevao R. **Reuso de resíduos de laminados de fibra de vidro na construção civil**. Seminário Nacional sobre Reuso / Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, São Paulo, 2000.

ANEXOS

ANEXO A – ESPECTRO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PADRÃO DE UM FILME DE POLI(TEREFTALATO DE ETILENO)



ANEXO B – ESPECTRO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PADRÃO DE UM FILME DE POLI(ESTIRENO)



ANEXO C – VALORES MEDIDOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA DOS RESÍDUOS

Neste anexo encontram-se os valores medidos durante a realização do ensaio de determinação do fator de forma ou razão de aspecto dos resíduos do tipo Flake de PET e do tipo Filme de PET.

RESÍDUO - FLAKE DE PET											
N	C	L	N	C	L	N	C	L	N	C	L
1	6,38	3,90	26	7,48	2,29	51	8,48	2,61	76	7,73	2,66
2	11,19	3,15	27	4,76	0,94	52	11,60	3,35	77	5,44	5,32
3	8,47	4,03	28	5,74	1,12	53	7,66	2,65	78	10,14	2,58
4	8,01	0,96	29	3,21	1,84	54	6,97	2,18	79	5,07	3,37
5	6,54	2,65	30	5,74	3,37	55	7,21	3,18	80	3,79	1,97
6	3,09	1,98	31	4,28	2,01	56	4,95	2,43	81	2,91	5,21
7	2,63	2,27	32	3,73	1,74	57	8,44	1,32	82	9,50	3,87
8	2,90	1,85	33	4,76	2,13	58	7,66	2,78	83	6,71	3,48
9	2,29	0,83	34	8,99	1,34	59	4,87	1,21	84	8,92	4,42
10	3,02	1,87	35	2,03	1,72	60	7,16	4,21	85	8,71	2,57
11	11,28	1,72	36	3,87	0,80	61	8,19	2,68	86	3,98	3,61
12	6,65	1,47	37	2,53	1,57	62	8,29	2,82	87	7,29	2,53
13	4,08	3,78	38	1,99	1,36	63	8,67	1,97	88	4,21	3,62
14	7,33	3,18	39	7,49	3,28	64	8,17	2,76	89	4,83	2,55
15	4,15	2,56	40	3,33	3,03	65	5,29	2,72	90	4,81	2,16
16	7,34	2,69	41	3,50	2,07	66	6,08	2,62	91	4,50	3,66
17	2,82	2,57	42	3,87	1,09	67	5,09	2,14	92	7,38	3,83
18	9,44	2,35	43	4,71	2,69	68	8,38	1,13	93	8,67	2,17
19	14,78	1,22	44	5,13	1,49	69	4,42	2,03	94	4,79	1,91
20	3,35	1,53	45	3,09	1,99	70	5,38	1,35	95	5,50	2,19
21	3,69	1,13	46	6,11	1,95	71	8,27	2,52	96	3,43	2,94
22	3,77	1,30	47	7,83	2,18	72	7,63	2,79	97	7,69	2,21
23	4,33	1,71	48	12,65	3,66	73	6,67	1,92	98	4,32	2,83
24	4,05	1,20	49	10,14	2,27	74	4,74	3,97	99	5,63	1,43
25	8,93	2,55	50	6,46	2,48	75	6,39	1,45	100	4,54	2,09

N - Número da amostra;

C – Comprimento da amostra (mm);

L – Espessura da amostra (mm).

