

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Caracterização de Areias de Dragagem de Arroio Urbano  
para Avaliação do seu Potencial de Uso como Agregado Miúdo em  
Argamassas.**

**Juliana Young**

Porto Alegre

2010

**JULIANA YOUNG**

**CARACTERIZAÇÃO DE AREIAS DE DRAGAGEM DE ARROIO  
URBANO PARA AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL DE USO COMO  
AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

Porto Alegre

2010

Y681c Young, Juliana

Caracterização de areias de dragagem de arroio urbano para avaliação do seu potencial de uso como agregado miúdo em argamassas / Juliana Young. – 2011.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

Orientador – Prof. Dr. Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da  
Coorientadora – Profa. Dra. Viera, Geilma Lima

1. Areias dragadas. 2. Argamassa - Ensaios. 3. Agregado miúdo – Resíduos. 4. Lixiviação. I. Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da, orient. II. Vieira, Geilma Lima, coorient. III. Título.

CDU-666.972.124(043)

**JULIANA YOUNG**

**CARACTERIZAÇÃO DE AREIAS DE DRAGAGEM DE ARROIO  
URBANO PARA AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL DE USO COMO  
AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 de abril de 2010.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho  
Dr. pela University of Leeds  
Orientador  
Coordenador do PPGEC/ UFRGS

Prof<sup>o</sup>. Geilma Lima Vieira  
Dra pela Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul  
Colaboradora

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)  
Dr. pela University of Sheffield.

Rejane Maria Candiota Tubino (UFRGS)  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Elizabete Ritter (UERJ)  
Dra. pela COPPE/UFRJ.

Sergio Luiz Duarte Zimmermann (DEP/PMPA- Convidado)  
Arquiteto e Urbanista pela UNISINOS.

## **DEDICATÓRIA**

A meus pais Hercules e Hilda (in memoriam)  
que sempre ensinaram o valor do saber. A minha  
filha Raquel, por seu incentivo em todas as vezes  
que pensei em desistir.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente ao professor Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, pela disponibilidade, atenção, paciência, pela orientação dedicada e pelos ensinamentos transmitidos que possibilitaram o desenvolvimento desse trabalho.

Aos bolsistas do LEME, destacando o auxílio dos graduandos Stefane Bonini, Marcelo Argenton, Josué e Marcos Ribeiro e aos doutorandos, em especial ao Alexandre, Luciane e Uziel, que sempre me auxiliaram.

Aos funcionários do LEME, pela paciência e auxílio durante a realização dos ensaios de laboratório.

Ao Laboratório do NORIE, sempre disponível para os ensaios.

Ao LACOR, LACER e CECO, pelo apoio a essa pesquisa. Em especial ao Doutor Antonio Takimi, do LACER, pelo empenho em auxiliar a pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, em especial à professora Ângela Masuero, por seu auxílio e conselhos.

Ao Diretor Geral do DEP Ernesto Teixeira e, em especial, ao Diretor de Obras e Projetos, Arquiteto Sergio Luiz Duarte Zimmermann, pelo apoio.

Ao DMLU, em especial ao Diretor Geral Mario Moncks e ao Engenheiro Eduardo Fleck, por sua colaboração.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão desta etapa importante em minha vida.

## RESUMO

YOUNG, J. Caracterização de Areias de Dragagem de Rios Urbanos para Avaliação do seu Potencial de Uso como Agregado em Argamassas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A destinação adequada do sedimento extraído de corpos de água urbanos, por processos de dragagem, depende da viabilidade de estratégias de destinação sustentáveis, sendo uma delas a utilização deste resíduo na construção civil. Este trabalho tem por objetivo contribuir no estudo de viabilidade da utilização de areias de dragagem, como agregado miúdo para a confecção de argamassas e concretos não estruturais. Neste sentido, buscou-se avaliar a viabilidade de emprego do sedimento dragado do Arroio Dilúvio, localizado em Porto Alegre, como alternativa ao agregado miúdo comercialmente disponível na região. Para tanto, dois grupos de ensaio foram propostos: a) ensaios de caracterização do resíduo (constituição, granulometria, módulo de finura, massa específica, presença de impurezas orgânicas e teor de matéria orgânica, avaliação petrográfica, lixiviação de metais pesados); e b) ensaios de avaliação da qualidade do resíduo como agregado (através da moldagem de corpos de prova de argamassa e realização de testes de resistência mecânica, resistência de aderência, lixiviação de metais pesados e absorção de água). Nos ensaios de caracterização realizados observou-se que o teor de matéria orgânica, determinado por perda ao fogo, ficou abaixo do previsto. Já, os ensaios de contaminação orgânica, apesar de mostrarem resultados parasitológicos e de coliformes positivos, apresentaram parâmetros inferiores aos anteriormente encontrados pelo DMAE. Quanto às argamassas produzida com o resíduo, obteve-se um desempenho mecânico razoável, levemente inferior ao obtido com areia Normal do Rio Tietê e areia comercial do rio Jacuí. Nos ensaios de absorção se observou que a argamassa com areia do Dilúvio tende a mostrar um teor de absorção mais elevado que as demais, o que deve ser levado em conta para fins de análise da durabilidade. Um importante resultado é que os ensaios de lixiviação, que indicam a possibilidade de contaminação ambiental, indicaram que os metais contaminantes da areia ficam encapsulados na argamassa, mesmo após moagem da argamassa. Assim, apesar das restrições quanto à assimetria granulométrica, não há fatores de risco que impeçam a utilização desse agregado, desde que se leve em consideração as suas limitações de uso. O estudo aponta, portanto, para a potencialidade de uso deste material, como agregado alternativo para a construção civil, evitando a necessidade de deposição final do mesmo, que sobrecarrega aterros urbanos. Palavras-chave: Argamassas, areias dragadas, resíduos, lixiviação.

## ABSTRACT

YOUNG, J. Characterization of Dredged Sand from an Urban River to Assess the Possibility of Use as Fine Aggregate in Mortar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The correct disposal of sediment extracted from urban bodies of water for processes of dredging depends on the viability of strategies for sustainable destination, one being the usage of this waste in civil construction. The goal of this paper is to contribute to the study of viability of dredged sand as a fine aggregate in mortar and concrete non-structural. In this sense, we sought to evaluate the feasibility of using the dredged sediment from Dilúvio creek in Porto Alegre as an alternative to fine aggregate, commercially available in the region. Two kinds of tests were performed: a) waste characterization (size, fineness module, specific mass, organic impurities, organic matter content, petrographic evaluation, leaching of heavy metals) and b) tests of residue quality as aggregate (through the molding of test specimens of mortar and tests of strength, bond strength, leaching of heavy metals and water absorption). In the characterization tests, it was observed that the organic matter content, determined by loss on ignition, was below expectations. On the other hand, tests of organic contamination, despite showing parasitologically and coliform positives, proved lower parameters than previously found by DMAE. As for the mortars produced with the residue obtained a reasonable mechanical performance, slightly lower than those with normal sand of Tietê River and commercial sand of Jacuí River. In absorption tests it was observed that the mortar with sand of Dilúvio tends to show a level of absorption higher than the others, which must be taken into account for purposes of durability analysis. An important result is that the leaching tests that indicate the possibility of environmental contamination, indicated that the metal contaminants are encapsulated in the sand mortar, even after grinding mortar. Thus, despite the restrictions on the particle size asymmetry, there are no risk factors that preclude the use of this aggregate, since it takes considerate the limitations of use. The study therefore point to the potential use of this material as an alternative aggregate for civil construction, avoiding the need for final disposal of the same that overloads the urban landfills.

Keywords: mortar, dredging sand, waste, leaching

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 Contextualização e Justificativa do Tema .....	18
1.2 Delimitação e Limitações da Proposta de Pesquisa .....	19
1.3 Objetivos .....	20
1.4 Organização do Trabalho .....	21
<b>2. REVISÃO TEÓRICA .....</b>	<b>24</b>
2.1 Operações de Dragagem .....	24
2.2 Disposição dos Resíduos de Dragagem .....	27
2.3 O Desafio da Dragagem nos Tempos Modernos .....	29
2.4 Aproveitamento de Resíduos como Agregados na Construção Civil .....	32
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ARROIO DILÚVIO .....</b>	<b>38</b>
3.1 Histórico .....	38
3.2 Características da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio .....	42
3.3 Geologia .....	43
3.4 Formação de Sedimentos .....	46
<b>4. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>49</b>
4.1 Descrição dos Ensaios .....	56
4.1.1 Distribuição Granulométrica .....	58
4.1.2 Características Morfológicas dos Grãos .....	59
4.1.3 Dimensão Máxima Característica .....	60
4.1.4 Massa Específica .....	60
4.1.5 Módulo de Finura .....	60
4.1.6 Ensaio de Inchamento .....	60
4.1.7 Ensaio de Porosidade da areia .....	61

4.1.8 Difractometria de Raios-X .....	61
4.1.9 Análise de Fluorescência .....	62
4.1.10 Análise de Risco Ambiental: Ensaio de Lixiviação .....	62
4.1.11 Ensaio de Absorção por Imersão e por Capilaridade .....	64
4.1.12 Ensaio de Porosimetria .....	65
4.1.13 Ensaio de Caracterização Mecânica: Resistência à Compressão Axial .....	66
4.1.14 Ensaio de Caracterização Mecânica: Resistência à Tração na Flexão .....	67
4.1.15 Ensaio de Caracterização Mecânica: Resistência de Aderência .....	68
4.2 Argamassa .....	69
4.2.1 Confeção da Argamassa .....	70
4.2.2 Moldagem e cura dos corpos de prova .....	71
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA .....</b>	<b>73</b>
5.1 Cimento .....	73
5.2 Cal .....	73
5.3 Água .....	74
5.4 Agregados de Referência .....	74
5.4.1 Areia do Jacuí .....	74
5.4.2 Areia Normal (Areia do Tietê) .....	75
5.5 Caracterização das areias de dragagem do arroio Dilúvio .....	76
5.5.1 Amostras D1 a D3 .....	76
5.5.2 Amostras D4 .....	77
5.5.3 Amostra D5 .....	78
5.5.4 Amostra D6 .....	79
5.5.5 Amostra D7 .....	81
5.5.6 Amostra D8 .....	82
5.5.7 Amostra D9 .....	82
5.5.8 Amostra D10 .....	84
5.5.9 Amostra D11 .....	86
5.6 Caracterização das argamassas confeccionadas com as areias de dragagem (D5, D6, D7, D9, D10 E D11).....	90
5.6.1 Argamassa com a areia D5 .....	90

5.6.2 Argamassa com as areias D6 e D7 .....	91
5.6.2.1 Resultados das Propriedades Mecânicas .....	91
5.6.2.2 Resultados dos Ensaio de Difração de Raios-X .....	93
5.6.2.3 Resultados dos Ensaio de Fluorescência .....	93
5.6.3 Argamassas com a areia D9, D10 e D11 .....	94
5.6.3.1 Resultados das Propriedades Mecânicas .....	94
5.6.3.2 Resultado do Ensaio de Lixiviação .....	96
5.6.3.3 Resultados da Morfologia dos Grãos .....	96
5.6.3.4 Resultados da Porosimetria das Argamassas com areia D9, D10 e D11.....	100
5.6.3.5 Resultados da Absorção de Água por Capilaridade das Argamassas com areia D6, D9, D10 e D11 .....	100
<b>6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>101</b>
6.1 Resistência à compressão axial simples das argamassas com areia D5 .....	101
6.2 Resistência à compressão axial das argamassas com sedimento dragado (D6, D7, D9, D10 E D11) .....	103
6.3 Resistência à tração na flexão das argamassas com sedimento dragado (D6, D7, D9, D10 E D11) .....	105
6.4 Resistência à aderência .....	106
6.5 Absorção por imersão em água .....	112
6.6 Absorção de água por capilaridade .....	114
<b>7. VIABILIDADE DO EMPREGO DAS AREIAS DE DRAGAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>117</b>
7.1 Análise Ambiental .....	117
7.1.1 Análise da Contaminação Biológica .....	117
7.1.2 Análise da Contaminação por Metais .....	118
7.2 Análise da Viabilidade Econômica .....	119
7.3 Viabilidade de Uso .....	121
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>124</b>

<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>126</b>
9.1 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	127
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRÁFIA CONSULTADA .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>139</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Organograma do Programa de Pesquisa .....	22
Figura 2.1 (a): Dragagem tipo caçamba de mandíbula em operação a serviço do DEP.....	25
Figura 2.1 (b): Dragagem tipo dragline em operação na foz do Dilúvio a serviço do DEP.....	25
Figura 2.2: Dragagem Hidráulica de Sucção .....	26
Figura 3.1: Imagem de satélite do percurso do arroio Dilúvio .....	38
Figura 3.2: : Arroio Dilúvio antes da conclusão das obras de retificação em meados de 1950, trecho contornando a rua da República .....	39
Figura 3.3: Arroio Dilúvio antes das obras de retificação em meados de 1950 : Antiga rua da Margem .....	40
Figura 3.4 (a) Ponte da Av. João Pessoa durante obras de retificação .....	41
Figura 3.4 (b) Ponte da Av. João Pessoa após as obras de retificação .....	41
Figura 3.5: Barragem da Lomba do Sabão, região do anel de nascentes do arroio .....	42
Figura 3.6: Dilúvio, palmeiras plantadas sobre a ponte da Av. João Pessoa viraram atração turística da cidade .....	43
Figura 3.7: Esquema da morfologia e localização da crista de Porto Alegre .....	44
Figura 3.8: Aspecto do terreno na região do anel de nascentes do Arroio Dilúvio .....	44
Figura 3.9: Sedimento na borda do arroio para secagem e posterior transporte .....	47
Figura 3.10: Dragagem recolhendo o sedimento acumulado na borda do arroio .....	47
Figura 4.1 Regiões diferenciadas conforme grau de impacto antrópico .....	50
Figura 4.2(a): Quarteamento manual da areia do Dilúvio na coleta .....	52
Figura 4.2(b): Recipiente usado para transporte da areia do Dilúvio .....	52
Figura 4.3: Aterro de Inertes na Serraria: contraste na cor do sedimento conforme o tempo de deposição: sedimento mais recente com forte tonalidade escura .....	53
Figura 4.4: Secagem do sedimento sobre lona .....	54
Figura 4.5: Caixas para secagem do resíduo .....	55
Figura 4.6: Série de peneiras utilizadas no ensaio de distribuição granulométrica .....	59
Figura 4.7: Difrator de raios-x .....	61

Figura 4.8: Ensaio do monólito conforme norma NEN 7345 .....	62
Figura 4.9: Amostra de extrato lixiviado sendo filtrada .....	63
Figura 4.10 - Corpos de prova em ensaio de absorção por capilaridade .....	65
Figura 4.11: Corpos- de- prova cilíndricos submetidos à compressão axial .....	66
Figura 4.12: Corpos-de-prova prismáticos submetidos à compressão axial .....	67
Figura 4.13: Corpos de prova prismáticos submetidos à tração na flexão .....	68
Figura 4.14: Ensaio de Aderência .....	69
Figura 4.15: Argamassadeira .....	70
Figura 4.16: Moldagem dos corpos de prova cilíndricos .....	71
Figura 5.1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo natural .....	75
Figura 5.2: Distribuição granulométrica do agregado miúdo normal (Tietê) .....	76
Figura 5.3: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D4 (DMAE) .....	77
Figura 5.4 (a): Coleta do sedimento .....	78
Figura 5.4 (b): Características da areia Dilúvio após higienização .....	78
Figura 5.5: Distribuição granulométrica do agregado miúdo D5 .....	79
Figura 5.6: Visualização do aspecto do sedimento na coleta da amostra D6 .....	80
Figura 5.7: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D6 .....	80
Figura 5.8: Aspecto da areia no local de coleta (amostra D7) .....	81
Figura 5.9: Distribuição granulométrica do agregado miúdo D7 .....	81
Figura 5.10: Distribuição granulométrica do agregado miúdo D9 .....	82
Figura 5.11: Foz do arroio, coleta D9 .....	83
Figura 5.12: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D9 .....	84
Figura 5.13: Aspecto do sedimento no local da coleta da amostra D10 .....	84
Figura 5.14: Distribuição granulométrica do agregado miúdo D10 .....	85
Figura 5.15: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D10 .....	86
Figura 5.16: Local de coleta da amostra D11 .....	86
Figura 5.17: Distribuição granulométrica do agregado miúdo D11 .....	87

Figura 5.18: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D11 .....	88
Figura 5.19: Textura superficial apresentada pela areia D9 .....	97
Figura 5.20: Textura superficial apresentada pela areia D10 .....	97
Figura 5.21: Textura superficial apresentada pela areia D11 .....	98
Figura 5.22: Exemplos de textura superficial .....	98
Figura 5.23: Gráfico representando o arredondamento dos grãos .....	99
Figura 5.24: Gráfico representando a tendência de esfericidade dos grãos .....	99
Figura 6.1: Gráfico de Resistência à compressão simples de CP's, com diferentes teores de substituição de agregado miúdo, para traço 1:1,5 .....	101
Figura 6.2 (a): Gráfico de Resistência à compressão simples de CP's, com diferentes teores de substituição de agregado miúdo, para traço 1:3 .....	102
Figura 6.2 (b): Gráfico de Resistência à compressão simples de CP's, com diferentes teores de substituição de agregado miúdo, para traço 1:4,5 .....	102
Figura 6.3: Gráfico percentual de resistência média a compressão axial aos 7 dias de cura .....	103
Figura 6.4: Gráfico percentual de resistência média a compressão axial aos 28 dias de cura .....	104
Figura 6.5: Gráfico percentual de resistência média a tração na flexão axial aos 7 dias de cura .....	105
Figura 6.6: Gráfico percentual de resistência média a tração na flexão axial aos 28 dias de cura .....	106
Figura 6.7: Resistência à aderência apresentada pelas juntas dos prismas com D9, D10, D11 e referência (Jacuí) aos 7 dias .....	107
Figura 6.8: Resistência à aderência apresentada pelas juntas dos prismas com D9, D10, D11 e referência (Jacuí) aos 28 dias .....	107
Figura 6.9: Aspecto do bloco cerâmico após o ensaio de aderência das juntas .....	108
Figura 6.10: Aspecto do bloco cerâmico após o ensaio de aderência das juntas com mesma argamassa da figura anterior .....	108
Figura 6.11: Irregularidades do bloco cerâmico com imperfeições na sua composição ..	109
Figura 6.12: Ensaio de aderência das juntas em andamento .....	110
Figura 6.13: Resistência de aderência das três juntas ensaiadas aos 7 dias .....	111
Figura 6.14: Resistência de aderência das três juntas ensaiadas aos 28 dias .....	111

Figura 6.15: Gráfico de Absorção de água de argamassas para o traço 1:1,5 .....	113
Figura 6.16: Gráfico de Absorção de água de argamassas para o traço 1:3 .....	113
Figura 6.17: Gráfico de Absorção de água de argamassas para o traço 1:4,5 .....	114
Figura 6.18: Absorção de Água Média das Argamassas com as Areias Dilúvio, Jacuí e Tietê .....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Amostras e locais de coleta ....	51
Tabela 4.2: Relação de ensaios realizados para as amostras de sedimento .....	57
Tabela 4.3: Relação de ensaios realizados para os corpos de prova de argamassa com o sedimento .....	58
Tabela 5.1 – Classificação das areias .....	74
Tabela 5.2: Quadro resumo das características físicas das areias .....	82
Tabela 5.3: Quadro resumo das análises biológicas .....	89
Tabela 5.4: Valores obtidos no calculo dos coeficientes de uniformidade e de curvatura..	89
Tabela 5.5: Valores médios de resistência à compressão obtidos para a amostra D5.....	91
Tabela 5.6: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial.....	91
Tabela 5.7: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão.....	92
Tabela 5.8: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial .....	92
Tabela 5.9: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão .....	92
Tabela 5.10: Resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X .....	93
Tabela 5.11: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial .....	94
Tabela 5.12: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão .....	94
Tabela 5.13: Resultados dos ensaios de resistência de aderência aos 7 dias .....	95
Tabela 5.14: Resultados dos ensaios de resistência de aderência aos 28 dias .....	95
Tabela 5.15: Quadro comparativo de metais em extrato lixiviado .....	96
Tabela 5.16: Valores obtidos para absorção de água ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) .....	100
Tabela 7.1: Possibilidades de uso e restrições .....	122

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AMN	Agregado Miúdo Natural
CP	Corpo-de-prova
DEP	Departamento de Esgotos Pluviais
DMAE	Departamento Municipal de água e Esgoto
DMLU	Departamento Municipal de Limpeza Urbana
Dn	Agregado Miúdo Arroio Dilúvio coletado, numeração em ordem cronológica
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
ND	Não detectado
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
PCB	Bifenilos policlorados
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral

## LISTA DE SÍMBOLOS

PPM	Partes por milhão
NMP	Número mais provável de organismos
MPa	Megapascal
T	Tonelada
mm	Milímetro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
kg/dm <sup>3</sup>	Quilograma por decímetro cúbico
mg	Miligrama
kg	Quilograma
°C	Grau centígrado
min	Minutos
H	Horas
a/c	Relação água / cimento
%	Porcentagem
	0 % Areia Dilúvio
	50 % Areia Dilúvio
	100 % Areia Dilúvio
	Areia Dilúvio (D6, D7, D9, D10, D11)
	Areia Jacuí
	Areia Tietê

## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, se descreve o estudo, ressaltando a relevância do tema de pesquisa proposto. Primeiramente, fez-se a contextualização, que auxilia a justificar a escolha do tema. Em seguida, apresentam-se os objetivos estabelecidos e a estrutura de trabalho adotada.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA

Os rios e arroios urbanos se constituem, freqüentemente, em pontos de despejo de esgotos não tratados e de deposição dos mais variados resíduos sólidos, o que compromete sua vazão. O problema é agravado, em muitas cidades, pela destruição da mata ciliar, o que causa o assoreamento das margens destes corpos d'água, com conseqüente deposição dos sedimentos no fundo do seu leito. O assoreamento progressivo acarreta vários efeitos indesejados, tais como a elevação do nível d'água, a redução do calado de navegação e o incremento da incidência de enchentes, quando ocorrem chuvas intensas. O controle da sedimentação exige dragagem, que, normalmente, é usada para reduzir o risco de inundações, permitir a navegação ou afastar riscos sanitários ou ecológicos, tal como explicam Romero (1999) e Fontana (1997) apud Capilla et al (2006).

Ou seja, na tentativa de minimizar os problemas ambientais, o sedimento depositado no fundo dos corpos de água acaba sendo dragado, a fim de se recuperar o leito natural do rio. O material extraído, normalmente com contaminação biológica e teores de metais pesados acima do recomendado, é freqüentemente disposto de forma inadequada, trazendo prejuízos ambientais. Mesmo quando armazenado de forma adequada, sua disposição demanda grande área física e implica em um considerável dispêndio de recursos financeiros e energéticos. De acordo com Capilla et al (2006), os seis milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos dragados anualmente por vias navegáveis interiores da França, são dispostos na proporção de 70% em depósitos (na água ou terra), 10% utilizados para obras públicas, 7% disseminados em terras agrícolas e 3% em montes e diversos processos de aterro. As plantas podem desempenhar importante papel na disposição desse material contaminado, através de diferentes fenômenos como a fixação e adsorção de substâncias em seu sistema de raízes, ou pela dissolução de poluentes pela mudança de pH a nível rizosférico ou por mudanças físico-químicas causadas nos sedimentos, como descrevem Adriano et al. (2004) apud Capilla et al (2006).

Se, por um lado, areias dragadas acabam se tornando um passivo ambiental, por outro lado a exploração de areias naturais, importantes insumos minerais para obras de engenharia, tem recebido críticas e sofrido restrições, devido a preocupações com a alteração de habitats e erosão de terrenos.

A grande possibilidade de impactos ambientais relacionados à extração de grandes e crescentes quantidades de areia de corpos d'água, como tem sido hábito em muitas cidades brasileiras, fez com que entidades ambientais, tais como a SEMA/FEPAM, no Rio Grande do Sul, tornassem o licenciamento dessa atividade mais rigoroso, com fiscalização austera e medidas para mitigação do impacto.

Neste contexto, surge a necessidade de buscar soluções que auxiliem a manter o ritmo da construção, atividade fundamental para o país, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os danos ambientais. O uso da areia de dragagem urbana, apesar dos eventuais problemas de contaminação e composição granulométrica, pode, em tese, contribuir para mitigar o problema, ao substituir o agregado natural e oferecer uma alternativa de disposição final correta e econômica para este sedimento. Verificar a viabilidade deste tipo de uso foi a principal motivação para o desenvolvimento desta dissertação.