RESÍDUO - FILME DE PET											
N	C	L	N	C	L	N	C	L	N	C	L
1	15,15	9,16	26	5,95	3,64	51	10,09	6,32	76	6,56	6,34
2	8,27	8,18	27	7,46	4,88	52	5,91	4,92	77	15,05	5,02
3	7,72	6,12	28	22,20	6,91	53	11,46	4,05	78	16,13	10,34
4	10,30	9,89	29	13,76	7,25	54	9,68	5,92	79	4,24	2,97
5	7,41	3,38	30	19,12	3,18	55	8,17	6,55	80	9,29	5,83
6	12,24	6,25	31	15,62	4,66	56	11,54	2,06	81	8,63	3,77
7	7,74	5,72	32	12,97	3,94	57	18,51	12,79	82	7,61	5,54
8	4,08	4,40	33	11,75	6,07	58	11,72	7,37	83	12,43	8,28
9	9,07	3,91	34	7,44	6,23	59	10,95	2,51	84	5,69	3,99
10	8,62	1,45	35	16,16	3,86	60	15,30	12,18	85	7,77	2,36
11	5,36	2,49	36	13,21	10,40	61	8,35	4,13	86	12,43	6,85
12	7,09	3,69	37	9,53	8,57	62	8,20	3,68	87	7,06	6,81
13	12,16	9,41	38	17,79	8,13	63	7,09	3,62	88	14,85	10,34
14	16,63	14,45	39	8,74	5,25	64	5,17	4,11	89	12,84	3,35
15	13,83	10,02	40	6,23	2,38	65	7,21	2,88	90	6,71	5,93
16	6,42	2,44	41	4,49	4,08	66	10,39	7,23	91	6,54	4,35
17	6,24	2,22	42	7,29	5,32	67	12,01	3,69	92	16,47	8,84
18	18,04	4,75	43	6,87	5,26	68	9,05	3,45	93	6,11	4,07
19	11,48	3,25	44	7,49	3,84	69	4,96	3,28	94	5,78	4,23

20	7,07	6,49	45	5,79	5,60	70	9,39	5,77	95	11,15	5,40
21	14,72	11,17	46	11,85	6,33	71	15,95	8,23	96	5,43	3,52
22	10,16	5,98	47	8,31	8,12	72	10,05	5,29	97	13,10	7,18
23	11,97	10,53	48	10,30	3,37	73	9,02	5,66	98	10,66	7,73
24	10,74	5,95	49	6,08	3,76	74	7,92	2,85	99	6,67	6,62
25	12,57	4,17	50	7,77	2,54	75	4,25	4,19	100	14,69	9,76

N – Número da amostra;

C – Comprimento da amostra (mm);

L – Espessura da amostra (mm).

ANEXO D – LISTA DE PUBLICAÇÕES

Neste anexo encontra-se a relação de publicações realizadas durante o transcorrer do curso de Mestrado em Engenharia de Processos as quais têm relação direta e indireta com o trabalho desenvolvido.

1) VIEIRA, R. A.; SANTOS, L.J.; MARCHI, V. L.; MODRO, N. L. R.; OLIVEIRA, A. P. N. **Caracterização mecânica e térmica de concreto contendo resíduo de poliuretano rígido**. 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais Eletrônico. Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

2) MODRO, N. L. R.; MARCHI, V. L.; VIEIRA, R. A; OLIVEIRA, A. P. N. **Caracterização mecânica de concreto contendo resíduos de poli(tereftalato de etileno) e de poliuretano rígido**. 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais Eletrônico. Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

3) V. L.; VIEIRA, R. A; NONO, M. C. A.; MODRO, N. L. R.; MARCHI, MODRO, N. R. **AFM and RBS analyses of Magnetron Sputtered TiN functional Films on AISI D6 and M2 Steel Substrates**. XV International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials. Buenos Aires, Argentina, 2008.

ANEXO E – LISTA DE PUBLICAÇÕES

Neste anexo encontram-se os Relatórios de Ensaios referentes a caracterização dos traços obtidos, realizados pela empresa TESTECON Análise Laboratorial de Solo, Concreto e Asfalto.



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 16/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO PADRÃO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	14/06/08	15/06/08	1	CP	4,6	Comp. Normal	3420
02	14/06/08	15/06/08	1	CP	4,8	Comp. Normal	3430
03	14/06/08	15/06/08	1	CP	4,6	Comp. Normal	3420
04	14/06/08	15/06/08	1	CP	4,4	Comp. Normal	3415
05	14/06/08	15/06/08	1	CP	4,4	Comp. Normal	3410
06	14/06/08	17/06/08	3	CP	13,4	Comp. Normal	3395
07	14/06/08	17/06/08	3	CP	12,9	Comp. Normal	3430
08	14/06/08	17/06/08	3	CP	13,2	Comp. Normal	3410
09	14/06/08	17/06/08	3	CP	12,8	Comp. Normal	3430
10	14/06/08	17/06/08	3	CP	13,2	Comp. Normal	3435
11	14/06/08	21/06/08	7	CP	15,3	Comp. Normal	3455
12	14/06/08	21/06/08	7	CP	15,3	Comp. Normal	3410
13	14/06/08	21/06/08	7	CP	15,4	Comp. Normal	3420
14	14/06/08	21/06/08	7	CP	15,2	Comp. Normal	3420
15	14/06/08	21/06/08	7	CP	15,7	Comp. Normal	3425

Massa Unitária do Concreto Solto Kg/cm³:	2,236
SlumpTest (cm)	27,5

Informações Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratório.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 25/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 1% RESÍDUOS TIPO FILME DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,9	Comp. Normal	3,420
02	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,9	Comp. Normal	3,410
03	24/06/08	25/06/08	1	CP	3,0	Comp. Normal	3,475
04	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,8	Comp. Normal	3,425
05	24/06/08	25/06/08	1	CP	3,1	Comp. Normal	3,445
06	24/06/08	27/06/08	3	CP	9,5	Comp. Normal	3,430
07	24/06/08	27/06/08	3	CP	9,4	Comp. Normal	3,435
08	24/06/08	27/06/08	3	CP	9,5	Comp. Normal	3,425
09	24/06/08	27/06/08	3	CP	9,2	Comp. Normal	3,435
10	24/06/08	27/06/08	3	CP	9,2	Comp. Normal	3,415
11	24/06/08	01/07/08	7	CP	13,0	Comp. Normal	3,440
12	24/06/08	01/07/08	7	CP	12,4	Comp. Normal	3,435
13	24/06/08	01/07/08	7	CP	12,2	Comp. Normal	3,435
14	24/06/08	01/07/08	7	CP	11,2	Comp. Normal	3,445
15	24/06/08	01/07/08	7	CP	11,0	Comp. Normal	3,445

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	2,171
SlumpTest (cm)	23,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERRESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 25/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 2% RESÍDUOS TIPO FILME DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	24/06/08	25/06/08	1	CP	3,0	Comp. Normal	3,475
02	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,9	Comp. Normal	3,495
03	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,9	Comp. Normal	3,425
04	24/06/08	25/06/08	1	CP	3,0	Comp. Normal	3,445
05	24/06/08	25/06/08	1	CP	3,2	Comp. Normal	3,455
06	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,9	Comp. Normal	3,450
07	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,6	Comp. Normal	3,470
08	24/06/08	27/06/08	3	CP	8,3	Comp. Normal	3,485
09	24/06/08	27/06/08	3	CP	8,2	Comp. Normal	3,450
10	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,6	Comp. Normal	3,435
11	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,5	Comp. Normal	3,440
12	24/06/08	01/07/08	7	CP	11,1	Comp. Normal	3,450
13	24/06/08	01/07/08	7	CP	11,8	Comp. Normal	3,465
14	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,7	Comp. Normal	3,480
15	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,1	Comp. Normal	3,450

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³:	1,966
SlumpTest (cm)	7,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 25/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 3% RESÍDUOS TIPO FILME DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,400
02	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,415
03	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,420
04	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,2	Comp. Normal	3,375
05	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,0	Comp. Normal	3,420
06	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,2	Comp. Normal	3,405
07	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,4	Comp. Normal	3,415
08	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,2	Comp. Normal	3,430
09	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,1	Comp. Normal	3,390
10	24/06/08	27/06/08	3	CP	7,3	Comp. Normal	3,400
11	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,6	Comp. Normal	3,415
12	24/06/08	01/07/08	7	CP	10,8	Comp. Normal	3,405
13	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,1	Comp. Normal	3,395
14	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,0	Comp. Normal	3,410
15	24/06/08	01/07/08	7	CP	9,7	Comp. Normal	3,395