## 1.2 DELIMITAÇÃO E LIMITAÇÕES DA PROPOSTA DE PESQUISA

A preocupação principal da presente pesquisa, como discutido no item anterior, é verificar a possibilidade de oferecer um destino ambientalmente correto para o sedimento dragado urbano. A idéia é utilizar o mesmo em substituição à areia dragada comercial. Para tanto é fundamental assegurar que os contaminantes do resíduo retirado nas operações de dragagem de manutenção de rios urbanos não afetem os usuários das edificações, ao mesmo tempo em que se garanta uma qualidade e desempenho adequado ao produto final, que pode tomar a forma de argamassa ou outros produtos. Além disto, é fundamental assegurar que o uso seja economicamente viável.

Apesar de este assunto afetar a maior parte dos países, as pesquisas científicas acerca deste tema ainda estão em fase inicial. A grande maioria dos estudos efetuados não tem preocupação com o aproveitamento futuro do resíduo, estando focada somente na busca de tecnologias para sua descontaminação ou encapsulamento.

O estudo das características dos sedimentos retirados do arroio dilúvio na forma natural e como elemento constituinte de uma argamassa começa a romper esta barreira, pensando em uma destinação economicamente viável.

Cabe destacar que as peculiaridades de cada bacia hidrográfica fazem com que os resíduos de cada corpo de água urbano tenham características próprias. Desta forma, a extensão dos resultados para outros arroios deve ser efetuada com cuidado. Na verdade, a variação das características do agregado pode ser observada na própria bacia hidrográfica em estudo. Verificou-se uma grande modificação do resíduo, da foz até a região mais próxima à nascente, fato que era esperado pela ação geológica. No entanto, alguns aspectos associados à granulometria e padrão de contaminação da areia evidenciam influência clara de certas atividades específicas, desenvolvidas em diferentes pontos ao longo do arroio. As modificações no resíduo, resultantes destas atividades antrópica desuniformes, são limitações para propor-se a utilização desse resíduo em grande escala.

Dado o padrão atual de dragagem, só foi possível coletar amostras de alguns pontos específicos, nos quais havia atividade naquele instante. Desta forma, houve uma distribuição temporal na realização dos ensaios de caracterização, que pode ter ocasionado algum ruído nos resultados.

Apesar das limitações, o estudo piloto levado a efeito se mostra relevante para o caso de Porto Alegre e serve como referência para outras cidades.

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal *contribuir com a avaliação da viabilidade técnica e econômica da utilização da areia proveniente das operações de dragagem de manutenção de rios urbanos na construção civil*. O mesmo se foca no estudo do caso específico do arroio Dilúvio, localizado na cidade de Porto Alegre.

Definiram-se, ainda, como objetivos específicos deste trabalho:

- Caracterização dos resíduos de dragagem do arroio Dilúvio em Porto Alegre, particularmente a fração areia, quanto à contaminação orgânica e química;
- Avaliar o risco ambiental, através do controle de parâmetros indicativos de contaminações químicas e orgânicas, antes e após a incorporação em argamassas;

- Analisar o comportamento desse resíduo ao ser incorporado em argamassas, com e sem a adição de cal, principalmente quanto ao comportamento mecânico (através de ensaios de resistência à compressão axial, à tração na flexão e da resistência de aderência das juntas) e à durabilidade, considerando-se os resultados dos ensaios de absorção por imersão, por capilaridade e porosimetria por intrusão de mercúrio;
- Com base na caracterização do resíduo, traçar diretrizes para o aproveitamento do mesmo, ou de resíduos semelhantes provenientes de outros rios ou arroios urbanos,
- Avaliar a potencialidade do uso do resíduo na construção civil, com base nos resultados de desempenho mecânico, durabilidade e risco ambiental.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente pesquisa foi estruturada em nove capítulos. O capítulo 1 apresenta o tema da pesquisa, discute sua relevância e esboça a proposta e os objetivos da pesquisa. Já, o capítulo 2, apresenta o resultado da revisão da bibliografia acerca do tema da pesquisa, contendo, ainda, uma definição dos conceitos básicos referentes a operações de dragagem e questões ligadas à situação ambiental.

No capítulo 3 faz-se o reconhecimento da bacia hidrográfica em estudo, sua geologia e aspectos históricos. No capítulo 4 disserta-se sobre o programa experimental, descrevendo as técnicas e os métodos utilizados em cada etapa da parte experimental do trabalho, com ênfase nos procedimentos dos ensaios que foram empregados nesta pesquisa. Além disso, apresenta uma descrição dos locais de coleta das amostras. A pesquisa foi organizada em três fases, conforme o organograma da pesquisa apresentado na Figura 1.1.

No capítulo 5, são caracterizados os materiais empregados para a moldagem dos corpos-de-prova de argamassa, através dos resultados alcançados na pesquisa. Com base na caracterização do material estudado, verifica-se seu desempenho, ao ser incorporado em argamassas, em comparação aos agregados de referência adotados (areia do Jacuí e areia Normal do Tietê), discutindo-se esses resultados no Capítulo 6.

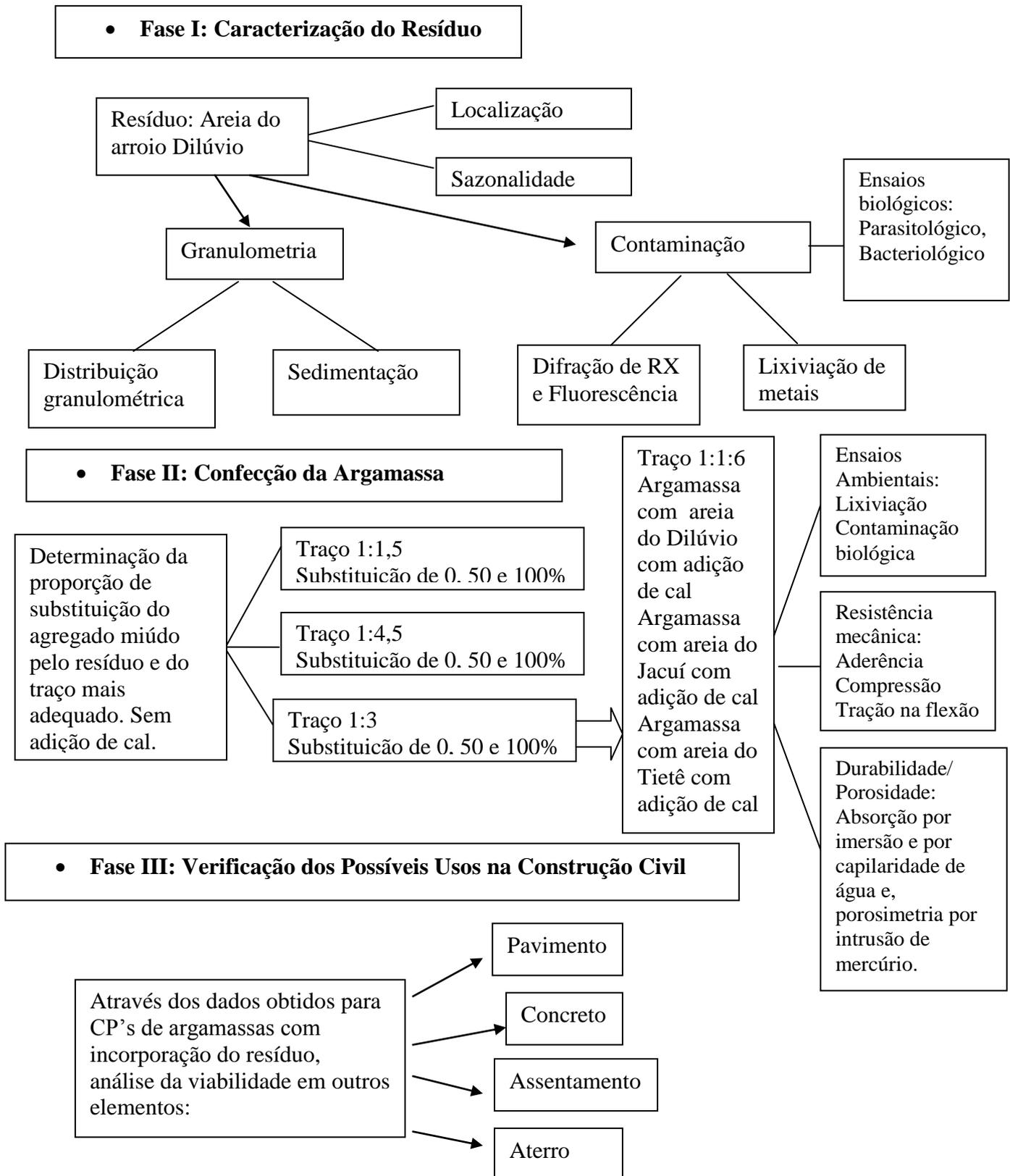


Figura 1.1: Organograma do programa de pesquisa.

No capítulo 7 apresenta-se a análise sobre as questões ambientais e algumas considerações sobre a viabilidade econômica. Ainda, discutem-se alguns possíveis usos do sedimento dentro da construção civil, apresentando-se um quadro resumo, com as possíveis restrições de uso.

No capítulo 8 são documentadas as conclusões da pesquisa e no capítulo 9 esboçam-se as considerações finais sobre o trabalho.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se um apanhado sobre a bibliografia existente a respeito das dragagens e uma breve revisão dos equipamentos utilizados nessas operações, explicando por que as mesmas são necessárias em rios urbanos.

Ainda, discorre-se sobre a questão ambiental, tanto para a mineração da areia utilizada na construção civil, quanto ao aproveitamento de resíduos que tem influência direta sobre a vida útil de aterros sanitários.

### 2.1 OPERAÇÕES DE DRAGAGEM

A atividade de dragagem, em termos amplos, designa o processo de relocação de sedimentos e solos, para fins de construção e manutenção de vias aquáticas, de infra-estrutura de transporte, de aterros e de recuperação de solos ou de mineração. É um meio de combater os efeitos provocados pela drenagem da bacia hidrográfica que, nos períodos de maior precipitação pluviométrica, carrega o material sólido para dentro do leito do rio.

Alguns historiadores relatam que a dragagem é uma arte muito antiga (MOUNTFORD, 2000). Vestígios do trabalho humano envolvendo técnicas primitivas de dragagem foram encontrados em muitos locais. Conforme o mesmo autor, os romanos já utilizavam técnicas de dragagem, sendo exemplificada por uma embarcação que continha em sua parte frontal uma espécie de colher, que servia para desprender os sedimentos que, eram coletados e armazenados por uma “bolsa” presa na parte traseira. As técnicas de dragagem foram sendo aperfeiçoadas ao longo do tempo, resultando na criação de equipamentos especializados para este tipo de atividade.

Aliás, no sentido mais particular, o termo dragagem é, por definição, associado à realização de uma escavação ou remoção de solo ou rochas do fundo de rios, lagos, e outros corpos d’água, através de equipamentos denominados “dragas”.

Uma draga se constitui em uma embarcação ou plataforma flutuante, equipada com os mecanismos necessários para se efetuar a remoção do material depositado no leito do rio. As dragas mecânicas têm funcionamento semelhante aos equipamentos utilizados em terraplanagem, sendo classificadas em: caçamba de mandíbulas (grab dredges), escavadeiras frontais (dipper dredges), retroescavadeiras (hoes), pás de arrasto (draglines) e dragas de

alcatruzes (bucket dredges). Na Figura 2.1 pode-se observar (a) uma draga de mandíbulas e (b) uma pá de arrasto em funcionamento.

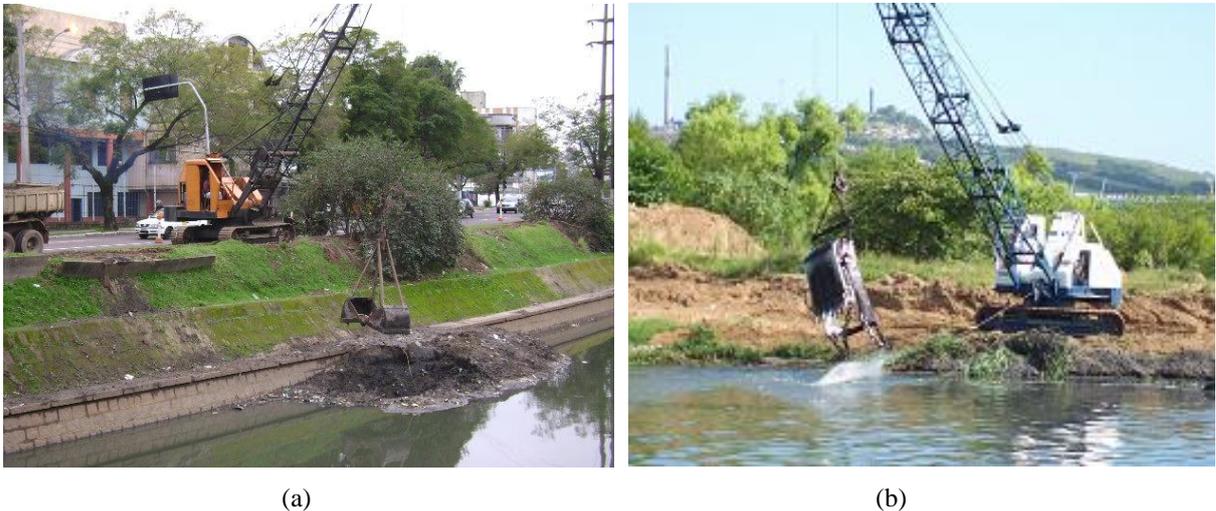


Figura 2.1: Dragas a serviço do DEP, (a) dragas tipo caçamba de mandíbula, na av. Ipiranga e, (b) dragas tipo dragline, na foz do arroio Dilúvio.

As dragas de caçamba e de alcatruzes são dragas que dispõem de uma corrente com caçambas que trazem o material de fundo. A dragline é composta por uma caçamba de aço suspensa à ponta de um cabo flexível, ligado a um guindaste móvel. A pá é lançada para frente por movimento circular do guindaste e, após “morder” o solo, é içada pelo cabo, em direção ao guindaste, escavando o solo que se deseja remover.

Com relação às condições da área a dragar, deve ser examinado o acesso da draga ao local da operação, sendo verificada a necessidade da remoção prévia de obstáculos e detritos existentes. Ocorre que algumas operações de dragagem têm que ser executadas com equipamentos por vezes inadequados, em função da indisponibilidade do equipamento nos locais onde será executado o serviço. De acordo com Goes (2004) o equipamento mais indicado para a limpeza da área e para retirada dos entulhos é a caçamba de mandíbula.

Os equipamentos hidráulicos, tipo draga de sucção (Figura 2.2) e recalque e draga autotransportadora de arrasto têm as bombas de dragagem como ferramenta principal, tanto para remover o material escavado, como para bombeá-lo através de tubulações flutuantes ou

para as cisternas situadas na própria draga (no caso das dragas autotransportadoras). Essas dragas têm tecnologia mais recente, sendo mais eficientes, versáteis e econômicas que as dragas mecânicas. As dragas pneumáticas diferem das anteriores por não utilizar desagregador e promover a sucção do material a ser dragado, por ar comprimido, efetuando dragagens ambientais praticamente sem turbidez de contaminantes. Assim, são utilizadas com excelentes resultados no caso de dragagens que requeiram cuidados ambientais especiais.



Figura 2.2: Draga de sucção. Fonte: <http://www.dragagembrasil.com.br>

Os principais objetivos da dragagem são o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías; a construção de diques e a preparação de fundações para pontes e outras estruturas. A dragagem de mineração tem utilização específica, sendo destinada à extração de minerais com valor econômico, como agregados para a construção civil, extração de ouro e diamantes de aluviões fluviais. O processo de dragagem também é utilizado para a exploração de depósitos minerais, diamantes e recursos marinhos de valor comercial, tais como alguns tipos de moluscos, conforme a Compton's Encyclopedia (1998) apud Torres (2000).

Segundo Bray et al. (1997), o processo de dragagem, para fins de manutenção de calado, se divide em dois estágios básicos, que são: a dragagem inicial, na qual é formado o canal artificial, com a retirada de material virgem; e as dragagens de manutenção, para a retirada de material sedimentar depositado recentemente, com a finalidade de manter a profundidade do canal, o que propicia a movimentação de embarcações de vários tamanhos, em portos e

marinas. Essa dragagem tem maior eficácia durante os períodos de estiagem, e tem vida útil curta, pois a própria falta de coesão entre as partículas do leito, e seu movimento, prejudica a estabilidade do canal e torna necessárias operações periódicas de dragagem de manutenção.

As operações de dragagem de riachos urbanos, para retirada de material de assoreamento, se enquadram, genericamente, na categoria de dragagem de manutenção, pois é a forma que os municípios encontram para evitar problemas de transbordamento das águas da chuva para fora do canal dos arroios, alagando ruas e casas e provocando sérios transtornos para o tecido urbano.

Outro tipo de dragagem, que está se disseminando em muitas partes do mundo é a “dragagem ambiental”, a qual procura remover uma camada superficial de sedimento contaminado por compostos orgânicos e inorgânicos, sem que haja a re-suspensão destes contaminantes (GE STUDY REPORT, 1998). A dragagem ambiental busca propiciar a remoção cuidadosa do material contaminado, sendo constantemente associada a um programa de tratamento, reutilização ou relocação do mesmo. Normalmente, é realizada para volumes reduzidos de dragagem e é utilizada para remediar uma situação adversa de passivo ambiental.

## 2.2 DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE DRAGAGEM

Durante séculos os resíduos de dragagem foram dispostos de forma aleatória, em locais onde, muitas vezes, prejudicavam seriamente o meio ambiente, sem que houvesse nenhum questionamento maior com este aspecto (VELLINGA, 1998).

A partir da década de 70, as preocupações ambientais fizeram com que houvesse uma mudança de postura em relação a este resíduo. Novos meios de disposição foram estudados, mais comprometidos com o meio ambiente. Das formas de destinação final, as mais comuns encontradas, conforme estudado por Goes (2004) são: disposição em corpos hídricos abertos, disposição em locais confinados, tratamento, e uso benéfico.

A disposição sem restrição, em corpos hídricos abertos, segundo Castiglia (2006), consiste na liberação do material dragado em oceanos, estuários, rios e lagos, sem isolamento do mesmo das águas adjacentes durante o processo, ou seja, sem utilização de qualquer técnica ou medida de controle. Geralmente, aplica-se à deposição de material limpo ou moderadamente

contaminado. Essa forma de disposição foi objeto de pesquisas, que buscaram determinar a melhor forma de acondicionamento.

A disposição em locais confinados implica algumas técnicas de controle como, por exemplo, a utilização do capeamento e do confinamento dos sedimentos, circundando a área de disposição e isolando o material contaminado das águas ao redor e do solo, durante e depois de efetuada a disposição.

Segundo Goes (2004), o tratamento é um meio de processar o material dragado contaminado, com o intuito de reduzir a concentração dos contaminantes, enquadrando o mesmo nos limites de aceitação. São bastante variadas as formas de tratamento, que utilizam, desde técnicas de separação, à incineração. O tratamento de sedimentos contaminados se tornou uma opção séria apenas recentemente, após mudanças na legislação de controle da disposição livre em mar e terra. Antes, este processo era considerado extremamente dispendioso e inviável.

O uso benéfico, conforme Goes (2004) é um conceito moderno em que o material dragado é considerado como um recurso natural valioso, e não mais como um resíduo inútil, a ser descartado. Entende-se como uso benéfico qualquer utilização que não considere o material a ser dragado como lixo. Essa nova alternativa é muito atraente sob o ponto de vista ambiental, despertando a perspectiva de reutilizar este material.

No caso da reutilização deste sedimento, Krauser e McDonell (2000) afirmam que há a necessidade de um manejo prévio do material, incluindo a secagem do sedimento numa bacia de contenção e adoção de técnicas de separação de material. Tais desafios devem ser atingidos em ordem de se desenvolver projetos de reutilização eficientes e rentáveis.

Após se lidar com as questões de manejo, outro desafio é identificar e aplicar a tecnologia de reutilização mais adequada para determinada aplicação. As tecnologias de utilização variam desde as simples (mistura, secagem), até as mais complexas (vitrificação em alta temperatura), dependem do grau de contaminação e características físicas do sedimento.

Segundo Goes (2004), há um interesse crescente na utilização do material dragado como um valioso recurso natural, uma vez que, não somente esse material vem aumentando progressivamente, como o desenvolvimento urbano de áreas vizinhas a regiões marítimas e fluviais permite o uso dos sedimentos em vários tipos de projetos. No caso da construção civil, o sedimento de dragagens pode ser aplicado na criação de aterros e faixas de terra, na

produção de agregados miúdos, na produção de blocos e, também, na fabricação de materiais de construção sintéticos. Os dois primeiros usos já se encontram bastante desenvolvidos, mas os demais ainda demandam maiores estudos, o que constitui o foco deste trabalho.

### 2.3 O DESAFIO DA DRAGAGEM NOS TEMPOS MODERNOS

Atualmente, existe uma consciência mundial de preservação da natureza, em todos os seus aspectos, desde a conservação da matéria prima até uma percepção de preservação do ambiente, de modo que se possa garantir a sobrevivência do homem.

Os conceitos de preservação ambiental englobam várias ações, que buscam a conservação de áreas de mata nativa, rios e espécies em extinção, refletindo em uma melhor qualidade de vida para os seres humanos.

A conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados tem aumentado o interesse no desenvolvimento de maneiras de compreender e minimizar esses impactos. As atividades de impacto ambiental, atualmente, estão sendo profundamente estudadas, verificando-se outras possibilidades de realização das mesmas, de forma menos conflitantes e impactantes ao meio ambiente.

Nessa linha de raciocínio, um dos questionamentos que se faz é: o que será da construção civil sem os recursos naturais, antes tidos como inesgotáveis e renováveis, uma vez que sua exploração, excessiva e indiscriminada, tem causado graves problemas ambientais?

Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo. Conforme o Serviço Geológico Americano (USGS – United States Geological Survey apud VALVERDE, 2001), o consumo anual de bens minerais, por habitante, nos EUA, em 2000, foi da ordem de 10.000 kg. Deste total, cerca de 75% foram destinados para uso, como agregados na construção civil. A areia representa cerca de 4.300kg/hab/ano. Na França, a quantidade de areia consumida gira em torno de 6.500 kg/hab/ano. Já, a média de consumo anual de areia, por habitante, na Europa, como um todo, é estimada em 5.000 a 8.000kg.

Conforme Reis et al. (2006), o consumo de areia, no Brasil, é da ordem de 1,8 t/hab/ano. O consumo no Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país, chega a 4,5 t/hab/ano, enquanto em regiões metropolitanas como, Fortaleza e Salvador, o mesmo não atinge 2

t/hab/ano. Isso demonstra que o consumo de agregados tem clara relação com a renda per capita e com a capacidade de poupar e investir da cidade ou do país.

Conforme matéria publicada pelo SINDUSCON-SP, a areia, matéria-prima necessária na maioria das atividades da construção civil, está se tornando cada vez mais escassa, em São Paulo, e essa é a realidade na maioria dos centros urbanos. Isto traz um forte impacto econômico. Os pontos de extração estão cada dia mais distantes dos locais de uso e o transporte é feito por caminhões, o que encarece o produto.

Para os empreendimentos realizados em Porto Alegre, a situação já começa a se tornar semelhante à vivenciada em outras grandes capitais. A areia usada na construção civil, atualmente, provém de lavras, localizadas no rio Jacuí e seus afluentes, pois todas as licenças expedidas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, para extração no Lago Guaíba, foram canceladas por uma liminar do Tribunal Regional Federal. Isso resulta em um maior custo de transporte que, sem dúvida, termina por ser repassado ao valor final do produto. Atualmente, está em fase de elaboração um EIA-RIMA para retorno das atividades de dragagem no Lago Guaíba.

Além do problema de escassez e do custo cada vez mais elevado, deve-se considerar com cuidado o fato de que a extração de areia provoca vários problemas.

A dragagem de areia pode provocar o solapamento das margens, além de revolver o fundo de rios e lagos, o que acaba gerando graves conflitos, quando a captação de água para abastecimento público e/ou colônias de pescadores situam-se em locais próximos.

Além disto, alguns estudos têm evidenciado que, ao se revolver o fundo na operação de dragagem, em certas regiões, onde os rios são mais poluídos, pode-se afetar a qualidade das águas pela liberação de contaminantes. Conforme Babut et al.(1999) apud Capilla et al., (2006), os contaminantes mais frequentes são, normalmente, metais - cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn), organoclorados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH).

Wang et al. (2008) estudaram o papel do carbonato e da matéria orgânica no comportamento de sorção e desorção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, nos sedimentos do rio Yangtze, na China, visto seu efeito carcinogênico e mutagênico. Conforme esses autores há grande tendência do hidrocarboneto se associar ao material particulado e também aos

depósitos finais de solo, em sedimentos de fundo. Essa tendência deve ser considerada na tomada de decisão sobre a disposição dos sedimentos de dragagem, visto a possibilidade dos hidrocarbonetos estarem adsorvidos ao sedimento e tornarem-se fonte de contaminação nos locais de disposição final desse resíduo.

Estudos realizados através do monitoramento de peixes, em zonas urbanas, pela EPA (2000), comprovam que, após ações de dragagem para manutenção em zonas urbanas, PAH são liberados, causando distúrbios na saúde dos peixes. Segundo esse relatório, são necessárias maiores investigações sobre os resultados da dragagem de reparação sobre a saúde das espécies nativas bentônicas e estudos comparativos, a curto e longo prazo, dos efeitos dos diferentes métodos de dragagem.

Apesar dos danos eventuais, a dragagem é uma operação necessária e freqüente para prover agregados para a construção civil.

Porém, dada a grande demanda por agregados, associada ao potencial de impactos ambientais negativos, cabe estudar formas de produção alternativas ou medidas mitigatórias. Uma delas é a produção de agregado artificial. Outra, abordada neste trabalho, seria o uso da areia de dragagem urbana, proveniente de operações de dragagem de manutenção de trechos de rios e arroios localizados nos centros urbanos.

O uso de resíduos de dragagem se configura como uma alternativa atraente porque, além da quantidade gerada ser considerável, a disposição final dos mesmos se constitui em um problema, pois muitas vezes a areia dragada se encontra bastante contaminada.

Segundo Agostini et al. (2007), todos os anos, são dragados 50 milhões de metros cúbicos, por cinco autoridades portuárias marítimas, em 17 portos comerciais da França, e grandes quantidades desse sedimento estão contaminados. Isto torna impossível o envio deste material para aterros sanitários porque, segundo o autor, desde 2002 foi proibida a disposição de produtos contendo matéria orgânica, água e elementos tóxicos lixiviáveis nestes aterros.

Diante deste quadro, não só a França, mas vários outros países precisam encontrar maneiras de lidar com o sedimento dragado. Para isso estão sendo realizados estudos de processos, para descontaminação do sedimento, cujo escopo é tornar os contaminantes inertes.

Miskewitz et al. (2008) relatam que, desde 1997, mais de seis milhões de metros cúbicos de material de dragagem, retirados dos canais de navegação do porto de Nova York, foram misturados com cimento Portland e utilizados como material de preenchimento e nivelamento, em aterros sanitários e industriais, nos estados de Nova Jersey, Nova York e Pensilvânia. Os resultados foram positivos, mas há estudos que indicam que bifenilos policlorados (PCB) podem ser volatilizados, a partir deste material, quando os mesmo secam.

Kobell (2010) ressalta que o uso para preencher minas abandonadas não se torna econômico, visto a distância para o transporte do material até elas. O autor diz que os cientistas entendem que a maioria dos sedimentos dragados, atualmente, são limpos, o que facilita o uso benéfico, ao contrário de alguns sedimentos dragados no passado, que eram comprovadamente tóxicos, necessitando de processos caros de descontaminação.

Conforme esse autor, vários programas-piloto estão ajudando a encontrar as melhores opções para a reutilização inovadora do material de dragagem. Entre as mais promissoras, estão a utilização do material como agregado leve, materiais de construção, e como base para construção de estradas. Ainda, esse autor relata que Fran Flanigan, que atuou como Diretor Executivo da Aliança da Baía de Chesapeake e no Comitê de Reutilização, alertou para importância do fator econômico, visto que, na Holanda, construíram uma planta para fabricar tijolos do material dragado. No entanto, o custo acabou sendo demasiado para o uso.

No Brasil a preocupação com a disposição dos resíduos de dragagem começa a se intensificar. Até poucos anos atrás as areias retiradas, durante as dragagens de manutenção dos arroios, tinham como destino final aterros sanitários ou aterro de inertes. Neste último tipo, com conseqüências ambientais ainda mais danosas, visto que os sedimentos são dispostos diretamente sobre o solo, sem qualquer controle quanto à contaminação do solo e da água, nem uso de técnicas adequadas para compostagem do material.

#### 2.4 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS COMO AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo “agregados para a construção civil” é empregado, no Brasil, para identificar um segmento do setor mineral, que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada, de emprego imediato na indústria da construção civil. São, basicamente, a areia e a rocha britada.

A NBR 7211 (ABNT, 2005) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, extraídos já fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia, ou agregado miúdo, como a areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Por serem produtos de baixo valor e, constituírem recursos minerais acessíveis à população, a possibilidade de substituição da areia e brita, por outros produtos naturais ou industrializados, é quase nula. Mesmo assim, levando-se em conta a quantidade de agregados utilizados em obras civis, o custo torna-se significativo. Conforme Valverde (2001), levantamentos da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo – FIPE – para o projeto Diretrizes para a Mineração de Areia na Região Metropolitana de São Paulo, constatou que, em auto-construção, uma unidade básica de 35 m<sup>2</sup> consome 21 toneladas de agregados; em habitações populares, uma unidade básica de 50 m<sup>2</sup> consome 68 t; um edifício público de 1.000 m<sup>2</sup>, 1.360 t; escola padrão de 1.120 m<sup>2</sup>, 1.675 t; em pavimentação urbana, um quilômetro de via pública, de 10 m de largura, consome entre 2.000 t a 3.250 t; um quilômetro de estrada vicinal, 2.800 t; uma estrada pavimentada normal, cerca de 9.500t por quilômetro. Dessa forma, mesmo sendo um material relativamente barato, em virtude das questões ambientais e da necessidade das empresas se adequarem à nova realidade, o campo da construção tornou-se um dos mais promissores, no que se refere ao aproveitamento de resíduos.

O reaproveitamento dos resíduos, em processos diversos ou sua recuperação, sob forma de insumos, minimiza a quantidade de "rejeito", ou seja, resíduos sem aproveitamento. Assim, novos tipos de materiais já estão sendo incorporados na construção civil, como o isopor (poliestireno expandido). A disposição final deste material é um problema, pois ocupa muito espaço nos aterros, além de ser de difícil degradabilidade. O isopor tem sido utilizado em substituição à pedra britada, na argamassa leve (mistura de cimento, areia, cola e isopor), podendo ser aplicado na regularização de lajes, painéis pré-fabricados, bancos para ambientes externos, base para montagem de sofás, balcões, camas e quadras de esporte.

A reutilização de pneus usados, em obras de engenharia, pode envolver: construção de muros de gravidade, reforço de aterros, redução de empuxo, proteção de taludes e redistribuição de tensões, sobre dutos enterrados. Dentre outras utilidades pode-se, também, citar: criação de

recifes artificiais, defensas marítimas, barreiras de impacto e encontro de pontes (Long, 1990; Schlosser, 1994). A utilização de pneus usados, na construção de muros de contenção apresenta-se como uma solução que combina eficiência, sob o aspecto mecânico do material em si, baixo custo, ao se comparar com soluções convencionais e, propicia um destino adequado de um resíduo potencialmente prejudicial ao meio ambiente.

Há estudos desenvolvidos com o objetivo de utilizar a cinza de casca de arroz em setores industriais, em especial na indústria da Construção Civil. As pesquisas mostram que o desempenho das cinzas da casca de arroz é comparável ao da sílica ativa, um componente comercial necessário na produção de concretos de alto desempenho, apontando excelente potencial como pozolanas.

De acordo com Tavakoli e Soroushian (1996), uma argamassa ou um concreto confeccionados com resíduos recicláveis, refletirá, em suas características mecânicas finais, as características dos materiais a serem reciclados e o percentual utilizado de cada fração reciclada, que pode vir a determinar o desempenho final do produto pronto.

Estudos feitos por Coimbra et al. (2002), para argamassas com adição de resíduos inorgânicos, provenientes da indústria cerâmica, revelaram que suas propriedades melhoraram, através da presença das fases alumina e metacaulinita. Esses autores concluíram que, após a calcinação, esses materiais podem ser usados, conseguindo-se até um pequeno acréscimo na resistência mecânica. Afirmam, ainda, que os resíduos com características cementantes representam uma atraente classe de materiais para o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas, dado o grande número de aplicações na construção civil, e à falta de conhecimento para o controle das inúmeras variáveis, que regem as características finais deste tipo de material.

Conforme Carneiro et al. (2001), o uso de agregado reciclado, em camadas de pavimentos urbanos tem sido uma das maneiras mais difundidas para o seu fim. O aproveitamento deste resíduo em pavimentação apresenta diversas vantagens, entre elas: a quantidade significativa de material reciclado aproveitado, a simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado, a redução dos custos e o aumento da vida útil de aterros.

Segundo Rocha e Cheriaf (2003), o setor da construção que mais avança e aplica os conceitos de sustentabilidade é o de materiais e componentes da construção. A explicação para este fato se deve à pressão exercida pelos órgãos de controle ambiental, quanto ao manuseio e

destinação adequada dos resíduos gerados, aos altos custos envolvendo a destinação final em aterros controlados e à pressão da população quanto à operação das atividades industriais em perímetros urbanos. Essa mudança alterou o perfil dos cursos universitários e das empresas construtoras, incorporando a consciência emergente sobre a necessidade de se reduzir os desperdícios em obra e de criar novos materiais, mais baratos e menos agressivos ao meio ambiente.

Dessa premissa, abre-se um leque de possibilidades e já existem inúmeras indicações de pesquisas com resíduos, para o seu aproveitamento na construção civil, seja através de sua incorporação ao aglomerante, ou substituição dos agregados.

Nos últimos anos, a necessidade de reciclar os próprios entulhos gerados pela construção, criou a possibilidade de que, parte dos produtos resultantes desse processo, viesse a substituir o agregado natural. É consenso que os resíduos de construção e demolição devem ser minimizados e reaproveitados por razões ambientais, sociais e econômicas.

Pela resolução do CONAMA 307/02 foram traçadas as diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil. Através dessa resolução, os geradores de resíduos da construção civil (RCC) são responsabilizados pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos; e ainda considera a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil. Os países europeus e o Japão, dada a sua densidade demográfica e a exigüidade de espaços para a disposição de resíduos sólidos, possuem políticas mais elaboradas para as questões relacionadas aos detritos. Visto a sua elevada industrialização e carência de recursos naturais, foram os pioneiros no desenvolvimento de esforços para o conhecimento e controle dos resíduos da construção e demolição (RCD).

Segundo Grigoli (2000), os entulhos produzidos podem ser convertidos em material de construção, no próprio canteiro onde foram gerados, podendo ser utilizados em inúmeras etapas e partes físicas da construção. Essa afirmação é corroborada por Pinto (2000), que indica a utilização da reciclagem pelo construtor, de resíduos da própria obra, como sendo economicamente viável e vantajosa, especificamente para o uso de argamassas.

De acordo com Bossink e Brouwers (1996), fatores de projeto, como considerações insuficientes sobre os materiais a serem utilizados, levam ao aumento da quantidade de resíduos na construção. Os autores relatam que a redução dos resíduos da construção enquadra-se na política de sustentabilidade do governo holandês; por isso, a geração de resíduos durante o projeto construtivo tem sido quantificada e analisada em detalhe.

Conforme Pinto (1989), a composição dos resíduos de construção e demolição (RCD), originados em cada atividade, é diferente, para cada país, em função da diversidade de tecnologias construtivas utilizadas. Segundo ele, a madeira, muito presente na construção americana e japonesa, tem presença menos significativa na construção européia e na brasileira. Já, o gesso, é amplamente encontrado na construção americana e européia e só recentemente vem sendo utilizado de forma mais significativa nos maiores centros urbanos brasileiros.

Informações coletadas em algumas localidades dos Estados Unidos (New York, Ohio, entre outras) demonstraram que a quantidade de RCD pode ser tão significativa, quanto as parcelas restantes dos RSU. Segundo Donovan (1991), em levantamento realizado pela Agência de Recursos Naturais de Vermont, no início da década de 90, indicaram uma estimativa de 300 mil toneladas anuais de RCD, enquanto a totalidade dos RSU era estimada em 320 mil toneladas anuais. Segundo Schneider (2003) para uma população de cerca de 140 milhões de pessoas vivendo em meio urbano, pode-se estimar uma geração de 70 milhões de toneladas por ano de RCD. A cidade de São Paulo apresenta uma geração de 16.000 t/dia correspondendo a 499 kg/hab/ano.

Para o Brasil, Pinto (1999), apresenta resultados entre 230 a 760kg/hab.ano, para produção de RCC e considera que a massa de RCC gerada nas cidades, muitas vezes, é igual ou maior do que a massa dos resíduos domiciliares. Nas cidades brasileiras de médio e grande porte, varia entre mais de 45% a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados. A Prefeitura de São Paulo, que gerencia 40% dos RCC, tem uma estimativa de 280kg/hab.ano. Estimativas internacionais sobre a geração de resíduos variam entre 130 e 3.000 kg/hab.ano.

A incorporação da areia de dragagem urbana, como agregado para atividades de construção, em substituição à areia natural de dragagem, oferece uma possibilidade de se estabelecer um processo de reciclagem, que traz benefícios econômicos e ambientais, aliviando os aterros

urbanos. Esta é uma medida que se alinha com as preocupações emergentes de geração de projetos de menor impacto ambiental.

Fiksel (1996) diz que a técnica de projeto voltada para o meio ambiente envolve a consideração sistemática do desempenho do produto, em relação aos objetivos ambientais, de saúde e segurança, ao longo de seu ciclo de vida, buscando a ecoeficiência, ou seja, que haja uma ligação entre eficiência dos recursos (que leva à produtividade e lucratividade) e responsabilidade ambiental. O aproveitamento do resíduo de dragagem pode vir a tornar esse processo ecoeficiente, inclusive reduzindo gastos ao poder público.

Conforme a NBR ISO 14.040 (ABNT, 2001), que trata da gestão ambiental, é importante o estudo do ciclo de vida de cada material para a tomada de decisão sobre seu uso. Ainda hoje, quando se fala em meio ambiente, empresários e administradores imediatamente pensam em custo adicional. Dessa maneira, passam despercebidas oportunidades de negócios ou de redução de custos. Sendo o meio ambiente um potencial de recursos ociosos ou mal aproveitados, sua inclusão no horizonte de negócios pode resultar em atividades que proporcionem lucro ou, pelo menos, se paguem com a poupança de energia, de água ou de outros recursos naturais. Reciclar resíduos é transformá-los em produtos com valor agregado. Para Sachs (1993), é recurso hoje o que não foi recurso ontem; então, por analogia, poderá ser recurso amanhã, o que não foi percebido hoje, enquanto recurso.

Além da redução de custos diretos e indiretos, não se pode deixar de citar a enorme contribuição que o aproveitamento dos resíduos de construção pode trazer para a preservação ambiental e que essa gestão integrada promove grandes benefícios de ordem social, uma vez que a reciclagem é uma forma alternativa de geração de emprego/renda.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ARROIO DILÚVIO

A área de abrangência desse estudo situa-se na bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, em Porto Alegre/RS, cujo curso pode ser observado na Figura 3.1. Segundo o Atlas Ambiental de Porto Alegre (MENEGAT et al, 1998), o Arroio Dilúvio é o mais importante arroio da cidade de Porto Alegre. Sua bacia recebe a contribuição pluvial de mais de 36 bairros, representando uma parcela significativa do sistema de drenagem da cidade.

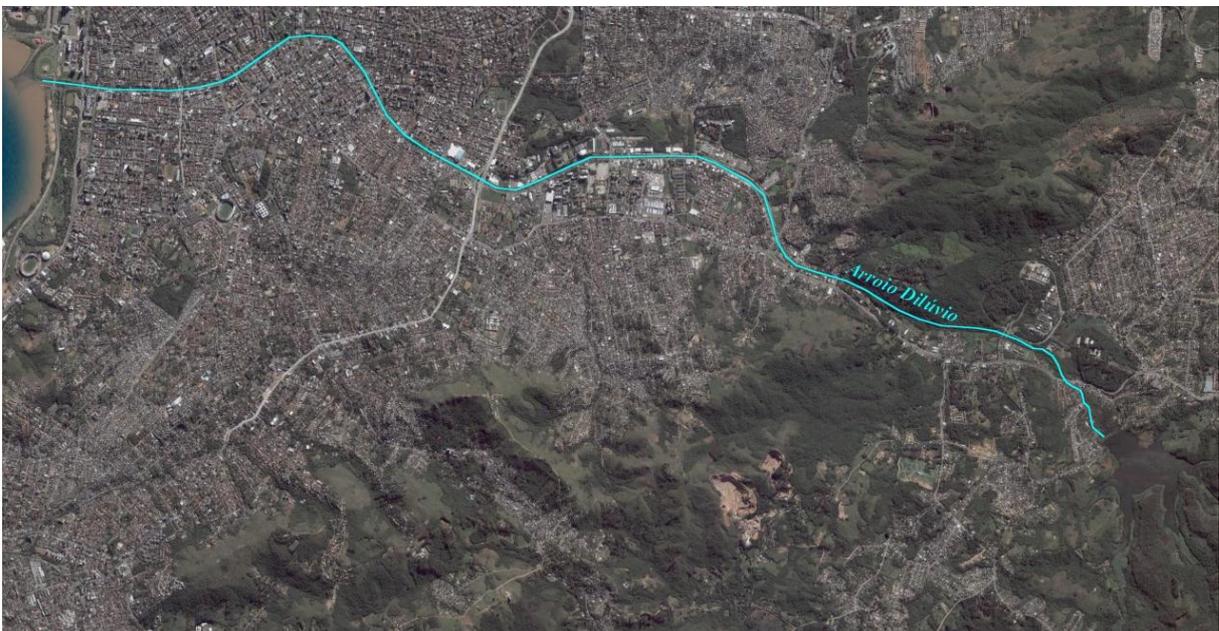


Figura 3.1: Imagem de satélite do percurso do arroio Dilúvio. Fonte: Google Earth

Para melhor entender a dinâmica desse riacho e, a complexidade do seu aporte de sedimentos, precisa-se compreender a sua história, acompanhando como a expansão urbana vem modificando suas características originais e alterando, inclusive, a forma como o porto-alegrense relaciona-se com o arroio.

#### 3.1 HISTÓRICO

O arroio Dilúvio teve grande influência na vida dos porto-alegrenses, representando a alteração ambiental promovida pela urbanização. No curso original, mostrava um canal meandrante, que se abria entre a Crista de Porto Alegre e a Crista da Matriz, em direção ao lago Guaíba.

Na literatura, a primeira referência feita ao arroio aparece numa carta datada de 1740, sendo o mesmo denominado rio Jacareí (Oliveira, 1985). O mesmo servia como um divisor da sesmária de Jerônimo de Ornelas.

O nome atual deste corpo de água se deve às freqüentes inundações que o mesmo provocava, que ocorriam, especialmente, nas imediações dos bairros Azenha e Menino Deus, na confluência com o arroio Cascatinha. Apesar de não ser um arroio caudaloso, o mesmo se avolumava, súbita e rapidamente, por ocasião das grandes chuvas, devido à grande bacia de captação.

O riacho, no encontro com o arroio Cascata, dava uma grande volta, numa zona chamada de Ilhota. Após esse ponto, passava atrás do colégio Pão dos Pobres (Figura 3.2).



Figura 3.2: Arroio Dilúvio antes da conclusão das obras de retificação em meados de 1950, trecho contornando a rua da República – Fonte: acervo Fototeca Sioma Breitman, Museu Joaquim José Felizardo.

Onde é hoje a Rua João Alfredo, antiga rua da Margem (Figura 3.3) seguia o arroio passando sob a Ponte de Pedra situada no Largo dos Açorianos, para em seguida desaguar no Guaíba. Nesse local ficava a praia do Arsenal, que era formada pela praia do Riacho, onde o arroio

Dilúvio desembocava. Este era um ponto de encontro da mocidade da época, quando as águas do riacho ainda eram limpas.



Figura 3.3: Arroio Dilúvio antes da conclusão das obras de retificação em meados de 1950, arroio passando na antiga rua da Margem –Fonte: acervo Fototeca Sioma Breitman, Museu Joaquim José Felizardo.

O curso do Arroio Dilúvio foi amplamente modificado com a urbanização. O projeto e a obra de retificação do arroio, para controlar as enchentes, tiveram início entre as décadas de 30 e 40, durando em torno de 20 anos para a conclusão.

O curso natural do Dilúvio teve a largura reduzida e as características do canal do rio foram totalmente modificadas, como se pode verificar na Figura 3.4.



Figura 3.4: (a) Ponte da Av. João Pessoa durante obras de retificação (acervo Fototeca Sioma Breitman, Museu Joaquim José Felizardo) e (b) Ponte da Av. João Pessoa, após as obras de retificação.

Essa alteração no curso natural do arroio é uma das causas da modificação do olhar do porto-alegrense, em relação ao riacho.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DILÚVIO

O arroio Dilúvio percorre uma extensão de 17.605m, das nascentes à foz, atravessando a cidade no sentido leste-oeste e sendo o escoadouro de águas pluviais de uma bacia com 83,74 km<sup>2</sup>, ocupada por cerca de 450 mil pessoas, ou seja, aproximadamente um terço da população do município. Da área da bacia, 83% pertence ao município de Porto Alegre, sendo o restante localizado no município de Viamão.

Ao longo de seu percurso, o Dilúvio recebe as águas de importantes contribuintes, tais como arroios dos Marianos, Beco do Salso e São Vicente, pela margem direita, e Mato Grosso, Agronomia, Moinho, Cascata e Águas Mortas, pela margem esquerda. Próximo às cabeceiras, na divisa dos municípios de Porto Alegre e Viamão, se une aos arroios Vitorino, Taquara, Pequeno, Casa Velha e Sem Nome, para formar a Represa da Lomba do Sabão (Figura 3.5).



Figura 3.5: Barragem da Lomba do Sabão, região do anel de nascentes do arroio.

A bacia hidrográfica do arroio Dilúvio possui o percentual mais significativo de redes coletoras de esgotamento sanitário, do tipo separador absoluto, em relação às demais bacias da cidade. Entretanto, recebe ainda significativo volume de águas servidas (seja por deficiência nas redes cloacais ou por ligações clandestinas), o que contribui para a deterioração da qualidade da água, comprovada através do monitoramento realizado pela Divisão de Pesquisas do DMAE e, visualmente, de forma diária, pela população que circula nas imediações da Avenida Ipiranga (Figura 3.6). Também pode ser observado o acúmulo de

sedimentos no canal do arroio, cuja causa principal é a expansão da cidade em direção às cabeceiras e topos de morros.



Figura 3.6: Arroio Dilúvio, palmeiras plantadas sobre a ponte da Av. João Pessoa viraram atração turística da cidade.

### 3.3 GEOLOGIA

A região de nascentes do arroio Dilúvio está situada na porção leste do município de Porto Alegre e no município de Viamão, em uma região de morros, cujo substrato é formado basicamente por rochas graníticas a granodioríticas e por sedimentos fluviais recentes.

De acordo com Menegat et al.(1998), nessa região, a geologia é marcada pela associação de dois grandes corpos graníticos: o granito Santana e o granodiorito Lomba do Sabão, pertencentes ao domínio estrutural da Crista de Porto Alegre (Figura 3.7).

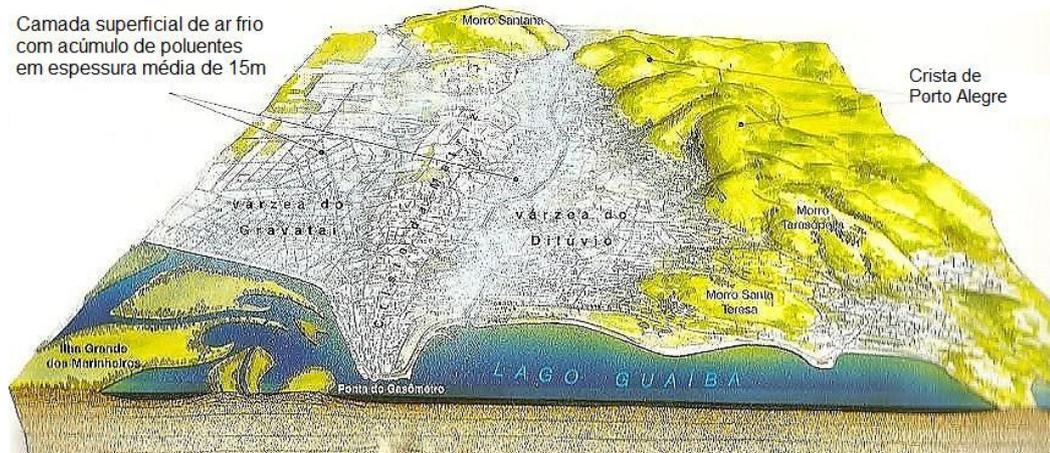


Figura 3.7: Esquema da morfologia e localização da crista de Porto Alegre. Fonte: Atlas Ambiental de Porto Alegre (MENEGAT et al., 1998).

As rochas afloram, na forma de matacões e grupo de matacões, dispersos no terreno e em lajeados, ao longo da drenagem. Em geral, estas rochas estão bastante alteradas, como se observa na Figura 3.8.



Figura 3.8: Aspecto do terreno, na região do anel de nascentes do Arroio Dilúvio.

Conforme Souza (1991), a geologia da sub-bacia do Arroio Dilúvio é constituída por terrenos de origem pleistocênica, da Formação Guaíba, originada por acumulações fluviais de areias grosseiras médias a finas, conglomerados ortoquartzíticos, intercalados com lâminas areno-argilosas. Essas acumulações estão encaixadas na calha aluvionar, entre formações mais antigas, como o granito Santana e Ponta Grossa e os migmatitos.