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³:	1,807
SlumpTest (cm)	3,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Pagina 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 25/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 4% RESÍDUOS TIPO FILME DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	24/06/08	25/06/08	1	CP	1,9	Comp. Normal	3,360
02	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,345
03	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,2	Comp. Normal	3,250
04	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,315
05	24/06/08	25/06/08	1	CP	2,2	Comp. Normal	3,280
06	24/06/08	27/06/08	3	CP	5,8	Comp. Normal	3,285
07	24/06/08	27/06/08	3	CP	5,5	Comp. Normal	3,295
08	24/06/08	27/06/08	3	CP	6,0	Comp. Normal	3,350
09	24/06/08	27/06/08	3	CP	6,0	Comp. Normal	3,295
10	24/06/08	27/06/08	3	CP	5,6	Comp. Normal	3,250
11	24/06/08	01/07/08	7	CP	8,3	Comp. Normal	3,305
12	24/06/08	01/07/08	7	CP	7,6	Comp. Normal	3,330
13	24/06/08	01/07/08	7	CP	7,4	Comp. Normal	3,345
14	24/06/08	01/07/08	7	CP	8,1	Comp. Normal	3,300
15	24/06/08	01/07/08	7	CP	7,2	Comp. Normal	3,270

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³:	1,623
SlumpTest (cm)	0,0

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Pagina 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 24/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 10% RESÍDUOS TIPO AREIA DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,5	Comp. Normal	3,300
02	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,3	Comp. Normal	3,290
03	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,4	Comp. Normal	3,290
04	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,7	Comp. Normal	3,315
05	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,6	Comp. Normal	3,300
06	23/06/08	26/06/08	3	CP	9,9	Comp. Normal	3,295
07	23/06/08	26/06/08	3	CP	9,7	Comp. Normal	3,305
08	23/06/08	26/06/08	3	CP	10,4	Comp. Normal	3,315
09	23/06/08	26/06/08	3	CP	10,3	Comp. Normal	3,300
10	23/06/08	26/06/08	3	CP	10,1	Comp. Normal	3,305
11	23/06/08	30/06/08	7	CP	12,7	Comp. Normal	3,295
12	23/06/08	30/06/08	7	CP	13,2	Comp. Normal	3,300
13	23/06/08	30/06/08	7	CP	12,9	Comp. Normal	3,305
14	23/06/08	30/06/08	7	CP	12,8	Comp. Normal	3,320
15	23/06/08	30/06/08	7	CP	13,1	Comp. Normal	3,305

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	1,931
SlumpTest (cm)	9,0

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 24/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 20% RESÍDUOS TIPO AREIA DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,7	Comp. Normal	3,120
02	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	3,175
03	23/06/08	24/06/08	1	CP	2,0	Comp. Normal	3,145
04	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,7	Comp. Normal	3,130
05	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,7	Comp. Normal	3,135
06	23/06/08	26/06/08	3	CP	7,4	Comp. Normal	3,120
07	23/06/08	26/06/08	3	CP	7,6	Comp. Normal	3,125
08	23/06/08	26/06/08	3	CP	7,4	Comp. Normal	3,150
09	23/06/08	26/06/08	3	CP	7,8	Comp. Normal	3,170
10	23/06/08	26/06/08	3	CP	8,0	Comp. Normal	3,185
11	23/06/08	30/06/08	7	CP	8,0	Comp. Normal	3,140
12	23/06/08	30/06/08	7	CP	8,9	Comp. Normal	3,135
13	23/06/08	30/06/08	7	CP	8,5	Comp. Normal	3,175
14	23/06/08	30/06/08	7	CP	9,3	Comp. Normal	3,155
15	23/06/08	30/06/08	7	CP	8,9	Comp. Normal	3,130