Os solos gerados pela alteração de granitos são areno-argilosos, tendo, na sua composição, quartzo e argila (material micáceo).

Os sedimentos de fundo do arroio são provenientes do intemperismo dessas unidades estratigráficas. As partículas finas, normalmente siltes, permanecem em suspensão e são levadas em direção ao lago e ao mar. São os chamados detritos de superfície.

A carga em suspensão, que consiste em siltes mais grossos e partículas finas de areia, tem deslocamentos suspensos na corrente, em função da turbulência da água em movimento. Quando essa turbulência decresce, em trechos do rio onde a declividade é menor, essas partículas afundam e se depositam.

Já, a carga de leito ou de fundo do rio, se constitui de partículas grossas de areia e até de seixos, ambos sem coesão. Devido ao seu peso, estas partículas têm movimento restrito às zonas próximas ao fundo, rolando e saltando. Ao encontrarem algum obstáculo, as mesmas perdem a capacidade de transporte e acabam formando depósitos ou bancos de areia.

A bacia hidrográfica do arroio Dilúvio tem forma alongada, orientada no sentido sudeste-noroeste. O seu relevo é caracterizado por cadeias de morros, com altitudes de até 300m.

A geologia estrutural é marcada por uma zona de forte controle tectônico, responsável pela geração de falhamentos e zona de cisalhamento, que coloca em contato os dois corpos graníticos.

O granodiorito Lomba do Sabão teve sua evolução durante a atividade da Zona de cisalhamento de Porto Alegre, onde as falhas de movimentação transcorrente abalaram a região, devido aos estágios finais de formação do cinturão Dom Feliciano.

### 3.4 FORMAÇÃO DE SEDIMENTOS

Tucci e Collischonn (2000) descrevem a provável relação entre a consolidação da ocupação da bacia do Dilúvio com a produção de sedimentos, corroborando com trabalhos anteriores, que expõe o caráter transitório do crescimento da produção de sedimentos de uma bacia, durante sua urbanização.

A estimativa de produção de sedimentos em bacias urbanas brasileiras tem sido objeto de estudos de diversos autores. Apesar das limitações legais para a ocupação de áreas de alta declividade, percebe-se que as regiões próximas as cabeceiras da rede de drenagem vêm sendo ocupadas de forma desordenada, substituindo a cobertura vegetal por solo exposto, trilhas e ruas, assim favorecendo a produção de sedimentos. Para o arroio Dilúvio, Collischonn (2001) cita que o valor real do aporte total de sedimentos, possivelmente, encontra-se na faixa entre os 490 e os 1.500  $m^3.km^{-2}.ano^{-1}$ , valores que conduzem a necessidade de dragagem contínua, característica comum à maioria dos riachos urbanos de grandes cidades do Brasil.

De acordo com dados do Relatório de Atividades do DEP 2005-2008, o arroio Dilúvio recebe, anualmente, em torno de 50.000 $m^3$  de sedimentos, produzidos, tanto pela erosão natural, como pela degradação de suas margens e de seus contribuintes, incluídos, também, resíduos sólidos urbanos. De sua extensão total, 11,3km necessitam de constante desassoreamento.

A autora verificou, consultando o relatório, que, na primeira operação de dragagem (iniciada em outubro de 2006), ocorrida depois de um grande período de acumulação, foram retiradas, em quinze meses de trabalho, mais de 60 mil toneladas de sedimentos, somente do canal do arroio Dilúvio. O material dragado é depositado na borda do arroio, por duas semanas, para secagem e posterior remoção e transporte ao destino final (Figura 3.9).



Figura 3.9: Sedimento acumulado na borda do arroio para secagem e posterior transporte

Nesta operação contínua de dragagem, o DEP faz uso de uma a duas dragas permanentemente se deslocando ao longo do arroio (Figura 3.10).



Figura 3.10: Draga recolhendo o sedimento acumulado na borda do arroio

Em torno de 15 mil toneladas de detrito foram retirados da foz, desde o início da dragagem. No total, 143 mil toneladas foram retiradas ao longo do trecho dragado, até janeiro de 2010. Destas, em torno de 70% eram formadas por resíduos sólidos domésticos (lixo).

O relatório do DEP indica, ainda, que, neste período de três anos, foram retiradas 1.800 toneladas de material, nos 250 metros do canal da CEASA. Já, no arroio da Vila Dique, foram retiradas 27 mil toneladas de material, em 2.800 metros de extensão; enquanto no arroio Manecão, só em 2008, foram retiradas 7.200 toneladas de sedimento, de seus 550 metros. Do arroio Cavalhada, se retiraram 6,3 mil toneladas de sedimentos, em somente 930m de extensão. No Valo do Arado Velho, região sul da cidade, foram retiradas três mil toneladas, em 320m.

Dessa forma, somando-se os sedimentos retirados do Dilúvio e de outros arroios da cidade, pode-se garantir um considerável aporte de sedimento dragado para uso na construção civil.

Atualmente, para realizar as dragagens de manutenção em arroios da cidade de Porto Alegre, o departamento responsável pela drenagem urbana precisa licenciar a atividade no órgão ambiental, prevendo tipo de intervenção e o destino do resíduo resultante. Na limpeza do arroio Dilúvio, o resíduo dragado está sendo depositado no aterro de inertes da Serraria, o que futuramente precisará ser revisto, pois, além da contaminação de solo e água por poluentes químicos e biológicos, presentes nesse resíduo, esse aterro não possui licença ambiental e deverá ser fechado até o final de abril de 2010.

#### **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

O programa experimental desenvolvido para esta dissertação se propõe a caracterizar a areia dragada do Arroio Dilúvio e avaliar a viabilidade técnica para seu uso na construção civil. Para tanto, foram realizadas sete coletas, em pontos distintos do arroio e em diferentes estações do ano, visando uma amostragem mais representativa, visto a especificidade de cada ponto. As épocas do ano distintas (inverno e verão) também foram consideradas, pois sua influência é marcante nas características do sedimento, principalmente quanto à contaminação.

Como esse estudo tem por escopo o estudo das areias dragadas, a localização da draga, versus sazonalidade, foi fator limitante na decisão do local para a realização das coletas. A intenção, adotando esse procedimento de coleta, foi de garantir que o sedimento coletado demonstrasse as características que porventura pudessem sofrer modificações pela ação da draga. Neste trabalho se vai acompanhar o desempenho, em termos de resistência mecânica e capacidade de encapsulamento de contaminantes, de amostras de argamassa confeccionadas com a areia dragada, comparando o mesmo, ao desempenho de amostras confeccionadas com areia natural do Rio Jacuí e Areia Normal do Rio Tietê.

Conforme Menegat et al. (1998), o arroio Dilúvio possui três regiões diferenciadas: baixo, médio e alto impacto classificadas conforme grau de atividade antrópica. Essa disposição foi adaptada e observada, para a determinação dos locais de coleta (Figura 4.1).



Figura 4.1 Regiões diferenciadas conforme grau de impacto antrópico (Menegat, 1998 adaptado por Young, 2010).

Ainda, foram utilizados, como complemento aos estudos, os dados das coletas realizadas pelo DMAE, por solicitação do DEP, de três pontos de dragagem em 2002 e, de outro ponto de coleta de material, em 2005 (D1 a D4).

Utilizou-se um GPS, modelo GARMIN 12, *datum* córrego alegre, para identificar as coordenadas geográficas referentes aos pontos amostrados, que foram retomados posteriormente, no datum Sth Amrcn'69 (SAD 69), coordenadas UTM. As amostras e seus respectivos locais de coleta estão listados na Tabela 4.1.

O material da amostra D5, a primeira coletada, no âmbito deste trabalho, foi inicialmente depositado no pátio da Seção de Conservação Norte do DEP - PMPA (Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre), na Av. Sertório, 9442, durante 15 dias, em virtude da falta de estrutura para a realização da compostagem do material no espaço da UFRGS. Nessa amostra não se teve controle sobre o método de escolha do material retirado do arroio, procedendo-se, apenas, ao quarteamento da amostra no depósito. No entanto, presume-se sua representatividade, uma vez que todo o material dragado desse ponto

foi transportado em caminhão, misturado e depositado nesse local, o que deve ter proporcionado certa homogeneidade à amostra.

Tabela 4.1: Amostras e locais de coleta.

<b>Amostra</b>	<b>Local da Coleta</b>	<b>Data da Coleta</b>	<b>Coordenadas UTM</b>		<b>Grau impacto</b> (adaptado de Menegat et al., 1998 por Young).
D1	Av. Ipiranga, 6400	Março 2002/ DMAE	22J0482831	UTM 6674773	Médio a baixo
D2	Av. Ipiranga, 2600	Março 2002/ DMAE	22J0480574	UTM 6676404	Médio
D3	Av. Ipiranga, 301	Março 2002/ DMAE	22J0478331	UTM 6675886	Alto
D4	Av. Ipiranga, 0 - foz	Abril 2005/ DMAE	22J0477588	UTM 6676064	Alto
D5	Av. Ipiranga, 1318	Julho 2007	22J0479272	UTM 6675902	Alto
D6	Av. Ipiranga, 5840	Fevereiro 2008	22J0482463	UTM 6674770	Médio a baixo
D7	Av. Ipiranga, 2900	Mai 2008	22J0480707	UTM 6676458	Médio
D8	Av. Ipiranga, 0 - foz	Novembro 2008	22J0477588	UTM 6676064	Alto
D9	Av. Ipiranga, 0 - foz	Janeiro 2009	22J0477588	UTM 6676064	Alto
D10	Av. Ipiranga, 1580	Janeiro 2009	22J0479671	UTM 6676031	Médio
D11	Av. Ipiranga, 7060	Mai 2009	22J0483817	UTM 6675023	Médio a baixo

Essa amostra inicial foi utilizada para determinar qual proporção mais adequada de sedimento, para utilização em substituição da areia comercial proveniente do rio Jacuí, e qual o traço apropriado para geração das argamassas para ensaio.

As demais coletas efetuadas neste trabalho (D6 a D11) foram realizadas in loco, estando, dessa forma, atreladas ao local em que a draga estava trabalhando. Em cada amostragem, solicitava-se ao operador da draga a retirada do sedimento mais representativo do local. A draga trabalhava de três dias a uma semana, acumulando o sedimento daquela região próximo à margem do arroio e, no dia da coleta, retirava da porção média e com profundidade mínima

nunca inferior a 50 cm, o sedimento a ser amostrado. Esse material era, então, depositado no talude do arroio, quarteadado e colocado em tonéis com capacidade de 60Kg (Figura 4.2).



(a) (b)  
Figura 4.2: (a)Quarteamento manual e, (b) recipiente para transporte das amostras.

Para cada campanha de coleta, contou-se com um bolsista de iniciação científica e um veículo para transporte do material, da beira do arroio até o Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME). As coletas foram realizadas sempre pela manhã.

Buscando a higienização da amostra, antes de sua utilização, foi conduzido um processo de compostagem, conforme recomendações da Divisão de Pesquisa (DVP) do DMAE / PMPA, no laudo técnico 05/2005. Assim, os sedimentos foram depositados ao sol por mais de 15 dias, para que a matéria orgânica e a densidade dos organismos patogênicos presentes fossem diminuídas.

Essa compostagem, processo de degradação aeróbia, no qual o material orgânico se decompõe sob a ação de microorganismos, é de grande eficiência, visto que nesse processo ocorre a elevação da temperatura para uma faixa de 50-70°C em que, a maioria dos microorganismos patogênicos são destruídos.

Encontra-se vasta literatura sobre o sucesso dos processos de compostagem para tratamento de lodos de esgoto, situação bem mais crítica que dos sedimentos dragados. Fernandes et al. (1996) compostaram lodo de esgoto e conseguiram reduzir em até 86% o número de ovos viáveis de helmintos, originalmente presentes na mistura a ser compostada. Soccol et al.

(1997) compostaram lodo de esgoto com serragem e alcançaram entre 93 e 100% de redução do número de ovos viáveis de helmintos.

Estudos indicam que a eliminação dos patógenos ocorre por meio da combinação de temperaturas elevadas e relações desarmônicas entre patógenos humanos e organismos saprofíticos (GOLUEKE, 1975).

Em visita ao aterro de inertes do Departamento Municipal de Limpeza Urbana – DMLU, onde o resíduo dragado do arroio Dilúvio está sendo depositado, pode-se observar a modificação no aspecto visual do sedimento após a compostagem. O material depositado há mais de seis meses mostra alteração na coloração, conforme seu tempo de exposição ao sol (Figura 4.3), o que indica que a incidência de raios solares, efetivamente, provoca modificações nas características desse resíduo. Há de considerar-se, também, nesse caso, a ocorrência de lavagem pela ação da chuva, visto que o material está depositado em local sem cobertura.



Figura 4.3 Aterro de Inertes na Serraria: contraste na cor do sedimento, conforme o tempo de deposição: sedimento mais recente, com forte tonalidade escura.

Esse foi, inclusive, um dos fatores limitantes da pesquisa: as condições climáticas do RS, caracterizadas por uma umidade do ar elevada e chuvas frequentes. Devido a essa situação, teve-se dificuldade em realizar o processo de secagem e compostagem.

Inicialmente, as amostras eram secas em piso de concreto sobre lonas (Figura 4.4) e recolhidas ao laboratório, quando havia previsão de chuva. Nesse processo de secagem, perdeu-se uma das amostragens (D8), pois ocorreram chuvas fortes inesperadas, que lavaram o sedimento, descaracterizando-o.

Essa porção teve de ser descartada e procedeu-se a nova coleta, para substituí-la. Essa nova coleta, embora tenha sido realizada no mesmo local, não é representativa daquele intervalo de tempo, sendo caracterizada como uma nova amostra.



Figura 4.4: Secagem do sedimento sobre lona

Para solucionar o problema, as demais amostras coletadas foram secas ao sol, em caixas sobre piso de concreto e, com tampas, para proteção do material em dias de chuva (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Caixas para secagem do resíduo

Através desses procedimentos, buscou-se alcançar índices satisfatórios de eliminação de agentes biológicos patogênicos. No entanto, durante o manuseio do sedimento sempre se utilizou equipamento de proteção, como luvas e, em algumas situações em que o ensaio promovia a dispersão de partículas ao ambiente, como durante o peneiramento, fez-se uso de máscaras com filtro.

Reis (2006) observa a influência do beneficiamento, por peneiramento, de areias de rios e artificiais, nas características mecânicas do concreto de cimento Portland, resultando em concretos com boa trabalhabilidade. Assim, após este período de secagem, a porção de areia, a ser utilizada na confecção da argamassa, foi peneirada numa peneira com abertura da malha de 9.5 mm, para que, então, pudesse ser manuseada. Esse beneficiamento se justifica, em função da grande diversidade de material dragado, junto com a areia, nos rios urbanos, principalmente lixo.

É assunto de consenso que a adição de produtos químicos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo. A cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e usados no saneamento: possui poder bactericida, por ter um pH alto, sendo usada para elevar o pH nos digestores, remover fósforo nos tratamentos avançados de efluentes, condicionar o lodo para o desaguamento mecânico e

para estabilizar quimicamente o lodo (SANEPAR, 1999). Essa é uma das razões pela qual se optou pela argamassa mista (cimento e cal), de forma a favorecer a estabilização do sedimento. Além disso, sabe-se que a cal aumenta a aderência da argamassa, no estado fresco, e a resistência de aderência, no estado endurecido, e aumenta a resistência à penetração de água pelos vazios da argamassa, propriedade diretamente relacionada com a durabilidade.

Nessa investigação, utilizou-se os principais métodos de ensaio para caracterização do sedimento: quanto à granulometria, materiais pulverulentos, teor de argila, módulo de finura, diâmetro máximo dos grãos, inchamento da areia, massa específica e impurezas orgânicas; e para determinação da qualidade deste material como agregado miúdo, através da confecção de argamassas, verificando-se características referentes à durabilidade, à permeabilidade e as suas propriedades mecânicas.

Foram realizados, também, ensaios para verificar os quesitos ambientais, tanto para o sedimento in natura, como para a argamassa confeccionada com ele, através de ensaios de lixiviação. A análise de metais do extrato lixiviado foi realizada por laboratórios especializados de análises da UFRGS, da CIENTEC e da LABORQUIMICA.

Realizou-se análises parasitológicas e bacteriológicas das três últimas coletas (D9, D10 e D11), para verificar-se o grau de contaminação biológica da areia dragada e, se haveria necessidade de inserir outros processos de descontaminação, além da compostagem. Os ensaios biológicos foram realizados pelo Laboratório da Divisão de Pesquisas do DMAE, através de convênio com o DEP.

Os ensaios de porosimetria foram realizados pela USP, através de convênio com a UFRGS.

Avaliou-se a viabilidade de utilização da areia em estudo para alguns usos dentro da construção civil, através da ponderação dos resultados obtidos nas argamassas, comparados aos indicados nas normas específicas para cada artefato, conforme será apresentado mais adiante.

#### 4.1 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Objetivando-se a caracterização dos agregados, buscou-se determinar as suas características intrínsecas, como diâmetro máximo característico, módulo de finura, massa específica, entre

outras; pois variações na forma e textura dos grãos podem intervir significativamente na trabalhabilidade e em sua exsudação, alterando a exigência de água, para obter-se a mesma trabalhabilidade, conduzindo modificações na interface pasta/agregado, resultando em diferenças nas resistências mecânicas.

A diminuição da plasticidade e, conseqüente redução da trabalhabilidade, pode interferir no processo de adensamento, aumentando a quantidade de ar aprisionado, que irá resultar na diminuição da resistência mecânica.

Os ensaios realizados, para cada amostra de areia ao longo dessa pesquisa, estão listados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Relação de ensaios realizados para as amostras de sedimento:

<b>Ensaio realizado para o sedimento</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>	<b>D8</b>	<b>D9</b>	<b>D10</b>	<b>D11</b>
Físico-químico	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X
Distribuição granulométrica	-	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X
pH	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X
Bacteriológico /Parasitológico	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X
Teor orgânico	-	-	-	X	X	-	-	-	X	X	X
Fluorescência	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Difração raio-x	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Óleos e Graxas	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X
Lixiviação	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Pesquisa de Metais (base seca)	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X

O ideal é uma areia com pouca variação mineralógica e homogeneidade, quanto à forma, arredondamento e textura superficial dos grãos.

O teor de contaminação, nesse caso, também é de suma importância na caracterização do sedimento e definição da classe do resíduo.

No quadro 4.3, estão apresentados os ensaios que foram realizados para os corpos-de-prova de argamassa, com a incorporação das areias dragadas do arroio Dilúvio:

Tabela 4.3: Relação de ensaios realizados para os corpos-de-prova de argamassa com o sedimento:

<b>Ensaio realizado nos corpos-de-prova de argamassa com o sedimento</b>	<b>AD1</b>	<b>AD2</b>	<b>AD3</b>	<b>AD4</b>	<b>AD5</b>	<b>AD6</b>	<b>AD7</b>	<b>AD9</b>	<b>AD10</b>	<b>AD11</b>
Absorção por Imersão	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Absorção por Capilaridade	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
Resistência a Tração na Flexão	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Resistência à Compressão	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X
Resistência à Aderência	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Fluorescência	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Difração raio-x	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Lixiviação	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X

#### 4.1.1 Distribuição Granulométrica

A composição granulométrica foi determinada através de peneiramento, em jogo de peneiras conforme NBR 7181 (ABNT, 1988) - Análise Granulométrica de Solos e NM 248 (ABNT, 2003) - Agregados: determinação da composição granulométrica. Para realização desse ensaio foram, também, consultadas as normas D421-58 e D422-63/ASTM; T87-70 e T88-70/AASHTO; MSL-05. No procedimento do ensaio foi necessário: estufa para secagem das amostras, as peneiras da série normal, tampa e fundo, agitador mecânico de peneiras e, balança, com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio.

As amostras foram colocadas no agitador de peneiras (Figura 4.6) e, após 3 minutos de agitação, pesou-se a porção retida em cada uma das peneiras, calculando-se a porcentagem retida acumulada.



Figura 4.6 – Série de peneiras utilizada no ensaio de distribuição granulométrica

A fração fina foi determinada por ensaio de sedimentação, baseado na lei de Stokes, que estabelece uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação, num meio líquido de viscosidade e massa específica conhecida.

A granulometria fornece informações importantes para uso na engenharia. Por exemplo, agregados bem graduados requerem menos cimento, para encher os vazios, e menos água, por unidade de volume. Logo produzirá elementos mais densos, menos permeáveis e com maior resistência a alterações. Através da curva granulométrica determina-se, também, a textura do sedimento.

#### 4.1.2 Características Morfológicas dos Grãos

No intuito de melhor caracterizar a areia, objeto desse estudo, realizou-se o ensaio de morfologia dos grãos. Esse ensaio consiste na análise de grãos à lupa eletrônica, verificando-se sua morfologia, através dos parâmetros: forma do grão, arredondamento, esfericidade.

O ensaio foi realizado para as amostras D9, D10 e D11. Seguiram-se as normas adotadas no Centro de Estudos Costeiros (CECO), da UFRGS.

#### 4.1.3 Dimensão Máxima Característica

Essa caracterização está associada à distribuição granulométrica do agregado e correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5% em massa, conforme prescrito na norma NM 248 (ABNT, 2003).

#### 4.1.4 Massa Específica

Relação entre a massa do agregado seco, em estufa (100 a 110°C), até a constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros permeáveis. Esses procedimentos basearam-se na NBR NM 52 (ABNT, 2003).

A sua obtenção é necessária para o cálculo do ensaio de sedimentação, a determinação do índice de vazios e demais índices físicos do solo. Tem como fundamentação teórica o princípio de Arquimedes, segundo o qual um corpo submerso num líquido desloca um volume igual ao do próprio corpo.

#### 4.1.5 Módulo de Finura

Usado para designar a dimensão e graduação efetiva do agregado, auxiliando na avaliação da variação granulométrica e para proporcionamento e dosagem de concretos. Determinado através da soma dos percentuais retidos em cada peneira, em massa, dividido por 100, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003).

#### 4.1.6 Ensaio de Inchamento

O ensaio de inchamento foi realizado conforme procedimentos definidos na NBR 6467 (ABNT, 2006).

#### 4.1.7 Ensaio de Porosidade da areia

A porosidade, relação entre o volume de vazios e o volume sólido do material, é importante para a caracterização do agregado, porque o volume e as dimensões do sistema interno dos poros, afeta as propriedades dos agregados para concreto, como a absorção e a massa específica.

#### 4.1.8 Difratometria de Raios-X

Determinaram-se, através desse método, as propriedades físicas e químicas dos materiais, observadas por métodos petrográficos. Para realizar o ensaio, moeram-se as amostras em dimensões menores que a peneira 200  $\mu\text{m}$ . Após, colocou-se a amostra no difrator fabricado pela Philips Analytical, PANalytical, Modelo X'Pert MPD (Figura 4.7), que produziu gráficos com os picos característicos de cada constituinte. Essa avaliação permite verificar a ocorrência de compostos ou elementos, que possam causar danos ao concreto.



Figura 4.7: Difrator de Raios-X

#### 4.1.9 Análise de Fluorescência

Os ensaios de fluorescência de raios-x, calibrados para detecção de óxidos, foram realizados pelo LACER, utilizando o equipamento da marca SHIMADZU, modelo XRF-1800.

#### 4.1.10 Análise de Risco Ambiental: Ensaio de Lixiviação

A análise de risco ambiental é de suma importância quando trata-se de materiais com contaminações diversas. Através dessa análise confirmamos a imobilidade do contaminante quando encapsulado, por exemplo, em argamassas.

Procedeu-se ao ensaio para obtenção de extrato lixiviado, conforme NBR 10.005 (ABNT, 2004), para o sedimento, para a argamassa moída e, conforme NEN 7345/95, para o monólito de argamassa (Figura 4.8).



Figura 4.8: Ensaio do monólito conforme a norma NEN 7345(1995).

Através do ensaio de difusão tem-se uma resposta mais aproximada do que realmente aconteceria com uma parede de argamassa exposta a intempérie, visto que o corpos-de-prova fica imerso por um período 134 dias, em solução ácida.

Essa solução ácida, o eluato, foi substituída em oito intervalos de tempo estabelecidos pela norma, sejam eles: 6, 24, 54, 96, 216, 432, 864 e 1536 horas. Contou-se o tempo a partir da imersão em cada substituição, totalizando 3228 horas de contato à substância ácida. Após cada substituição o eluato foi preservado, através da acidificação com ácido nítrico, e enviado para a análise dos possíveis metais lixiviados. Neste estudo foram analisados o cobre, cromo, chumbo e zinco (Cu,Cr, Pb,Zn), no laboratório de Análises da Agronomia / UFRGS e mercúrio (Hg), na CIENTEC.

Pela norma brasileira, NBR 10.005 (ABNT, 2005), para esse ensaio, o sedimento e o corpo-de-prova foram cominuídos, até passar pela peneira com diâmetro de 9,5mm. Tomou-se 100g de cada amostra e, como o pH de todas as amostras estava na faixa de 2, preparou-se a solução de extração n.º2.

Após 18 horas em agitador com 30 rpm, a amostra foi filtrada (Figura 4.9), acidificada e enviada para o laboratório LABORQUIMICA, onde se pesquisou os elementos: cobre, zinco, chumbo, cádmio e mercúrio.

Os resultados para classificação da areia proveniente do Arroio Dilúvio foram interpretados de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2005), que estabelece valores máximos permitidos para classificação dos resíduos.



Figura 4.9: Amostra de extrato lixiviado, sendo filtrada

#### 4.1.11 Ensaio de Absorção por Imersão e por Capilaridade

Através desses ensaios, pode-se verificar a durabilidade de forma indireta, pois a durabilidade engloba uma série de propriedades, mas está intimamente ligada aos materiais e às condições de exposição. Uma elevada absorção de água implica em alta porosidade, resultando em diminuição da durabilidade.

Na primeira série de ensaios, com a areia do Dilúvio, amostra D5, utilizou-se 27 corpos-de-prova de argamassa com idade de 28 dias. Realizou-se o ensaio de absorção por imersão, como prescreve a NBR 9778 (ABNT, 2005). Os corpos-de-prova permaneceram em estufa, à temperatura de 105°C +/- 5°C, por 24 horas, e após foram submetidos à imersão em água, conforme as etapas determinadas em norma, por um período de 72 horas. Ao longo do ensaio, os CP's foram pesados e estes valores utilizados para o cálculo da absorção das argamassas, através da fórmula:

$$A = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

Sendo: A – absorção

Ph – peso da amostra úmida

Ps – peso da amostra seca

Os ensaios de absorção, realizados para as outras amostras, foram obtidos para a absorção de água por capilaridade, conforme NBR 9779 (ABNT, 1995), diferindo, também, quanto à forma dos corpos-de-prova. Os procedimentos iniciais para a secagem dos corpos-de-prova foram os mesmos, levando-se a estufa por 24h a 105°C, até a constância de massa. Resfriados os corpos-de-prova, foram colocados em um recipiente sobre uma grade, de maneira que apenas uma lâmina de água de 5mm ficasse em contato com o corpos-de-prova de argamassa (Figura 4.10). Ensaíram-se 33 corpos-de-prova.

A absorção por capilaridade foi calculada através da fórmula:

$$A = \frac{Ph - Ps}{S} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo S igual a 16cm<sup>2</sup>.



Figura 4.10 - Corpos-de-prova em ensaio de absorção por capilaridade

#### 4.1.12 Ensaio de Porosimetria

As propriedades de transporte em materiais porosos são altamente dependentes da fração de porosidade, da conectividade dos poros e do arranjo superficial da rede de poros. A medição precisa desses parâmetros é extremamente difícil, devido ao pequeno tamanho dos poros, na maioria dos materiais. No concreto, a maioria dos poros varia em tamanho de 0,01-10 mm, excluídos os vazios de ar. Para esse ensaio, utilizou-se a técnica de porosimetria por Intrusão de Mercúrio.

Conforme Olson et al (1997), a porosimetria de mercúrio (MIP) é uma técnica comum, usada para caracterizar a estrutura de poros do concreto. Esse método tem por base o fato de que o mercúrio se comporta como um fluido não-molhante, em relação à maioria das substâncias. Assim, não penetra espontaneamente em pequenos furos ou fissuras destes materiais, a menos que seja aplicada uma pressão sobre este. A técnica consiste na submersão de uma amostra em mercúrio, aplicando pressão por etapas, e registrando as mudanças volumétricas, após cada etapa.

Nessa pesquisa, as amostras retiradas dos corpos-de-prova de argamassa foram fragmentadas e secas em estufa e, então, enviadas ao laboratório, onde foram colocadas em um recipiente

dotado de um capilar. Após foi feito o vácuo sobre a mesma, o recipiente e o capilar foram preenchidos com mercúrio. Ao se aumentar a pressão sobre o líquido, este penetra nos poros da amostra, reduzindo seu nível no capilar. Registrando-se a redução do nível de mercúrio no capilar, juntamente com a pressão aplicada, obtém-se uma curva porosimétrica (anexos A, B e C), cujos resultados informam o volume de poros de material, que foi penetrado pelo mercúrio, em certo nível de pressão.

#### 4.1.13 Ensaio de Caracterização Mecânica: Resistência à Compressão Axial

A fim de comparar o desempenho de argamassas com dois tipos de agregados distintos, areia comercial (oriunda do rio Jacuí) e areia do Dilúvio (amostra D5), adotaram-se as determinações da NBR 5739 (ABNT, 1994), para ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Foram rompidos 45 corpos-de-prova de argamassa, na dimensão 50x100mm e idade de 28 dias, após terem suas extremidades capeadas (Figura 4.11).

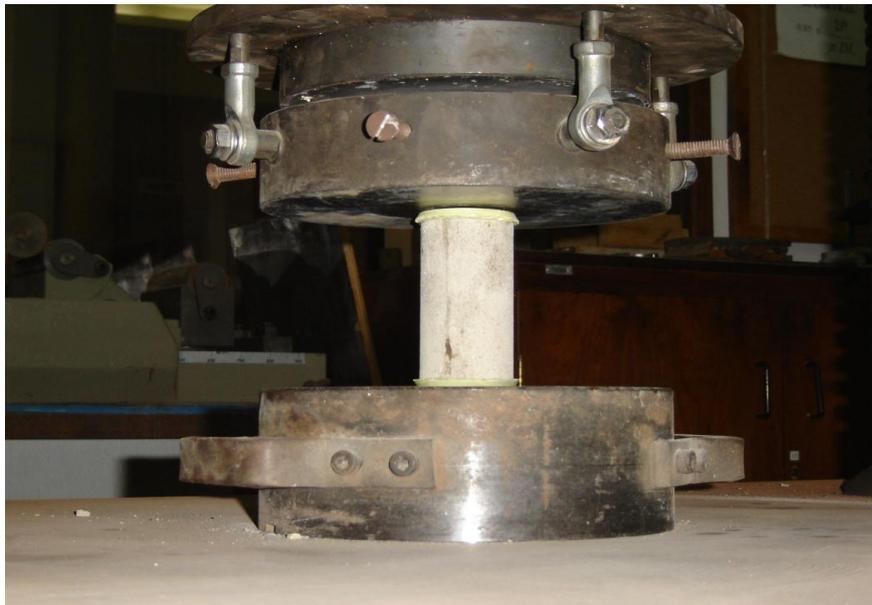


Figura 4.11: Corpos-de-prova cilíndricos submetidos à compressão axial.

A partir da coleta D6, ensaiaram-se à compressão 126 corpos-de-prova prismáticos (Figura 4.12), com dimensões de (40x40x160) mm, conforme NBR 13279 (ABNT, 2004).



Figura 4.12: Corpos-de-prova prismáticos submetidos à compressão axial.

A escala de força adotada foi de 200KN e a velocidade de carregamento utilizada foi de 0,3KN/min.

#### 4.1.14 Ensaios de Caracterização Mecânica: Resistência à Tração na Flexão

A partir da amostragem D6, todas as demais amostras foram ensaiadas com a argamassa preparada conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005) e corpos-de-prova prismáticos de (40x40x160)mm. Também se confeccionou argamassas com a areia Normal oriunda do rio Tietê, para fins de comparação.

Os ensaios para determinação da resistência para esses corpos-de-prova foram: tração na flexão (Figura 4.13) e compressão, conforme NBR 13279 (ABNT, 2004).

A escala de força adotada para o ensaio de tração na flexão foi de 100KN e a velocidade de carregamento utilizada foi de 0,1KN/min.



Figura 4.13: Corpos-de-prova prismáticos submetidos à tração na flexão

#### 4.1.15 Ensaio de Caracterização Mecânica: Resistência de Aderência

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco/argamassa possui de absorver tensões normais (tração) e tangenciais (cisalhamento) a ela sem romper-se. Realizou-se os ensaios de resistência de aderência de acordo com procedimento desenvolvido, no LEME, por Jaworoski (1990), baseado no método australiano de ensaio de prismas de tijolos.

O ensaio consiste em confeccionar uma parede de alvenaria, com quatro fiadas de tijolos maciços, que são submetidos a uma carga através de alavanca. Quando a junta rompe, alcança-se a resistência de aderência (Figura 4.14).

Para a realização desse ensaio fez-se seis prismas, para cada argamassa confeccionada com as areias de dragagem do arroio Dilúvio (D9, D10 e D11) e com a areia de referência do rio Jacuí, totalizando 24 prismas. Utilizou-se prisma de geometria simples, com quatro fiadas não contrafiadas, conforme descrito por Jaworoski (1990).



Figura 4.14: Ensaio de aderência.

O prisma foi nivelado e fixado na base do equipamento, o braço é fixado no tijolo, ficando somente a última junta exposta. Colocou-se gradativamente carga na extremidade do braço, até a ruptura da junta. A ruptura acontece quando a tensão de tração gerada pelo momento induzido supera a capacidade de aderência da junta.

## 4.2 ARGAMASSA

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir de mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. São empregadas, na construção civil, para o assentamento de alvenarias, nos revestimentos de paredes e tetos, contrapiso e, ainda, em assentamento e rejunte de revestimento de cerâmica e pedra.

São requisitos para uma boa argamassa: ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e retenção de água), aderência, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações e baixas permeabilidade e retração.

De acordo com Paschoalino et al (2006) a resistência mecânica da argamassa depende de vários fatores, dentre os quais se destacam a finura do cimento, a qualidade do clínquer, a relação água/cimento, o teor e a qualidade dos agregados e a dosagem de hidróxido de cálcio.

#### 4.2.1 Confeção da Argamassa

Em todas as argamassadas utilizou-se o método de dosagem de concreto IPT/EPUSP (HELENE, 1992), baseando-se na determinação de um traço inicial, obtido de informações provenientes de experiências anteriores, a partir do qual se faz um ajuste experimental das propriedades de interesse, em função dos materiais disponíveis para a sua confecção e fixando-se o abatimento de tronco de cone em  $270 \pm 10$  mm.

As argamassas feitas em laboratório foram misturadas em argamassadeira (Figura 4.15), por um período de 3 minutos, seguido de repouso de 10 minutos. Após este repouso, cada argamassa foi misturada por mais 1 minuto e, em seguida, descarregada da argamassadeira.



Figura 4.15 – Argamassadeira.

Na primeira série de ensaios, com o sedimento D5, pesquisou-se três traços: 1:1,5;1:3 e 1:4,5, buscando definir qual seria o mais adequado para esse estudo.

Três porcentagens de substituição da areia do rio Jacuí pela areia retirada do arroio Dilúvio, objeto deste estudo, foram testadas.

As argamassas seguintes foram confeccionadas com o traço 1:1:6, com adição da cal, para cada uma das areias: a normal, a do Jacuí e as areias do Dilúvio D6, D7, D9, D10 e D11. Na confecção dessa argamassa mista (cimento, cal e areia), seguiram-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente, diferindo no processo de confecção, quanto à fabricação de uma argamassa intermediária, com a mistura de cal e areia e, após a hidratação por 24h, procedeu-se à confecção da argamassa mista final.

#### 4.2.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova da primeira série de ensaio, com a amostra D5, foi realizada conforme NBR 5738 (ABNT, 2008). No total, 72 corpos-de-prova cilíndricos (Figura 4.16), com dimensões 50x100mm, foram moldados para os ensaios de compressão axial e absorção por imersão.



Figura 4.16 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.

Realizou-se a moldagem dos corpos-de-prova para as demais amostras, conforme NBR 13276 (ABNT, 2005), moldando-se corpos-de-prova com forma prismática, com dimensões de 40x40x160mm. Foram moldados 15 corpos-de-prova, para cada amostra, sendo 75 corpos-de-prova da areia do Dilúvio, 45 da areia normal (Tietê) e 45 da areia comercial (Jacuí), totalizando 165.

Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24h, e mantidos em câmara úmida com temperatura de 23°C +/- 2°C e umidade relativa maior que 95% controladas até os 28 dias.

## **5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA:**

É sabido que a argamassa sofre influência dos seus constituintes, sendo por isso fundamental caracterizar cada um deles. Descrevem-se, neste capítulo, as principais características dos materiais utilizados ao longo do estudo experimental.

### **5.1 CIMENTO**

O cimento é uma mistura de silicato de cálcio e aluminato de cálcio hidratados polimerizados, no interior de uma matriz altamente reticulada, sendo sua característica mais importante, chamada propriedade hidráulica, que é a habilidade de endurecer e manter-se desta maneira, mesmo sob ação da água (PASCHOALINO et al., 2006). O cimento Portland é produzido pela moagem e mistura de calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e outros materiais, contendo silício, alumínio e óxidos de ferro. Depois de misturado, esse material é aquecido em fornos rotativos, a altas temperaturas. Os compostos reagem entre si, formando o chamado "clínquer", que é então resfriado e moído, com pequenas porções de gesso (retardante de pega) e outros aditivos especiais, para produzir o cimento. Nesta pesquisa utilizou-se cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI), da empresa Votorantin Cimentos. De acordo com o fabricante, esse lote apresenta resistência de 46,7MPa, aos 28 dias, e massa específica 2,96  $\text{kg}/\text{dm}^3$ .

Este cimento desenvolve grande resistência nos primeiros dias de idade e é resistente a sulfatos. Além disso, é um cimento que possui um mínimo de adição em sua composição e, portanto, mais adequado para avaliar a substituição de agregados por novos materiais.

### **5.2 CAL**

A cal é um aditivo aglomerante, resultante da calcinação de rochas carbonatadas, predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio, hidratados ou não. Possui elevada capacidade de absorção de água.

A cal utilizada nessa pesquisa foi a cal hidratada comum, CH-II, disponível no comércio, tipo cálcica, da marca Oxi-cal, com baixa resistência e massa específica 2,20  $\text{kg}/\text{dm}^3$ .

### 5.3 ÁGUA:

As águas utilizadas em argamassas e concretos de cimento devem ser limpas e praticamente isentas de óleos, álcalis, sais, matéria orgânica e outros contaminantes. Nessa pesquisa, a água utilizada é potável, proveniente do DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre) e atende às características da NBR 6118 (ABNT, 2007).

### 5.4 AGREGADOS DE REFERÊNCIA:

Foram utilizados como referência dois agregados, cujas características são amplamente conhecidas para efeito de comparações das propriedades mostradas ao longo dos ensaios: o agregado miúdo, extraído do rio Jacuí, e o agregado miúdo, do rio Tietê, que é estabelecida como a areia normal para ensaios de cimento pela NBR 7214 (ABNT, 1982).

Para facilitar a interpretação da distribuição granulométrica, a Tabela abaixo mostra a classificação das areias conforme o diâmetro das partículas:

Tabela 5.1 – Classificação das areias:

<b>Descrição</b>	<b>Diâmetro das Partículas</b>
Areia Fina	0,05 a 0,42 mm
Areia Média	0,42 a 2,0 mm
Areia Grossa	2,0 a 4,8 mm
Pedregulho	4,8mm a 7,6 cm

Fonte: Manual de Pavimentação/ DNER

#### 5.4.1 Areia do Rio Jacuí:

O agregado extraído do leito do rio Jacuí é uma areia predominantemente quartzosa, com até 5% de feldspato. Segundo Recena (1994), na porção mais fina predominam ilmenita, limonita e magnetita; raramente encontra-se muscovita e biotita. Predominam grãos sub-arredondados. No Rio Grande do Sul, é a areia usualmente disponível no comércio. Suas características físicas estão descritas na Tabela 5.2 ao final desse capítulo e, a granulometria do material está representada pela Figura 5.1.

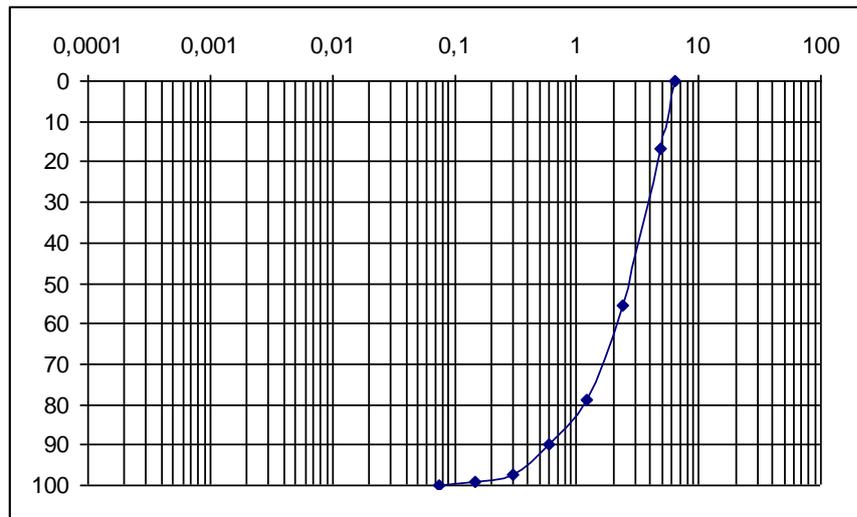


Figura 5.1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo natural.

#### 5.4.2 Agregado de Referência Areia Normal (Areia do Tietê).

O agregado utilizado como referência foi a areia quartzosa, proveniente do leito do rio Tietê, na região de nascentes, produzida e fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). É chamada areia normal, uma vez que pela NBR 7214 (ABNT, 1982) é definida como areia destinada à execução do ensaio de resistência à compressão de cimento Portland. Em sua composição mineralógica, identificada por Takahashi apud Recena (1994), predominam quartzo, feldspato (caolinizado) e alguns grãos de quartzito. Nas frações com granulação mais fina, pode ser encontrado em porcentagem reduzida ou como traço: magnetita, turmalina, estauroлита, silimanita, granada, zirconita, monazita, biotita e cianita. Sua distribuição granulométrica está representada na Figura 5.2.

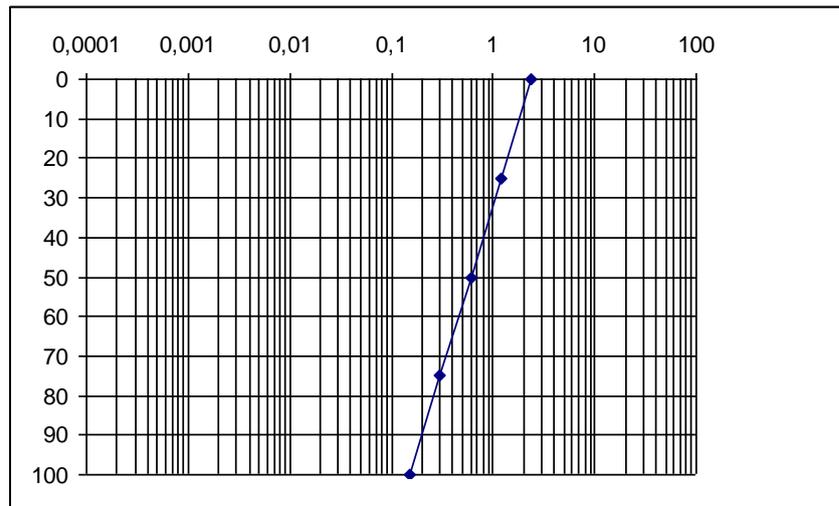


Figura 5.2 : Distribuição granulométrica do agregado miúdo normal (Tietê).

## 5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS DE DRAGAGEM DO ARROIO DILÚVIO

Para utilização das areias dragadas do arroio Dilúvio em argamassas, inicialmente fez-se a análise das características físicas, químicas e biológicas. A comparação entre as características físicas e biológicas das diversas amostras de resíduo do arroio Dilúvio e da areia comercial estão citadas ao final desse capítulo, nas tabelas 5.2 e 5.3, respectivamente.

Baseando-se nos coeficientes de uniformidade (CU) e de curvatura, classificou-se o sedimento quanto à graduação e à distribuição granulométrica. Esses resultados foram calculados para cada curva granulométrica e também se encontram compilados na Tabela 5.4. As características morfológicas estão descritas para as amostras D9, D10 e D11.

A seguir, faz-se a descrição de cada uma das amostras.

### 5.5.1 Amostras D1 a D3

As amostras D1, D2 e D3 foram coletadas por equipes do DMAE, em 06 de março de 2002, e os resultados de caracterização foram apresentados através de Laudo DVP 11/2002, que serviu de base para a análise dessas amostras no presente trabalho.

A amostra D2, próxima à Rua Silva Só, apresentou, conforme o referido laudo, dados de qualidade físico-química indicativos da condição mais desfavorável. Na análise granulométrica, obteve-se predominância de areias média a grossa, no percentual de 56,4%. Ainda, 34,6% de areia fina, 9% de pedregulho, 3,3% de argila e, 5,2% de materiais pulverulentos e friáveis.

As características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas são as seguintes:

- Características físico-químicas: o sedimento apresenta umidade de 21%, pH neutro (7,0). O resíduo seco apresenta teores de matéria orgânica, em termos de DBO5 e DQO, de 506 e 6980 mgO<sub>2</sub>/kg, respectivamente, sendo também observada a presença de nitrogênio total (1680mgN/kg) e fósforo total (320 mgP/kg) e a ausência de óleos e graxas. Quanto aos metais, foi verificada a presença de Alumínio (3900 mgAl/kg), Bário (20mgBa/kg), Chumbo (50mgPb/kg), Mercúrio (0,05mgHg/kg), Níquel (12mgNi/kg) e Zinco (45mgZn/kg). Também foram encontrados, em pequenas quantidades, Arsênio (< 0,38mgAs/kg), Prata (<3mgAg/kg) e Cromo total (<5mgCr/kg).
- Características Bacteriológicas: a análise apontou contaminação de origem fecal, sendo verificada a presença de elevada densidade de organismos *Escherichia Coli* (3.500.000NMP/g) no material seco.
- Características Parasitológicas: foi indicada a presença de ovos de *Ascaris Lumbricoides* e também de ovos de *Toxocara canis*.

### 5.5.2 Amostra D4

A caracterização granulométrica da amostra D4, realizada pelo DMAE (laudo DVP n.o 05/2005), coletada dia 18/05/05, próximo à foz, apresentou predominância de areias médias a grossas (71,8%), 22, 9% areia fina e 5,3 % de pedregulho. Sua distribuição granulométrica é representada pela Figura 5.3.

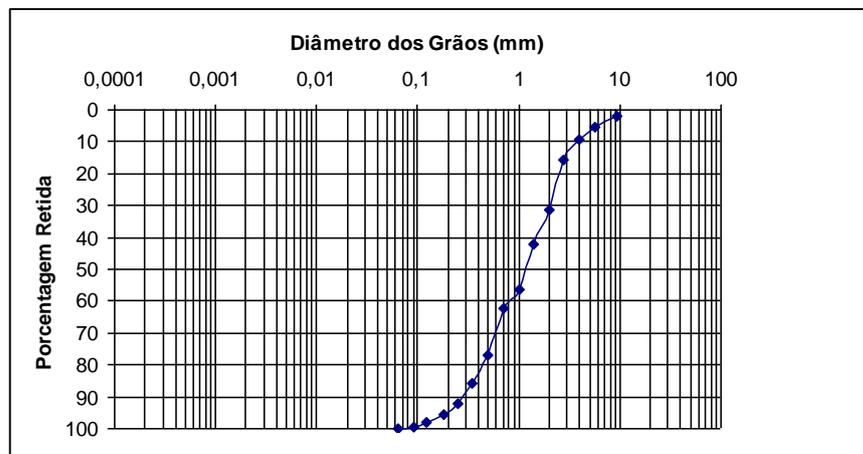


Figura 5.3: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D4 (DMAE)

As características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas da amostra D4 são as seguintes:

- Características físico-químicas: o sedimento apresenta umidade de 4,1%, pH 5,5. O resíduo seco apresenta teores de matéria orgânica, em termos de DQO de 7600mgO<sub>2</sub>/kg, sendo também observada a presença de nitrogênio total Kjeldahl (1250mgN/kg) e fósforo total (400 mgP/kg) e óleos e graxas (1150mg/kg). Quanto aos metais, foi verificada a presença de Alumínio (5300mgAl/kg), Bário (30mgBa/kg), Chumbo (10mgPb/kg), Mercúrio (0,07mgHg/kg), Níquel (<7mgNi/kg), Zinco (78mgZn/kg), Cobre (81mgCu/kg) e Cromo total (14mgCr/kg). Também foram encontrados, em pequenas quantidades, Prata (<3mgAg/kg).
- Características Bacteriológicas: a análise apontou contaminação de origem fecal, sendo verificada a presença de organismos Escherichia Coli (32NMP/g) no material seco.
- Características Parasitológicas: foi indicada a presença de ovos de Ascaris Lumbricóides (3700ovos/kg) e também de ovos de Helmintos (3700ovos/kg).