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	1,605
SlumpTest (cm)	1,8

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Pagina 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 24/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 30% RESÍDUOS TIPO AREIA DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,0	Comp. Normal	2,890
02	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,0	Comp. Normal	2,910
03	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,8	Comp. Normal	2,850
04	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,0	Comp. Normal	2,885
05	23/06/08	24/06/08	1	CP	1,0	Comp. Normal	2,870
06	23/06/08	26/06/08	3	CP	5,2	Comp. Normal	2,890
07	23/06/08	26/06/08	3	CP	5,1	Comp. Normal	2,860
08	23/06/08	26/06/08	3	CP	5,2	Comp. Normal	2,905
09	23/06/08	26/06/08	3	CP	4,8	Comp. Normal	2,855
10	23/06/08	26/06/08	3	CP	5,1	Comp. Normal	2,895
11	23/06/08	30/06/08	7	CP	5,6	Comp. Normal	2,855
12	23/06/08	30/06/08	7	CP	5,4	Comp. Normal	2,895
13	23/06/08	30/06/08	7	CP	5,6	Comp. Normal	2,895
14	23/06/08	30/06/08	7	CP	5,8	Comp. Normal	2,870
15	23/06/08	30/06/08	7	CP	5,7	Comp. Normal	2,885

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	1,422
SlumpTest (cm)	0,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERRESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 24/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 40% RESÍDUOS TIPO AREIA DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,2	Comp. Normal	2,525
02	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,2	Comp. Normal	2,530
03	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,2	Comp. Normal	2,495
04	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,2	Comp. Normal	2,530
05	23/06/08	24/06/08	1	CP	0,2	Comp. Normal	2,535
06	23/06/08	26/06/08	3	CP	1,8	Comp. Normal	2,490
07	23/06/08	26/06/08	3	CP	1,6	Comp. Normal	2,560
08	23/06/08	26/06/08	3	CP	1,6	Comp. Normal	2,430
09	23/06/08	26/06/08	3	CP	1,6	Comp. Normal	2,480
10	23/06/08	26/06/08	3	CP	1,5	Comp. Normal	2,545
11	23/06/08	30/06/08	7	CP	1,7	Comp. Normal	2,475
12	23/06/08	30/06/08	7	CP	2,1	Comp. Normal	2,565
13	23/06/08	30/06/08	7	CP	2,0	Comp. Normal	2,535
14	23/06/08	30/06/08	7	CP	1,9	Comp. Normal	2,490
15	23/06/08	30/06/08	7	CP	2,0	Comp. Normal	2,505

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³:	1,215
SlumpTest (cm)	0,0

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 26/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
 SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 10% RESÍDUOS TIPO FLAKE DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	25/06/08	26/06/08	1	CP	3,8	Comp. Normal	3,365
02	25/06/08	26/06/08	1	CP	3,8	Comp. Normal	3,370
03	25/06/08	26/06/08	1	CP	4,1	Comp. Normal	3,380
04	25/06/08	26/06/08	1	CP	4,1	Comp. Normal	3,390
05	25/06/08	26/06/08	1	CP	4,1	Comp. Normal	3,350
06	25/06/08	28/06/08	3	CP	12,7	Comp. Normal	3,380
07	25/06/08	28/06/08	3	CP	12,3	Comp. Normal	3,355
08	25/06/08	28/06/08	3	CP	12,4	Comp. Normal	3,385
09	25/06/08	28/06/08	3	CP	12,0	Comp. Normal	3,355
10	25/06/08	28/06/08	3	CP	12,5	Comp. Normal	3,375
11	25/06/08	02/07/08	7	CP	15,0	Comp. Normal	3,370
12	25/06/08	02/07/08	7	CP	14,6	Comp. Normal	3,335
13	25/06/08	02/07/08	7	CP	15,2	Comp. Normal	3,355
14	25/06/08	02/07/08	7	CP	15,0	Comp. Normal	3,365
15	25/06/08	02/07/08	7	CP	14,5	Comp. Normal	3,355