### 5.5.3 Amostra D5

A amostra D5 foi retirada, por meio de dragas, do trecho entre a Av. João Pessoa e a Av. Azenha. Conforme descrito anteriormente, o material ficou depositado em pilhas descobertas no pátio do DEP, durante 15 dias (Figura 5.4).



Figura 5.4: Coleta do sedimento (a) e características da areia Dilúvio após higienização (b).

A coleta foi realizada em 16 de julho de 2007, período de inverno. O processo de coleta seguiu as recomendações da NBR 10007 (ABNT, 2004).

A distribuição granulométrica do sedimento, referente à amostra D5, está apresentada na Figura 5.5. A fração dominante confere à amostra textura de média a grossa.

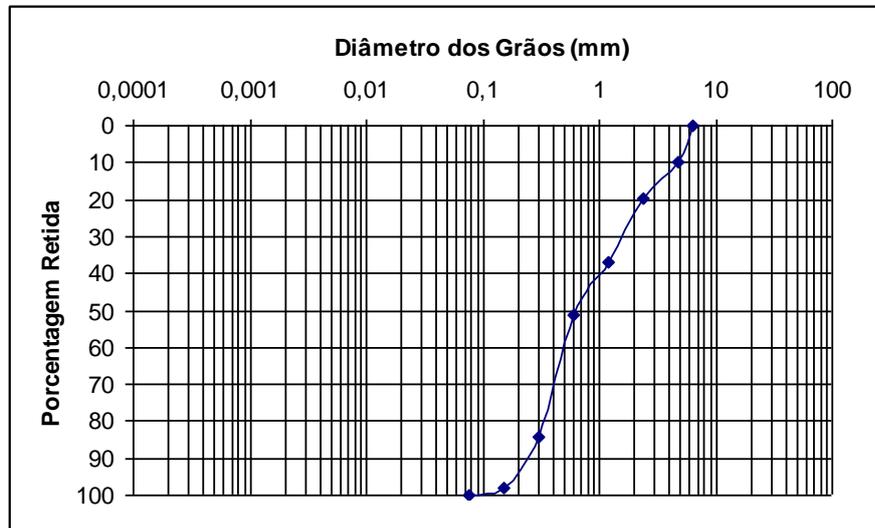


Figura 5.5: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D5

Com o resíduo D5, realizou-se o ensaio de perda por calcinação (600°C), a fim de determinar o teor de matéria orgânica, onde foi encontrado um valor de 3,7% de perda ao fogo. Este valor refere-se ao percentual de matéria orgânica da amostra.

#### 5.5.4 Amostra D6

Na amostragem D6 (Figura 5.6), cuja coleta foi realizada em 13 de fevereiro de 2008, auge do verão, o sedimento foi dragado do trecho entre a Rua Dr. Salvador França e a Rua Arno Vontobel, a coleta foi *in loco*.



Figura 5.6: Visualização do aspecto do sedimento na coleta da amostra D6.

Os procedimentos para higienização foram observados, ficando o sedimento exposto ao sol, a contar de 05 de março, por aproximadamente 30 dias, para eliminação de patógenos.

A granulometria do sedimento na amostra denominada D6, verificada conforme NBR 7181/1984, está demonstrada na Figura 5.7, predominando areia grossa.

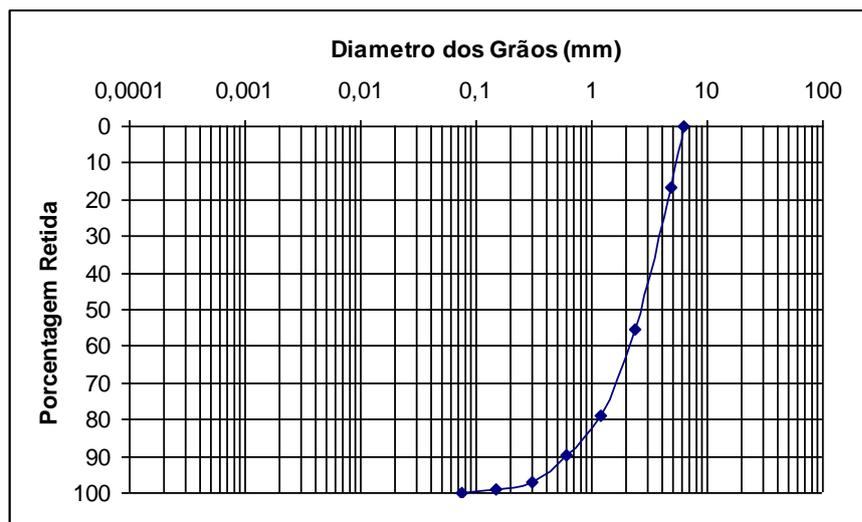


Figura 5.7: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D6.

### 5.5.5 Amostra D7

Na amostragem D7 (Figura 5.8), a coleta foi realizada em 29 de maio de 2008, o sedimento foi dragado do trecho próximo a Vicente da Fontoura, a coleta foi *in loco*. Os procedimentos para higienização quanto aos organismos patogênicos foram observados.



Figura 5.8: Aspecto da areia no local de coleta (amostra D7).

A granulometria do sedimento foi verificada conforme NBR 7181 (ABNT, 1984) predominando areia média a grossa (Figura 5.9).

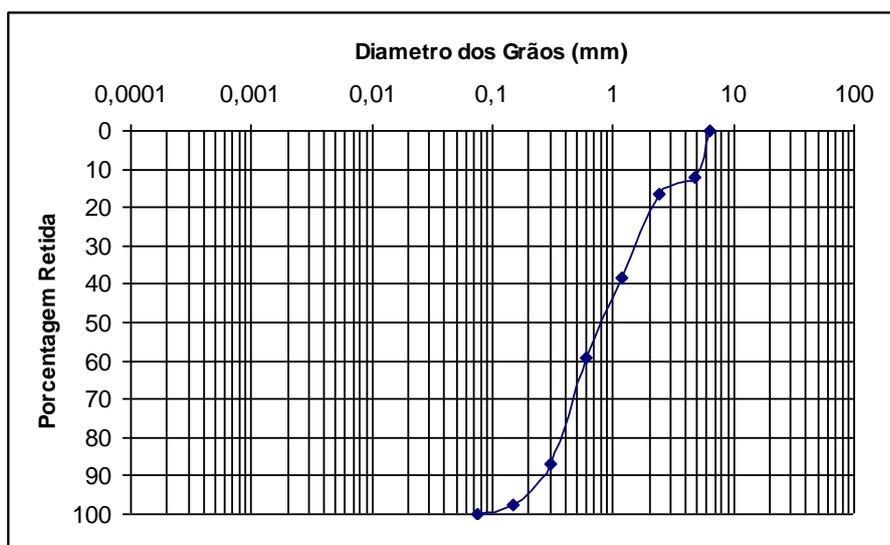


Figura 5.9: Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D7.

### 5.5.6. Amostra D8

Na amostragem D8, a coleta foi realizada em novembro de 2008, o sedimento foi dragado na foz e a coleta foi in loco. Essa amostra teve de ser descartada, visto que durante a secagem a mesma foi lavada por uma chuva repentina, que descaracterizou a amostra.

### 5.5.7 Amostra D9

A amostra D9 foi coletada no mesmo local e em substituição a D8, na foz. Procedeu-se a coleta no dia 16 de janeiro de 2009.

Essa areia apresentou-se com textura grossa e mal graduada. Sua distribuição granulométrica pode ser verificada na Figura 5.10

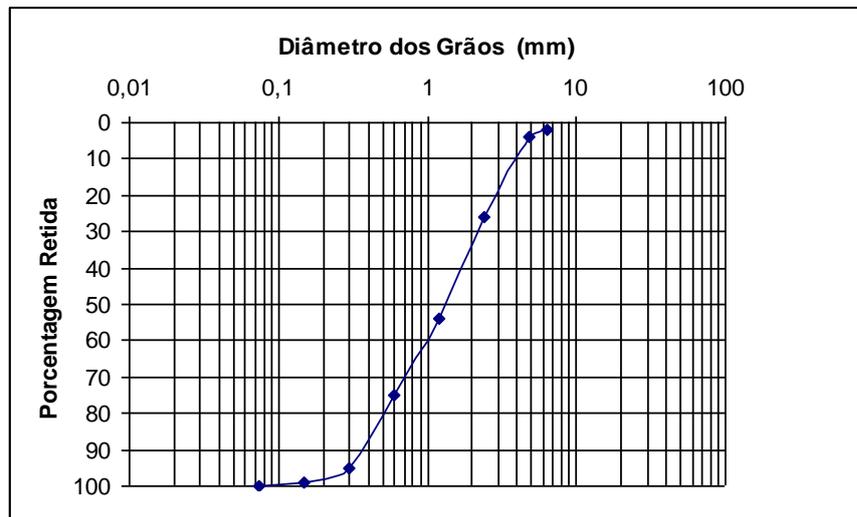


Figura 5.10 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D9

O local da coleta, na foz, diferencia-se dos demais, pois fica numa porção onde o arroio não está retificado. Não tendo as paredes laterais para contenção, há o alargamento do canal. Além disso, por ser o encontro das águas do arroio Dilúvio com as do lago Guaíba, há maior diluição dos contaminantes. Essa peculiaridade pode ser visualizada na Figura 5.11.



Figura 5.11: Foz do arroio, coleta amostra D9.

As características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas são as seguintes:

- Características físico-químicas: o sedimento apresenta alcalinidade de 0,1 mgCaCO<sub>3</sub>/g, pH 6,0. O resíduo seco apresenta teores de matéria orgânica, em termos de porcentagem de perda ao fogo de 2,54 %. Também observada a presença de nitrogênio total de Kjeldahl (0,690mgN/g) e fósforo total (0,50 mgP/g) e a 1,2mg/g de óleos e graxas. Quanto aos metais, foi verificada a presença Chumbo (0,0796 mgPb/g), Mercúrio (0,00003mgHg/g), Cobre (0,2237mgCu/g), Zinco (0,3253mgZn/g) e Cromo total (0,0298mgCr/g).
- Características Bacteriológicas: a análise não apontou contaminação de origem fecal, sendo verificada a presença de baixa densidade de organismos Escherichia Coli (<5 NMP/g) no material seco.
- Características Parasitológicas: não foi detectada a presença de ovos de Helmintos e também não foi detectada a presença de Salmonella.

As características físicas dos grãos podem ser visualizadas na Figura 5.12.



Figura 5.12: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D9

### 5.5.8 Amostra D10

A amostra D10 foi retirada na esquina da Av. Santana (Figura 5.13), porção intermediária da extensão do arroio, proposta nesse estudo. Apresentou características de areia média e mal graduada.

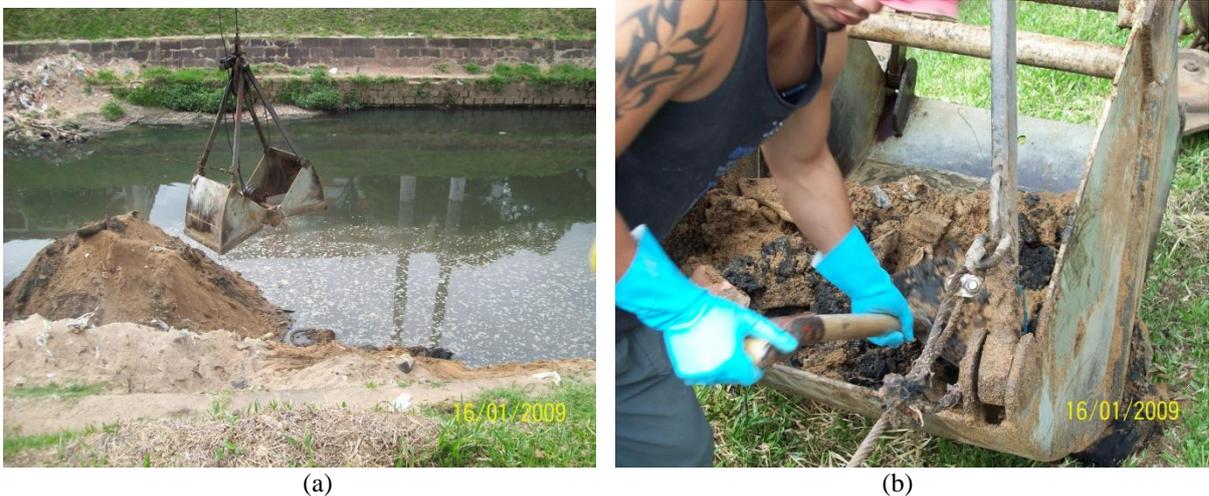


Figura 5.13: Aspecto do sedimento, no local da coleta da amostra D10

A coleta foi realizada no dia 16 de janeiro de 2009. A granulometria do sedimento foi verificada conforme NBR 7181 (ABNT, 1984) e sua distribuição granulométrica pode ser visualizada na Figura 5.14.

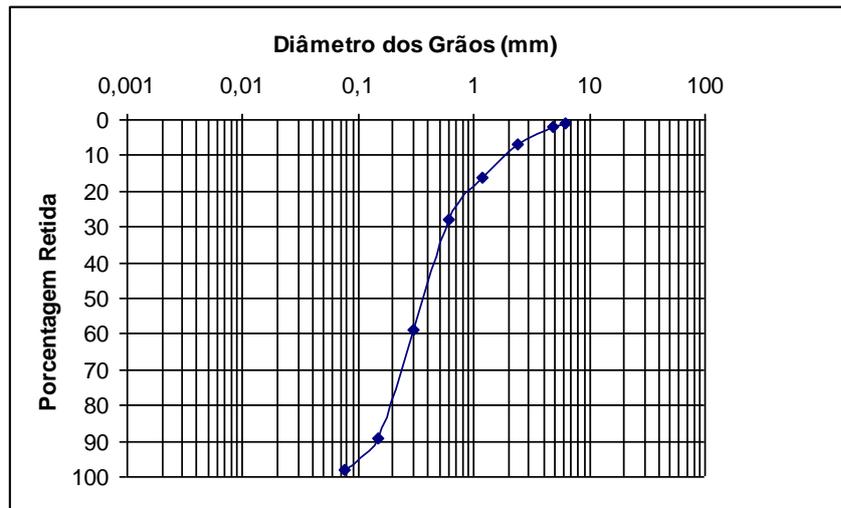


Figura 5.14 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D10

As características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas são as seguintes:

- Características físico-químicas: o sedimento apresenta alcalinidade de 0,2 mgCaCO<sub>3</sub>/g, pH 6,1. O resíduo seco apresenta teores de matéria orgânica, em termos de perda ao fogo de 0,89%, sendo também observada a presença de nitrogênio total de Kjeldahl (1,55mgN/g) e fósforo total (0,30 mgP/g) e a ausência de óleos e graxas. Quanto aos metais, foi verificada a presença de Chumbo (0,1131mgPb/g), Mercúrio (0,00007mgHg/g), Zinco (0,6415mgZn/g) e Cromo total (0,0442mgCr/g).
- Características Bacteriológicas: a análise apontou contaminação de origem fecal, sendo verificada a presença organismos Escherichia Coli (10 NMP/g) e de Coliforme Total (3200 NMP/g) no material seco. Não foi detectada a presença de Salmonella.
- Características Parasitológicas: foi indicada a presença de ovos de Helmintos.

As características físicas dos grãos estão demonstradas na Figura 5.15.



Figura 5.15: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D10

### 5.5.9 Amostra D11

A coleta da amostra D11 foi realizada em 26 de maio de 2009, uma quadra após a PUCRS (Figura 5.16).

Em virtude de dificuldades quanto ao espaço físico para secagem e confecção das caixas de secagem, essas últimas amostras (D9, D10 e D11) só foram dispostas ao sol em 21 de maio de 2009.



Figura 5.16 – Local da coleta D11

Foi caracterizada como areia grossa com cascalho, o que era esperado, visto sua proximidade com a área fonte e pequeno transporte. Sua distribuição granulométrica está representada na Figura (5.17).

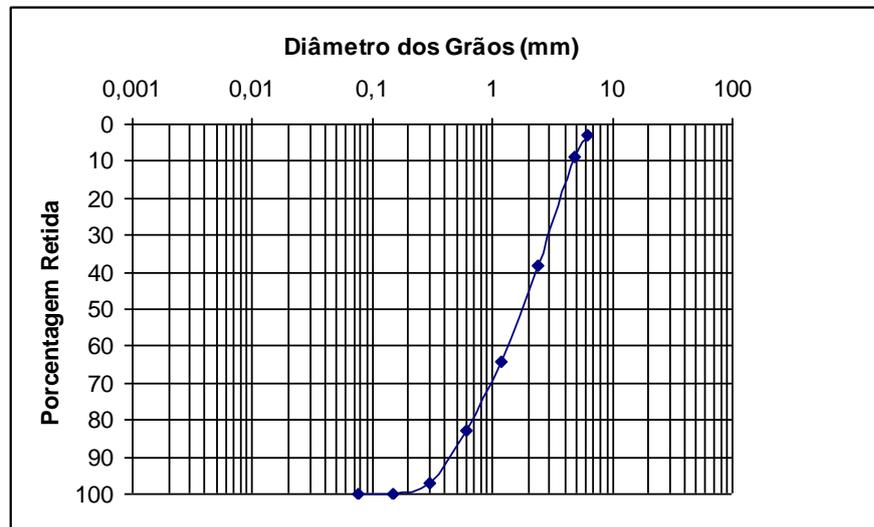


Figura 5.17 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo Dilúvio D11

As características físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas são as seguintes:

- Características físico-químicas: o sedimento apresenta alcalinidade de 0,1 mgCaCO<sub>3</sub>/g, pH de 7,4. Foi observada a presença de nitrogênio total de Kjeldahl (0,43mgN/g) e fósforo total (0,12 mgP/g) e 6mg/g de óleos e graxas. Quanto aos metais, foi verificada a presença de Chumbo (0,041mgPb/g), Zinco (0,3585mgZn/g) e Cromo total (0,0488mgCr/g).
- Características Bacteriológicas: a análise apontou contaminação de origem fecal, sendo verificada a presença de organismos Escherichia Coli (1100NMP/g) e Coliforme Total (5200NMP/g) no material seco.
- Características Parasitológicas: não foi detectada a presença de ovos de Helminetos.

A caracterização física dos grãos está apresentada na Figura 5.18.



Figura 5.18: Visualização dos grãos do agregado Dilúvio D11

De acordo com Von Sperling (1995) a presença de Nitrogênio, nas formas amoniacais e orgânicas (nitrogênio de Kjeldahl), como as detectadas nas amostras estudadas, indica poluição recente por esgoto bruto.

No intuito de cotejar os resultados obtidos para cada uma das amostras, fez-se uma síntese da caracterização física dos sedimentos, que está apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Quadro resumo das características físicas das areias.

<b>Agregado</b>	<b><math>\Phi</math> máx (mm)</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>Massa Específica (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Matéria Orgânica</b>	<b>Inchamento (%)</b>
Jacuí	4,8	3,19	2,6	-	-
D1	-	-	-	-	-
D2	-	-	-	300 ppm	-
D3	-	3,66	-	-	-
D4	4,8	3,43	-	986mg/g	-
D5	4,8	2,99	2,26	37.000 ppm	2,17
D6	4,8	4,37	2,51	-	-
D7	4,8	2,91	2,67	-	-
D9	4,8	3,53	2,47	8700ppm	-
D10	4,8	2	-	25400ppm	-
D11	4,8	3,89	2,53	8900ppm	-

Os parâmetros indicativos de contaminação biológica estão apresentados de forma sucinta na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Quadro resumo das análises biológicas:

Ensaio/Amostra	Salmonela	Helmintos ovos/g bs	Coliforme total NMP/g bs	Escherichia Coli NMP/g bs
Jacuí	-	-	510.000	34.000
D1	-	-	240.000	
D2	-	-	35.000.000	360.000
D3	-	-	28.000.000	3.300.000
D4	-	3,7	2.900	32
D9	-	-	<5	<5
D10	-	0,7	3.200	10
D11	-	-	5.200	1.100
CONAMA 375/06 (limite agricultura)	Ausência em 10g	<0,25 ovo/g	-	-

Fonte: Laudo Técnico da DVP/DMAE realizado através de convênio com o DEP.

Ainda, conforme laudo n.º 11 da DVP/DMAE, considerando os ensaios parasitológicos das amostras D1, D2, D3 e D4, 80% das amostras apresentaram presença de ovos de *Ascaris Lumbricóides* e, 20% apresentaram *Toxocara Canis*.

Quanto ao coeficiente de uniformidade (CU) e de curvatura (CC), os resultados para as areias do Dilúvio e Jacuí estão sintetizados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Valores obtidos no cálculo dos coeficientes de uniformidade e de curvatura:

Amostra	CC	CU	Conclusão
D4	0,8	5	Distribuição uniforme mal graduada
D5	0,64	4	Distribuição uniforme mal graduada
D6	1,45	5,08	Bem graduado, medianamente uniforme
D7	0,81	3,93	Distribuição uniforme mal graduada
D9	0,71	4,73	Distribuição uniforme mal graduada
D10	0,85	3	Distribuição uniforme mal graduada
D11	1	5,11	Bem graduado, medianamente uniforme
Jacuí	0,84	2	Distribuição uniforme mal graduada

CC=1 a 3 bem graduado

CU= até 5 uniforme ; 5 a 15 medianamente uniforme; acima de 15 não uniforme

Da análise da Tabela 5.4, conclui-se a tendência das areias do arroio Dilúvio possuírem distribuição uniforme e mal graduada a semelhança das areias do rio Jacuí.

## 5.6 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM AS AREIAS DE DRAGAGEM (D5, D6, D7, D9, D10 E D11).

Para a apreciação do desempenho das areias do arroio Dilúvio, incorporadas em argamassas, foram realizados ensaios que demonstram quesitos relacionados com a resistência mecânica, a durabilidade e riscos de contaminação, através da lixiviação de metais pesados. Para cada mistura fez-se, também, argamassas com os agregados de referência (Jacuí e Tietê).

A resistência característica à compressão foi calculada, com a finalidade de verificar a possibilidade de uso do sedimento em peças de concreto para pavimentação, conforme NBR 9781 (ABNT, 1987), usando-se a fórmula:

$$f_{pk} = f_p - t \cdot s, \text{ onde:} \quad (\text{equação 3})$$

$f_{pk}$  é a resistência característica à compressão,

$f_p$  é a resistência média das peças ensaiadas,

$f_{pi}$  é a resistência individual das peças,

$t$  é o coeficiente de Student (tabelado em função do tamanho da amostra) e,

$s$  é o desvio padrão, calculado por:

$$s = (\sum(f_p - f_{pi})^2 / n - 1)^{1/2} \quad (\text{equação 4})$$

As peças de concreto para pavimentação, ao contrário de argamassas para assentamento ou para revestimento de paredes e tetos, são um dos usos em que há necessidade de alcançar uma resistência à compressão mínima, capaz de suportar a solicitação imposta pelo trânsito de veículos. Através do cálculo da resistência característica à compressão, pode-se verificar se as peças confeccionadas com adição do resíduo atendem às condições mínimas exigidas por norma, para pré-moldados destinados à pavimentação, no quesito desempenho mecânico.

### 5.6.1 Argamassa com a areia D5

Juntamente com a argamassa feita com a areia D5, fez-se, para referência, argamassa com areia do rio Jacuí. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, média referente aos três corpos-de-prova por amostra, estão descritos na Tabela 5.5:

Tabela 5.5: Valores médios de resistência à compressão, obtidos para a amostra D5:

Amostra	Traço	% substituição	Resistência Média aos 28 dias de cura (MPa)	a/c
Jacuí	1:1,5	-	55,63	0,36
D5		50	33,99	0,40
		100	20,13	0,48
Jacuí	1:3	-	39,73	0,44
D5		50	23,44	0,59
		100	14,70	0,75
Jacuí	1:4,5	-	24,46	0,68
D5		50	23,11	0,82
		100	15,06	0,94

### 5.6.2 Argamassa com as areias D6 e D7

As argamassas com as areias D6 foram confeccionadas com traço e a relação a/c, ou seja, a quantidade de água em relação ao aglomerante de 1:1:6 e 0,60.

#### 5.6.2.1 Resultados das Propriedades Mecânicas

Os resultados, média dos 3 corpos-de-prova de cada amostra, dos ensaios de resistência à compressão e resistência característica à compressão das amostras confeccionadas com a areia retirada na operação de dragagem do arroio Dilúvio e as de referências do Tietê e do Jacuí estão apresentados na Tabela 5.6:

Tabela 5.6: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial:

Amostra	Resistência aos 7 dias cura (MPa)	Resistência aos 28 dias cura (MPa)	a/c	Resistência Característica Compressão (MPa)
D6	19,79	20,98	0,60	19,44
Jacuí	18,42	20,12	0,60	17,86
Tietê	12,31	12,71	0,60	10,61

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, para as amostras D6 e as de referência, estão apresentados na Tabela 5.7:

Tabela 5.7: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão:

Amostra	Resistência Média aos 7 dias cura (MPa)	Resistência Média aos 28 dias cura (MPa)	a/c
D6	4,88	5,54	0,60
Jacuí	5,18	5,19	0,60
Tietê	3,63	4,76	0,60

Em vista dos valores apresentados conclui-se que, em média, as resistências à tração na flexão mantiveram-se semelhantes, em torno de 4 MPa.

Os resultados obtidos para as argamassas confeccionadas com as areias D7 e as areias de referência para comparação, estão sintetizados na Tabela 5.8. O traço e a relação água/cimento (a/c), ou seja, a quantidade de água em relação ao aglomerante, adotados nesse ensaio foi de 1:1:6 e 0,76.

Tabela 5.8: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial.

Amostra	Resistência aos 7 dias cura (MPa)	Resistência aos 28 dias cura (MPa)	a/c	Resistência Característica à Compressão (MPa)
D7	8,59	10,14	0,76	7,71
Jacuí	9,43	14,62	0,76	8,35
Tietê	10,9	13,96	0,76	12,62

Os valores alcançados no ensaio de resistência à tração na flexão, para os tempos de cura de 7 e 28 dias, estão descritos na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão:

Amostra	Resistência aos 7 dias cura (MPa)	Resistência aos 28 dias cura (MPa)	a/c
D7	3,12	3,71	0,76
Jacuí	3,07	4,21	0,76
Tietê	3,62	3,27	0,76

### 5.6.2.2 Resultados dos Ensaio de Difração de Raios-X

Os difratogramas de raios-X para o sedimento do arroio Dilúvio mostraram a presença de quartzo, carbonato de cálcio e silicato de cálcio em sua composição química.

Para a argamassa com esses sedimentos, os resultados apresentados foram: quartzo, carbonato de cálcio, silicato de cálcio, portlandita, diopsídio, larnita ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ). Já para a argamassa com a areia do Jacuí, encontrou-se quartzo, carbonato de cálcio, silicato de cálcio, portlandita, larnita e valerita.

Os difratogramas para as argamassas com sedimento de dragagem e para as argamassas de referência (rio Jacuí) apresentaram picos semelhantes, diferindo apenas pela presença de diopsídio ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) e ausência da valerita ( $\text{CaCO}_3$ ) na argamassa experimental, que pode ser conferido pelos difratogramas dos anexos D, E e F.

### 5.6.2.3 Resultados dos Ensaio de Fluorescência.

Os resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X, para detecção de óxidos, realizado para o resíduo, para a argamassa com o resíduo incorporado e, para a areia comercial do rio Jacuí, estão descritos na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X.

Óxido detectado	Areia Jacuí	Areia Dilúvio: D6 e D7		CP's Dilúvio
$\text{SiO}_2$	51,66	85,38	86,31	57,04
$\text{CaO}$	34,52	1,15	0,98	28,07
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,91	6,48	5,85	7,29
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,71	2,21	1,92	2,95
$\text{K}_2\text{O}$	1,58	4,54	4,43	2,21
$\text{MgO}$	1,18	-	0,08	1,17
$\text{SO}_3$	1,05	-	-	0,81
$\text{TiO}_2$	0,18	-	0,24	0,38
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,06	-	-	-
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,06	0,08	-	0,06
$\text{SrO}$	0,05	-	-	0,02
$\text{Na}_2\text{O}$	-	0,15	0,08	-

### 5.6.3 Argamassas com a areia D9, D10 e D11

As argamassas com areia D9, D10 e D11 foram confeccionadas concomitantemente, por este motivo fez-se uma única amostragem para as areias de referência. Essas argamassas tiveram o mesmo traço das anteriores; no entanto, devido à baixa trabalhabilidade, teve-se que fixar o abatimento em 270mm +/- 10mm e variar a proporção a/c.

#### 5.6.3.1 Resultados das Propriedades Mecânicas

Os dados referentes à resistência mecânica, média dos três corpos-de-prova de cada amostra, obtidos para as argamassas com as areias D9, D10 e D11, estão apresentados nas Tabelas 5.11 e 5.12, a seguir.

Tabela 5.11: Valores médios obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial:

Amostra	Resistência aos 7 dias cura (MPa)	Resistência aos 28 dias cura (MPa)	a/c	Resistência Característica Compressão (MPa)
D9	8,68	11,67	0,56	11,11
D10	4,27	6,25	0,71	5,98
D11	8,01	11,28	0,62	10,79
Jacuí	7,53	10,96	0,57	10,18
Tietê	5,67	8,23	0,64	7,82

Observa-se que as areias D9, D11 e Jacuí tiveram comportamento semelhante, quanto à compressão axial.

Tabela 5.12: Valores médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão:

Amostra	Resistência aos 7 dias cura (MPa)	Resistência aos 28 dias cura (MPa)	a/c
D9	2,96	3,90	0,56
D10	1,67	2,41	0,71
D11	2,53	3,82	0,62
Jacuí	2,41	3,55	0,57
Tietê	1,87	2,65	0,64

O ensaio de aderência das juntas confeccionadas com a argamassa de referência (Jacuí) e com a incorporação da areia de dragagem do arroio Dilúvio resultou na Tabela 5.13, onde se descreve as resistências obtidas para cada uma das três juntas ensaiadas. Nos locais em que

não há valores discriminados significam que foram desconsiderados, por problemas no ensaio, inconsistência nos resultados.

Tabela 5.13: Resultados dos ensaios de resistência de aderência aos 7 dias:

Amostra	Resistência 1.a junta (MPa)	Resistência 2.a junta (MPa)	Resistência 3.a junta (MPa)
Jacuí	0,26	0,41	-
	0,34	-	-
	0,21	0,72	0,31
<b>Média*</b>	<b>0,27</b>	<b>0,38</b>	<b>0,10</b>
D9	0,26	0,25	-
	0,11	0,27	0,11
	-	-	-
<b>Média*</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,06</b>
D10	0,13	0,15	0,23
	0,21	0,18	0,15
	0,15	-	-
<b>Média*</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>
D11	0,12	0,25	0,24
	0,16	0,44	0,30
	0,15	0,17	0,33
<b>Média*</b>	<b>0,14</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>

\* Refere-se à média dos três corpos-de-prova.

Na Tabela 5.14, a seguir, estão descritos os resultados da resistência de aderência das juntas aos 28 dias:

Tabela 5.14: Resultados dos ensaios de resistência de aderência aos 28 dias:

Amostra	Resistência 1.a junta (MPa)	Resistência 2.a junta (MPa)	Resistência 3.a junta (MPa)
Jacuí	-	0,36	0,26
	-	-	-
	0,64	0,48	0,31
<b>Média*</b>	<b>0,32</b>	<b>0,42</b>	<b>0,29</b>
D9	-	-	-
	0,08	0,15	0,11
	-	0,21	0,10
<b>Média*</b>	<b>0,04</b>	<b>0,18</b>	<b>0,11</b>
D10	0,21	0,12	0,09
	0,18	-	0,04
	0,09	0,10	0,04
<b>Média*</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>
D11	0,30	0,24	0,29
	-	0,07	-
	0,21	0,17	0,30
<b>Média*</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>

\* Refere-se à média dos três corpos-de-prova.

### 5.6.3.2 Resultado do Ensaio de Lixiviação

Os resultados obtidos através da análise do extrato lixiviado ácido para metais foi compilado para melhor visualização dos dados, sendo apresentado na Tabela 5.15:

Tabela 5.15: Quadro comparativo de metais em extrato lixiviado (mg/L):

Parâmetros	Resíduo			Argamassa com o Resíduo			Lixiviação do monolito		Limite NBR	Limite CON
	D9	D10	D11	D9	D10	D11	6h	864h		
Cobre	0,28	0,2	0,17	0,021	0,028	0,1	0,01	0,008	NE	1
Chumbo	0,13	0,09	2,18	0,025	0,04	0,013	0,02	<0,021	1	0,5
Zinco	2,29	3,2	1,49	0,112	0,017	0,34	0,02	<0,02	NE	5
Cromo	0,02	0,02	0,02	0,056	0,056	0,041	0,004	<0,004	5	0,5
Cadmio	0,01	0,01	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	ND	ND	0,5	0,2
Merúrio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	ND	ND	0,1	0,01

Devido ao elevado custo para realização deste ensaio, para todos os metais sugeridos por norma, optou-se pela pesquisa de seis metais e, para as últimas coletas, no entanto, escolheu-se pontos distribuídos ao longo do arroio, nas zonas de alto, médio a alto e médio a baixo impacto antrópico, que os torna representativos do todo.

### 5.6.3.3 Resultados da Morfologia dos Grãos

A análise morfológica dos grãos das areias retiradas do arroio Dilúvio, nas coletas D9, D10 e D11, mostraram os comportamentos representados nas Figuras 5.19, 5.20 e 5.21.

Para ilustrar e facilitar o entendimento sobre a textura superficial dos grãos, na Figura 5.22 exemplifica-se os grãos mamelonado, liso e sacaróide.

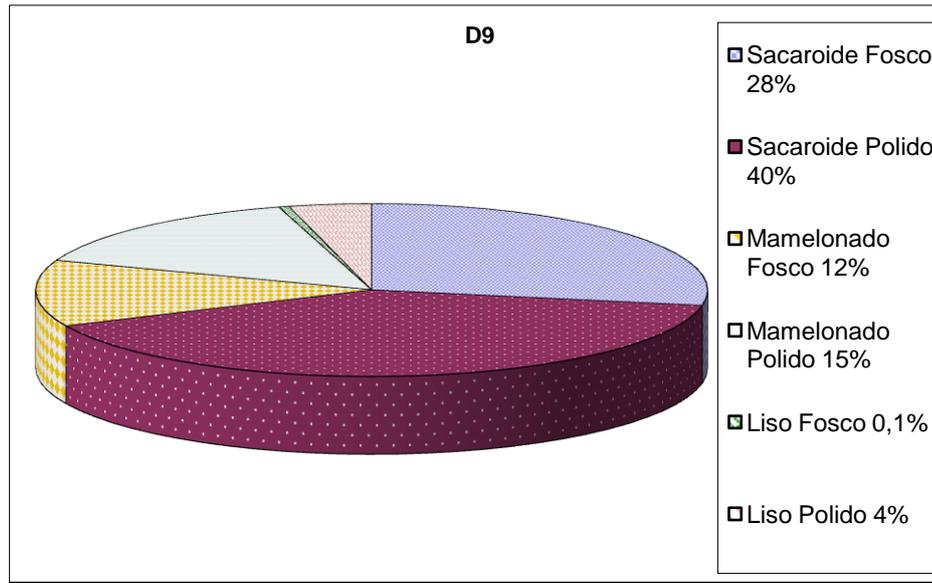


Figura 5.19: Textura superficial apresentada pela areia D9

Na areia D9 houve predomínio de grão com textura sacaróide polido, em torno de 40%, que indica grãos com maior intensidade de transporte.

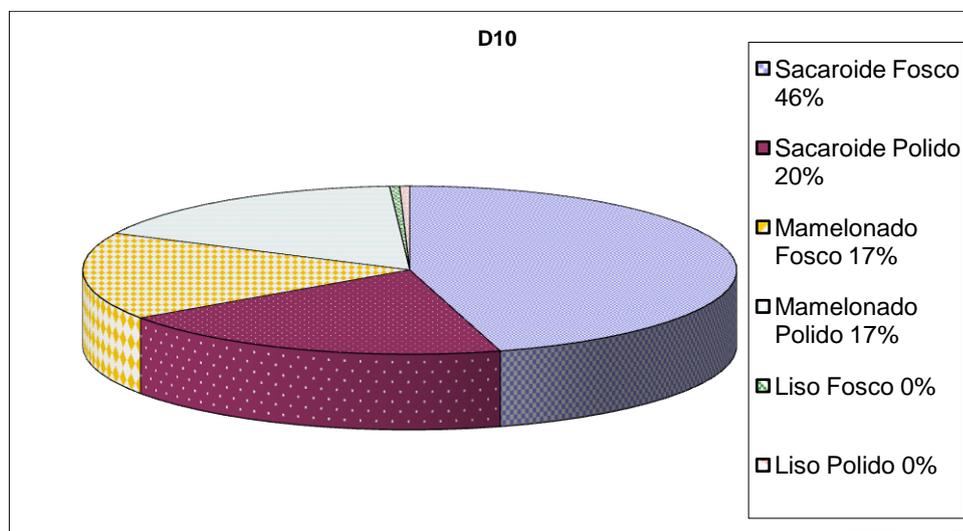


Figura 5.20: Textura superficial apresentada pela areia D10

Na areia D10, a maior parte dos grãos, cerca de 46%, apresentou textura sacaróide fosco.

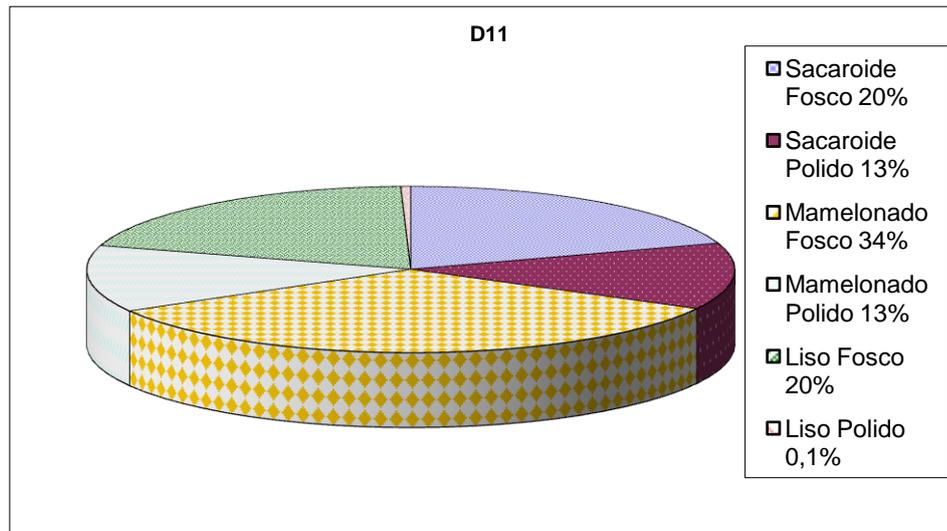


Figura 5.21: Textura superficial apresentada pela areia D11

Conforme a Figura 5.21, observa-se que para a areia D11 predominam grãos com textura mamelonado fosco (34%). Para melhor compreensão, observando a figura 5.22, pode-se perceber a diferença entre as texturas de um grão liso, sacaróide e mamelonado.

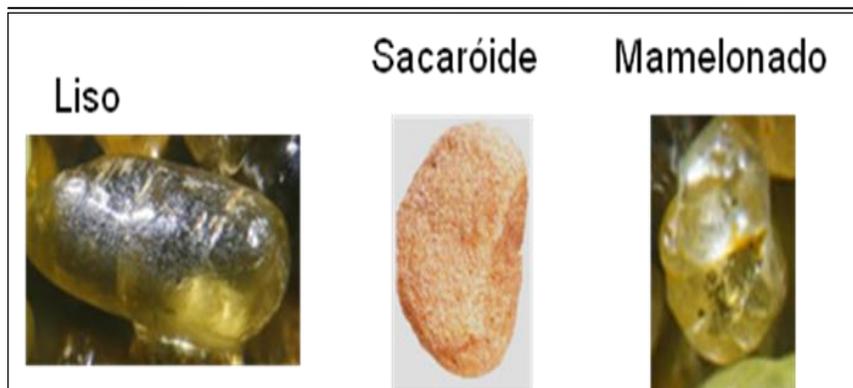


Figura 5.22: Exemplos de textura superficial

Quanto ao grau de arredondamento dos grãos, pode-se verificar, na Figura 5.23, que, para a amostra D11, predominam grãos angulares, indicando pequeno transporte, proximidade com a rocha fonte. Na areia da amostra D10 predominam grãos subangulares e, na amostra D9, a maior parte dos grãos são arredondados, indicando maior transporte o que se confirma, pois essa amostragem situa-se na foz, local em que chegam os grãos transportados ao longo do percurso do canal do arroio e, certamente, mais distante da rocha fonte.

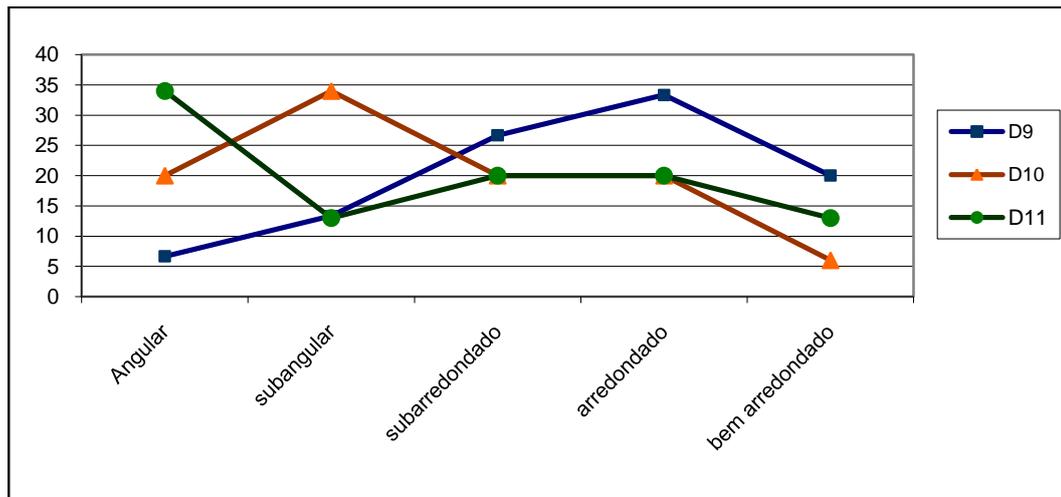


Figura 5.23: Gráfico representando o arredondamento dos grãos

Quanto a esfericidade, podemos avaliar o comportamento dos grãos através gráfico representado na Figura 5.24:

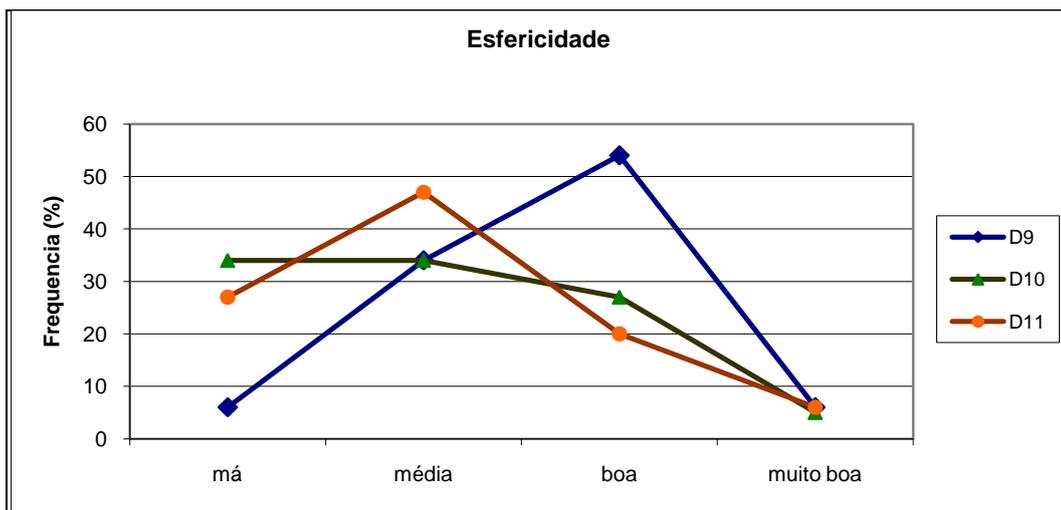


Figura 5.24: Gráfico representando a tendência de esfericidade dos grãos

A areia D11 apresentou grau de esfericidade médio. Já, na areia D10 houve a tendência de um intervalo predominante, com grau de esfericidade de média a má. Na amostra D9 houve domínio de boa esfericidade. Através da análise desses resultados conclui-se que há uma variação no grau de esfericidade dos grãos, ao longo do arroio. A amostra D9 e D11 apresentam resultados esperados, uma vez que, quanto mais próxima da rocha fonte, menor o transporte, logo, menor o grau de esfericidade. No entanto, a amostra D10 apresentou frequência de má esfericidade, o que não seria o esperado no curso médio do arroio. Essa anomalia, provavelmente, reflete a influência de carga de sedimentos, vinda na canalização pluvial e de outros arroios afluentes.

#### 5.6.3.4 Resultados da Porosimetria das Argamassas com areia D9, D10 e D11.

As curvas porosimétricas mostraram resultados coerentes na seqüência de amostras, indicando comportamento similar para as argamassas confeccionadas com sedimento do arroio Dilúvio, com predomínio de mesoporos. Nos anexos A, B e C encontram-se as curvas de distribuição do tamanho dos poros, porosidade e raio médio do poro, obtidos por intrusão de mercúrio.

#### 5.6.3.5 Resultados da Absorção de Água por Capilaridade das Argamassas com areia D6, D9, D10 e D11.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção por capilaridade, que refletem propriedades associadas a durabilidade, para os corpos-de-prova moldados com a amostra de areia do arroio Dilúvio, Jacuí e Tietê, estão listados na Tabela 5.16:

Tabela 5.16: Valores obtidos para absorção de água (g/cm<sup>2</sup>):

Amostra/Tempo (h)	a/c	0,17	1,5	24	48	72
D6	0,60	27,49375	27,71042	28,725	29,12083	29,28333
D9	0,56	31,66042	31,875	32,86875	33,16458	33,30417
D10	0,71	28,22708	28,60417	29,88958	30,26875	30,525
D11	0,62	31,53542	31,78333	32,79375	33,12708	33,35208
Jacuí	0,57	30,15833	30,33854	31,34479	31,74167	31,97396
Tietê	0,64	29,29688	29,59583	31,08229	31,55833	31,77708

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados da caracterização das areias de dragagem do arroio Dilúvio e das argamassas confeccionadas com as mesmas, discorre-se, a seguir, sobre os dados apresentados para cada amostra.

### 6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES DAS ARGAMASSAS COM AREIA D5 (CARACTERIZADA NO ITEM 5.5.3)

Os ensaios de compressão para a primeira argamassa confeccionada sem adição de cal foram realizados aos 28 dias de cura. Os valores de resistência à compressão representam a média obtida para os cinco corpos-de-prova rompidos, para cada um dos traços, com as respectivas proporções de agregado miúdo (0%, 50% e 100% de areia Dilúvio), foram apresentados na Tabela 5.5. As resistências máximas obtidas para os corpos-de-prova moldados com traço 1:1,5, representados na Figura 6.1, mostram que, com a substituição de 50% do agregado miúdo natural (AMN), por agregado miúdo Dilúvio (AMD), a resistência em relação ao corpos-de-prova de referência cai em 38,6% (de 55,6MPa para 33,99MPa). Com 100% de substituição do agregado miúdo, a resistência média é de 20,13MPa, representando uma queda de 63,79% em relação à argamassa de referência.

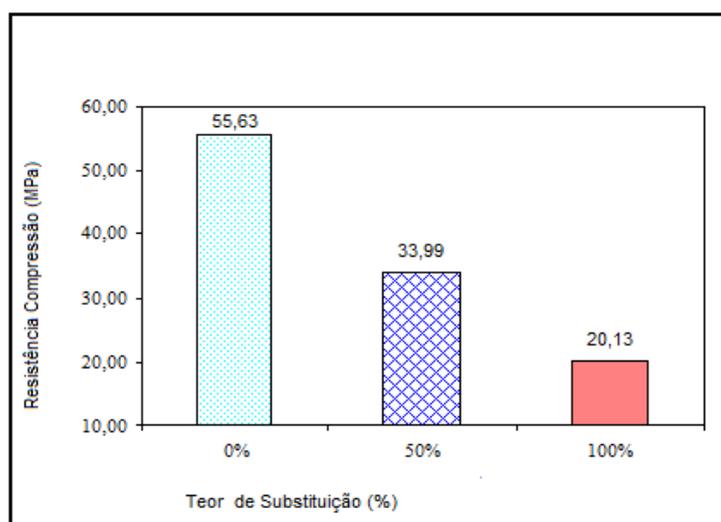


Figura 6.1: Resistência à compressão simples de CP's, com diferentes teores de substituição de agregado miúdo, para traço 1:1,5.

Comportamento semelhante foi observado com os demais traços. Conforme se observa na Figura 6.2 (a), referente à resistência à compressão simples para o traço 1:3, com a substituição de 50 % do agregado miúdo natural pelo AMD, a resistência atinge 23,44MPa, representando uma diminuição de 41%, em relação à argamassa referência (39,73MPa).

Com 100 % de substituição esse valor passa para 14,7MPa representando uma queda de 63% na resistência em relação ao referência. Na Figura 6.2 (b) pode-se observar que a substituição de 50% do agregado natural pelo agregado Dilúvio, no traço 1:4,5, representou uma queda de 5,5% na resistência, se comparado com a argamassa referência (de 24,46 MPa no referência, para 23,11MPa, com 50% de AMD). Para a utilização de 100% do agregado miúdo Dilúvio (AMD), a resistência obtida foi de 15,06 MPa, o que representa uma perda de resistência em torno de 38,43%.