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	2,046
SlumpTest (cm)	14,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 26/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 20% RESÍDUOS TIPO FLAKE DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	25/06/08	26/06/08	1	CP	2,2	Comp. Normal	3,185
02	25/06/08	26/06/08	1	CP	2,1	Comp. Normal	3,180
03	25/06/08	26/06/08	1	CP	2,3	Comp. Normal	3,200
04	25/06/08	26/06/08	1	CP	2,3	Comp. Normal	3,225
05	25/06/08	26/06/08	1	CP	2,4	Comp. Normal	3,175
06	25/06/08	28/06/08	3	CP	8,7	Comp. Normal	3,185
07	25/06/08	28/06/08	3	CP	8,4	Comp. Normal	3,220
08	25/06/08	28/06/08	3	CP	8,4	Comp. Normal	3,195
09	25/06/08	28/06/08	3	CP	8,6	Comp. Normal	3,175
10	25/06/08	28/06/08	3	CP	8,2	Comp. Normal	3,165
11	25/06/08	02/07/08	7	CP	10,8	Comp. Normal	3,170
12	25/06/08	02/07/08	7	CP	10,6	Comp. Normal	3,200
13	25/06/08	02/07/08	7	CP	10,8	Comp. Normal	3,205
14	25/06/08	02/07/08	7	CP	10,5	Comp. Normal	3,170
15	25/06/08	02/07/08	7	CP	11	Comp. Normal	3,195

Massa Unitária do Concreto Solto Kg/cm³	1,914
SlumpTest (cm)	10,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 26/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 30% RESÍDUOS TIPO FLAKE DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,6	Comp. Normal	2,990
02	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	2,995
03	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,7	Comp. Normal	2,930
04	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	2,955
05	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,7	Comp. Normal	2,945
06	25/06/08	28/06/08	3	CP	6,1	Comp. Normal	3,005
07	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,7	Comp. Normal	2,985
08	25/06/08	28/06/08	3	CP	6,2	Comp. Normal	2,965
09	25/06/08	28/06/08	3	CP	6,4	Comp. Normal	3,005
10	25/06/08	28/06/08	3	CP	6,0	Comp. Normal	2,955
11	25/06/08	02/07/08	7	CP	7,5	Comp. Normal	2,925
12	25/06/08	02/07/08	7	CP	7,3	Comp. Normal	2,960
13	25/06/08	02/07/08	7	CP	7,5	Comp. Normal	2,945
14	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,9	Comp. Normal	2,990
15	25/06/08	02/07/08	7	CP	7,6	Comp. Normal	3,000

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³:	1,503
SlumpTest (cm)	0,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Pagina 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 26/06/08

Relatório de Ensaio

TRAÇO APLICADO: **TRAÇO 1:5:0,80 + 1% ADITIVO PLASTIFICANTE**
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS - 40% RESÍDUOS TIPO FLAKE DE PET

Identificação	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (dias)	Concretagem	Tensão de Ruptura (MPa)	Ensaio	Peso (Kg)
01	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	2,685
02	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,6	Comp. Normal	2,700
03	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	2,670
04	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,6	Comp. Normal	2,690
05	25/06/08	26/06/08	1	CP	1,8	Comp. Normal	2,695
06	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,4	Comp. Normal	2,695
07	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,9	Comp. Normal	2,750
08	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,5	Comp. Normal	2,695
09	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,9	Comp. Normal	2,740
10	25/06/08	28/06/08	3	CP	5,4	Comp. Normal	2,720
11	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,2	Comp. Normal	2,720
12	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,3	Comp. Normal	2,725
13	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,3	Comp. Normal	2,675
14	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,1	Comp. Normal	2,680
15	25/06/08	02/07/08	7	CP	6,0	Comp. Normal	2,715

Massa Unitaria do Concreto Solto Kg/cm³	1,293
SlumpTest (cm)	0,5

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



INTERESSADO: **ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO**
 PROCEDENCIA: **TESE DE MESTRADO**

Página 01 de 01

REGISTRO Nº: /08
 DATA: 26/06/08

Relatório de Ensaio

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA: **VALORES EM %**

TRAÇO	CP -1	CP -2	CP -3	CP -4	CP -5
PADRÃO	8,58	8,65	9,06	9,93	8,69
PET- AR - 10	9,73	9,20	9,49	9,18	9,06
PET- AR - 20	9,54	9,69	9,74	9,15	9,75
PET- AR - 30	13,58	11,82	11,00	10,47	12,93
PET- AR - 40	17,73	14,93	15,15	15,25	15,90
PET- FI - 01	5,46	5,76	6,03	6,29	7,08
PET- FI - 02	5,88	6,55	7,20	6,55	5,99
PET- FI - 03	8,88	6,28	9,85	10,29	9,23
PET- FI - 04	10,16	9,86	9,98	10,44	10,00
PET- FL - 10	8,01	5,01	5,45	8,75	7,50
PET- FL - 20	9,86	8,57	8,92	7,96	8,00
PET- FL - 30	8,33	9,10	9,20	9,20	8,91
PET- FL - 40	9,11	9,75	9,60	10,16	10,27

Informacoes Complementares:

- Os resultados dos ensaios tem seu valor restrito as amostras ensaiadas moldadas em laboratorio.

Eng. Alexandre José Erbs
 CREA/SC: 057098-5

TESTECON LTDA - ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto - Blumenau - SC | CEP: 89031-140
 CNPJ: 09.415.971/0001-77 | CREA/SC: 87.266-2
 Tel: 47 3323-0603 / 9941-9777 / 9917-6350



Blumenau, 29 de abril de 2008.

RELATÓRIO ENSAIOS LABORATORIAIS:

CLIENTE: ENG. NEILSON LUIZ RIBEIRO MODRO

Relatório nº: 131/08

PROCEDENCIA: TESE DE MESTRADO

Prezados Senhores

Este relatório apresenta os resultados do ensaio de determinação de Peso Específico Real, realizado de acordo com as normas: NBR 9776 / NBR NM 52. Materiais analisados:

Pedrisco: Coletada na Pedreira Vale do Selke, situada na Rua Vale do Selke, 1880, no Bairro Texto Salto, Blumenau – SC.

Pó com Pedrisco: Coletada na Pedreira Vale do Selke, situada na Rua Vale do Selke, 1880, no Bairro Texto Salto, Blumenau – SC.

Areia Fina: Coletada na Extração e Comercio de Areia e Brita Beckhauser, situada na Rua Dois de Setembro, 2771, Bairro Itoupava Norte, Blumenau – SC. A Areia Fina é proveniente da cidade de Ilhota, do rio Itajaí Açu.

Areia Média: Coletada na Extração e Comercio de Areia e Brita Beckhauser, situada na Rua Dois de Setembro, 2771, Bairro Itoupava Norte, Blumenau – SC. A Areia Média é proveniente da cidade de Araquari.

PESO ESPECIFICO REAL	
AMOSTRA:	RESULTADO:
Pó com Pedrisco	2,66
Pedrisco	2,68
Areia fina	2,63
Areia Média	2,60

Informações Complementares:

A amostra está com seus devidos resultados, sendo que estes resultados têm seu valor restrito à amostra analisada, sendo a amostra coleta pelo laboratório.

Resp. Técnico:

TESTECON LTDA – ME.

Rua Pelotas, 74, Bairro do Salto, Blumenau – SC | CEP: 89031-140 | CNPJ: 09.415.971/0001-77
Telefone: 47 3323-0603 | 9941-9777 | 9917-6350