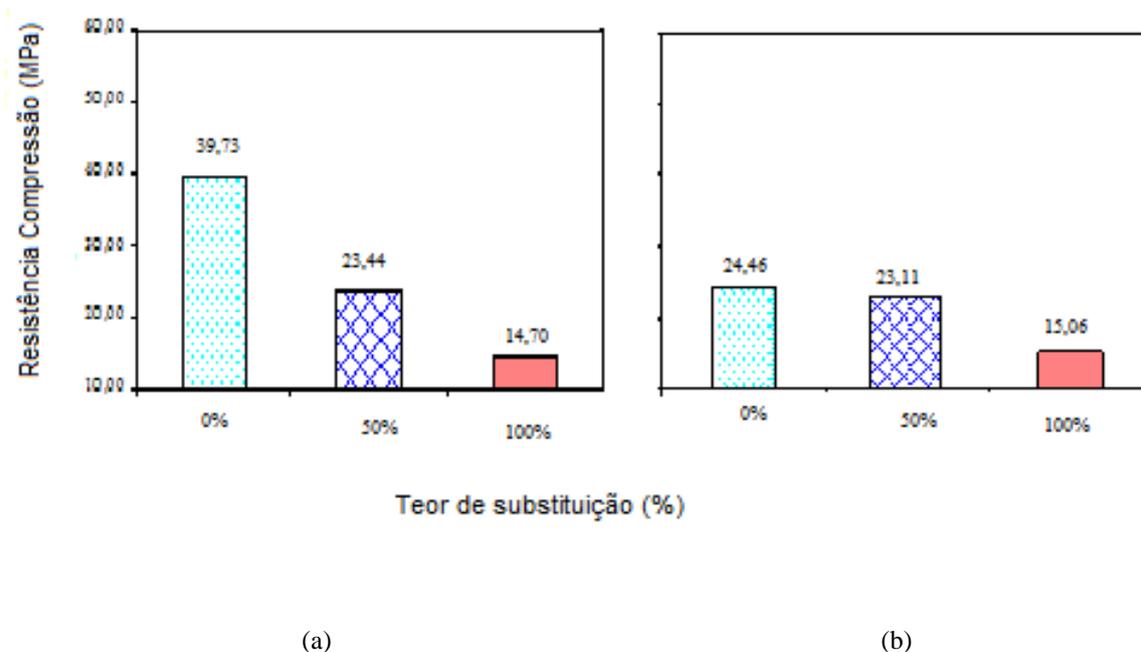


Figura 6.2: Resistência à compressão simples de CP's, com diferentes teores de substituição de agregado miúdo, para traço (a) 1:3 e (b) 1:4,5.

Nos dois primeiros ensaios observou-se a diminuição de mais de 50% da tensão de ruptura, para os corpos-de-prova com 100% de areia de dragagem do arroio Dilúvio, em relação ao de referência.

## 6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DAS ARGAMASSAS COM SEDIMENTO DRAGADO (D6, D7, D9, D10 E D11).

Nessas argamassas houve adição de cal e o traço foi de 1:1:6, com 100% de substituição do agregado miúdo pela areia de dragagem do arroio Dilúvio, caracterizadas nos itens 5.5.6 a 5.5.9.

Sabendo-se que para cada amostra de areia foi realizada uma seqüência de ensaios e, em virtude de variações nas condições de confecção de cada conjunto de argamassa, tais como: mudança do operador, do equipamento de mistura (argamassadeira) e temperatura; optou-se pela análise comparativa em função do lote de ensaio de mesma data, dando-se menor relevância à relação água/cimento, visto que esse parâmetro não teve influência determinante no comportamento dessas argamassas.

Considerando-se a argamassa confeccionada com a areia normal (Tietê), a argamassa referência, observou-se que as argamassas com a areia em estudo apresentaram bom desempenho. Obtiveram-se as resistências à compressão, conforme os gráficos das Figuras 6.3 e 6.4, para os 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

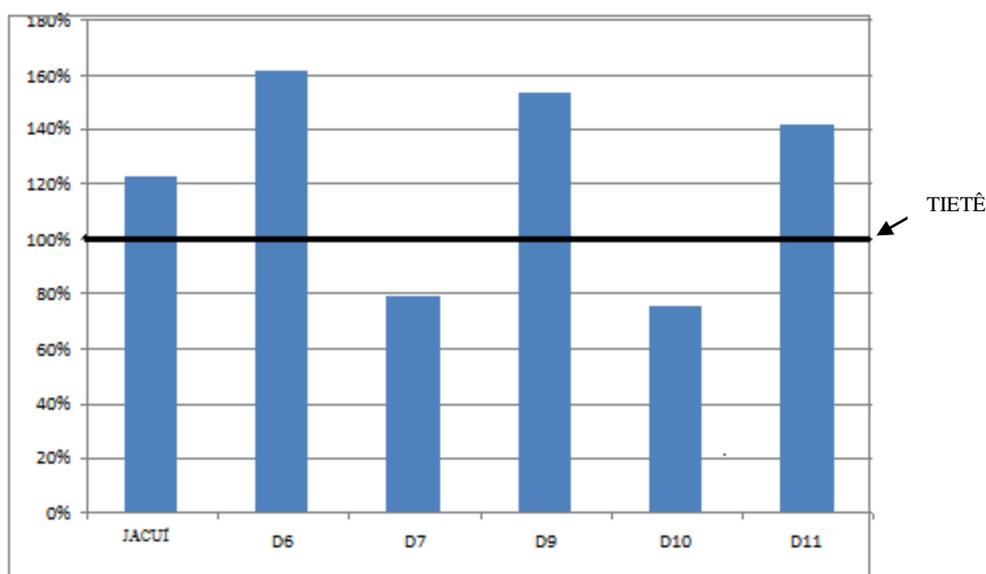


Figura 6.3: Gráfico percentual da resistência média à compressão axial aos 7 dias de cura

Pela análise do gráfico de resistência à compressão, aos 7 dias de cura, tomando por padrão de comparação a argamassa com a areia normal (Tietê), as amostras D6 e D11, localizadas à

montante do arroio, com distribuição medianamente uniforme e bem graduadas e, a amostra D9, coletada na foz, e com distribuição uniforme e mal graduada; resultaram em argamassas com performance superior à argamassa de referência e a do rio Jacuí.

Verificou-se que as argamassas confeccionadas com a areia D7 e D10, ambas coletadas na porção média do arroio, apresentaram comportamento semelhante entre si e, baixo desempenho em relação à argamassa de referência.

Essas areias apresentaram distribuição uniforme e mal graduada.

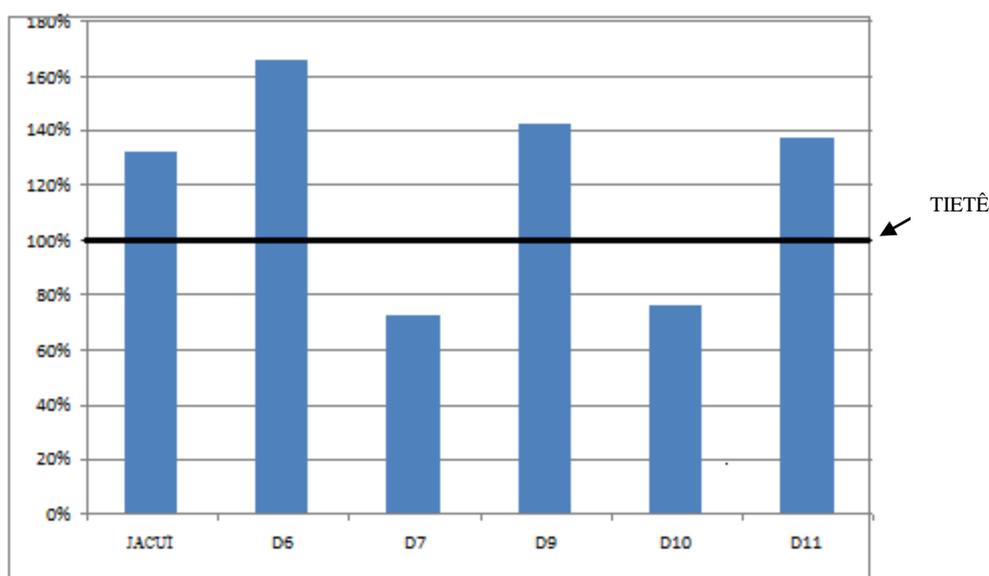


Figura 6.4: Gráfico percentual de resistência média à compressão axial aos 28 dias de cura

Pelo gráfico de resistência à compressão aos 28 dias de cura e tomando por padrão para comparação a argamassa com a areia normal (Tietê), verifica-se que a argamassa confeccionada com a areia Jacuí, D6, D9 e D11 apresentaram um desempenho superior, em torno de 20 a 60%, em relação à referência.

As argamassas com areia D7 e D10, alcançaram valores de resistência à compressão semelhante, no entanto, mantendo-se em proporções abaixo do Tietê.

### 6.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DAS ARGAMASSAS COM SEDIMENTO DRAGADO (D6, D7, D9, D10 E D11).

A resistência à tração na flexão, apresentada pelos corpos-de-prova confeccionados com argamassa mista, no traço 1:1:6 com a adição da cal, está apresentada no gráfico representado na Figura 6.5.

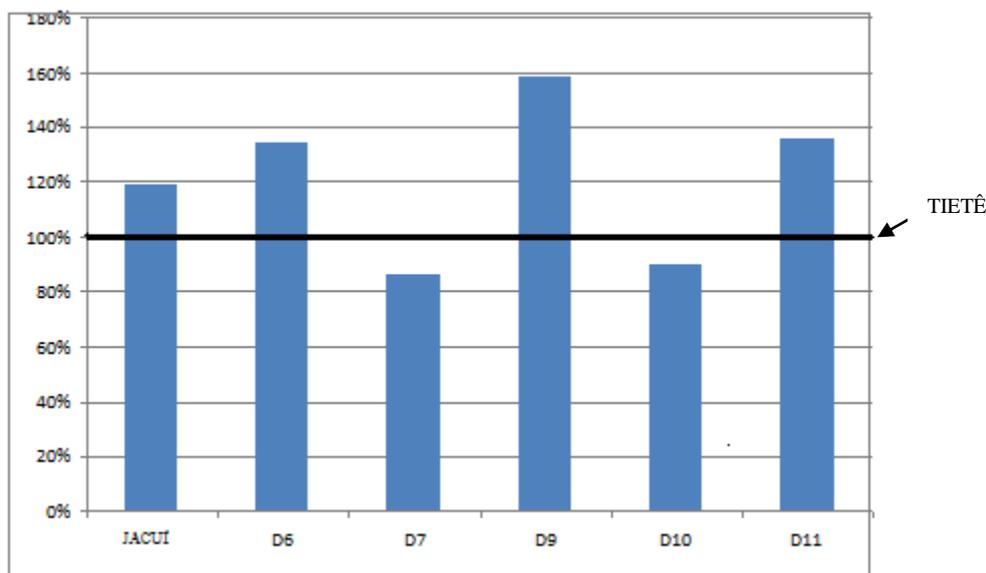


Figura 6.5 – Gráfico de resistência média à tração na flexão aos 7 dias de cura

Observou-se que as amostras D6 e D11, localizadas mais próximas da nascente, considerada uma zona de médio a médio a baixo impacto e, a D9, junto à foz, considerada uma região de alto impacto, apresentaram um desempenho acima da areia de referência, ao passo que as argamassas com a amostra D7 e D10, localizadas na porção média do arroio, na região caracterizada como de médio a alto impacto, mostraram um comportamento inferior às argamassas de referência (conforme classificação de Menegat et al (1998) adaptada). Esse comportamento, provavelmente, é reflexo da grande quantidade de esgoto cloacal lançada ao arroio nesta porção, principalmente pelo Canal São Vicente.

Observa-se que, aos 28 dias de cura, as amostras D6, D7, D9 e D11 mostraram resistência à tração na flexão superiores à areia de referência, a semelhança das argamassas com a areia do Jacuí, demonstrado no gráfico da Figura 6.6.

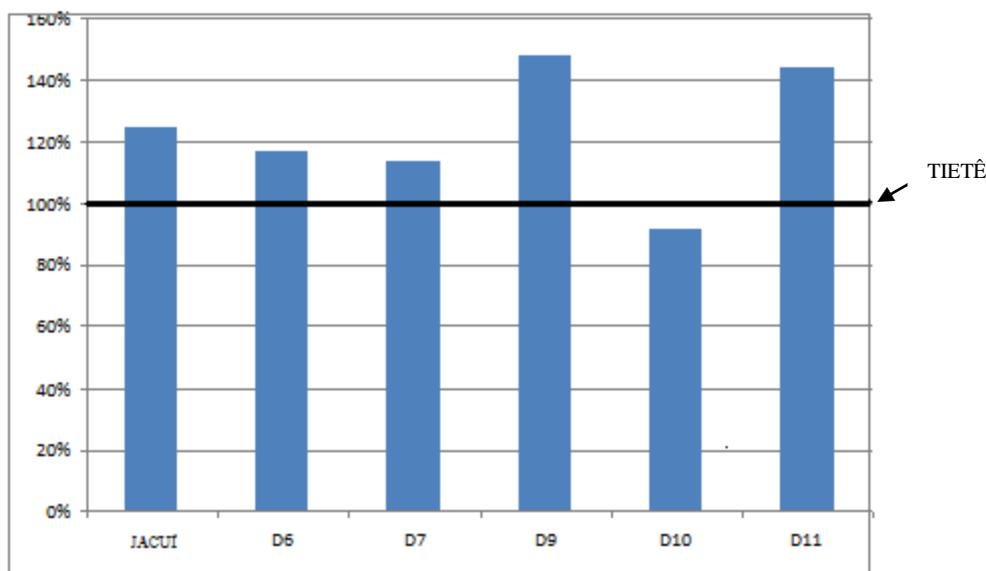


Figura 6.6 – Gráfico percentual de resistência média à tração na flexão aos 28 dias de cura.

Para esse tempo de cura, somente a argamassa com a areia D10 mostrou resultados inferiores em relação à areia normal. As argamassas com areia do Jacuí tiveram 20% a mais de resistência em relação ao Tietê. As amostras com areia D9 e D11 apresentaram desempenho melhor que todas as demais, ficando na faixa de 40% acima da argamassa com a areia referência.

#### 6.4 RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA

A aderência não é uma característica exclusiva da argamassa, pois está intimamente relacionada às características do bloco cerâmico e da argamassa. A interação entre os componentes de alvenaria e a argamassa de ligação (junta) é a propriedade responsável pela monoliticidade da alvenaria. Assim, uma aderência insuficiente prejudica praticamente todas as demais propriedades da parede de vedação, principalmente a sua resistência mecânica, resistência à penetração d'água e a capacidade de absorver deformações. No gráfico representado na Figura 6.7, pode-se verificar que as resistências médias de aderência, para as amostras com areia do arroio Dilúvio, foram inferiores às observadas nos prismas com a argamassa de referência do rio Jacuí. A amostra D11 teve, aproximadamente, 67% de resistência, se comparada ao Jacuí, seguida pela amostra D9 com 58% e, a amostra D10, ficou em torno de 47%.

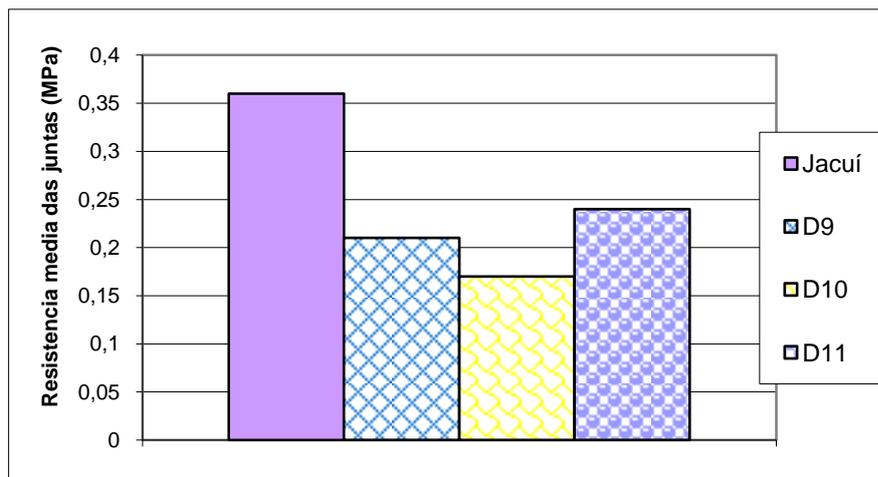


Figura 6.7: Resistência à aderência apresentada pelas juntas dos prismas com D9, D10, D11 e referência (Jacuí) aos 7 dias.

Na Figura 6.8 pode-se fazer a comparação das resistências das juntas, aos 28 dias de cura.

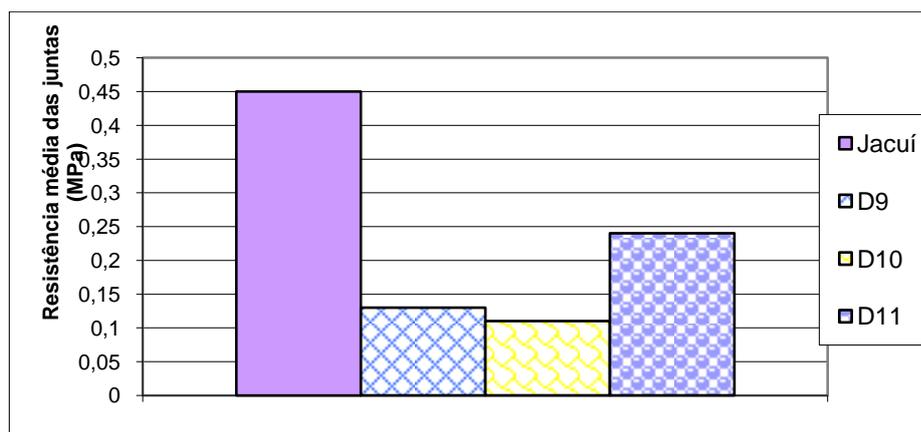


Figura 6.8: Resistência à aderência, apresentada pelas juntas dos prismas com D9, D10, D11 e referência (Jacuí), aos 28 dias.

No entanto, deve-se levar em consideração que houve variabilidade na resistência apresentada pelos blocos cerâmicos, o que pode ter influenciado nos resultados finais de aderência, pois, embora oriundos de mesma olaria, os mesmos apresentavam características diversas. Isso pode ser evidenciado ao observar-se a superfície de ruptura que, ora apresentava-se plana, ora arrancava partes constituintes do tijolo, para uma mesma argamassa, sob mesmas condições de execução (mesmo pedreiro) e iguais condições e tempo de cura dos prismas (Figura 6.9 e 6.10).



Figura 6.9: Aspecto do bloco cerâmico após o ensaio de aderência das juntas.

Carasek e Djanikian (1997) identificaram tipos de ruptura por falha de coesão da argamassa ou do substrato e por falha de aderência da argamassa ao substrato. Também verificaram o aumento da resistência de aderência em argamassas com adição da cal.



Figura 6.10: Aspecto do bloco cerâmico, após o ensaio de aderência das juntas, com mesma argamassa da Figura anterior.

Esse comportamento irregular, para o rompimento das juntas, repetiu-se aos 28 dias de cura. Presume-se que houve influência quanto às características heterogêneas demonstradas pelos tijolos, que pode ser exemplificada pela Figura 6.11.



Figura 6.11: Irregularidades do bloco cerâmico com imperfeições na sua composição

Conforme Carasek e Djanikian (1997) os efeitos dos fatores principais (substrato, argamassa e umidade) são significativos a um nível de segurança de 95%, o que quer dizer que cada um desses fatores exerce influência na resistência de aderência. Também foi constatado que há redução da resistência de aderência com o aumento da umidade do substrato.

Esses autores ressaltaram a significância das interações duplas entre substrato e argamassa e entre substrato e umidade, demonstrando que o efeito do substrato não é independente, ou seja, o comportamento quanto à resistência de aderência depende da argamassa sobre ele

aplicada e sua condição de umidade. Ainda, os autores constataram que o fator individual de maior relevância é o tipo de argamassa.

Mesmo assim, há de se levar em consideração as interferências externas como a influência do operador que conduziu os ensaios, pois a determinação da massa, para o cálculo da resistência, foi realizada através de operação manual, o que pode ter ocasionado diferenças nos resultados, conforme se pode perceber na visualização da Figura 6.12.



Figura 6.12: Ensaio de aderência das juntas em andamento.

Observa-se, portanto, que são diversos os fatores que interferem na aderência entre o componente da alvenaria e a argamassa da junta, sendo os principais: as características dos blocos e das argamassas; a qualidade da mão-de-obra e as condições de cura da alvenaria.

Os gráficos a seguir, representados nas Figuras 6.13 e 6.14, mostram a comparação do comportamento quanto à resistência de aderência, em relação às três juntas ensaiadas, aos sete e aos 28 dias.

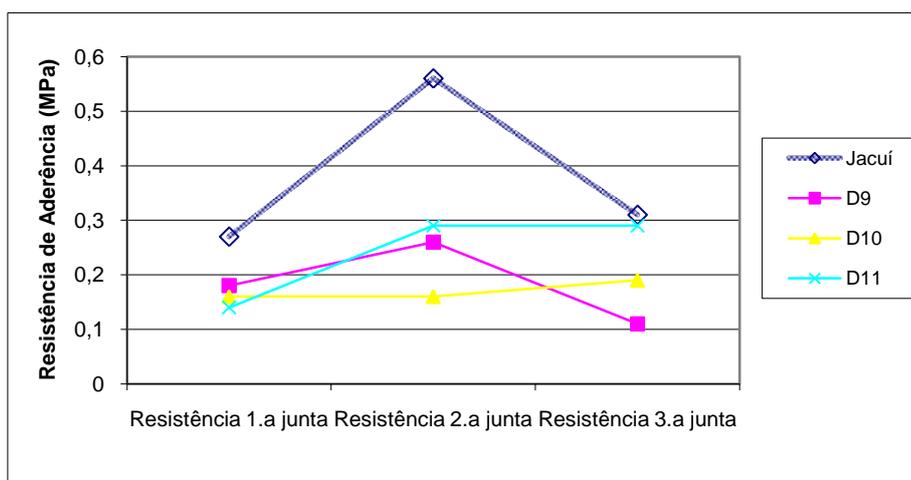


Figura 6.13: Resistência de aderência das três juntas ensaiadas aos 7 dias

Pela análise do gráfico, observa-se que todas as amostras, exceto a D10, apresentaram comportamento semelhante, com maiores resistências na segunda junta ensaiada, decaindo ou mantendo-se constante na terceira junta. Em comparação com a areia do Jacuí, todas as demais tiveram resistências de aderência menores. Quando se toma a areia do Jacuí como referência, as areias do Dilúvio mostram um desempenho de 67%, 59% e 52%, para a primeira junta da D9, D10 e D11, respectivamente.

Na segunda junta encontra-se desempenho de 46% para a areia D9, 29% para a D10 e 52%, para a D11. Na terceira junta obteve-se 35%, 61% e 94%, para D9, D10 e D11.

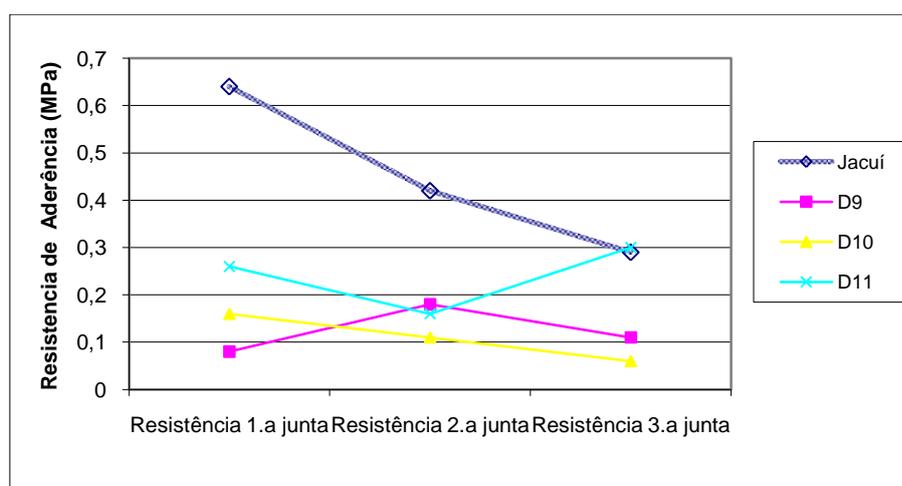


Figura 6.14: Resistência de aderência das três juntas ensaiadas aos 28 dias

Observando-se o gráfico obtido para a aderência aos 28 dias, percebe-se o comportamento bastante diferenciado para cada amostra. Inclusive, a aderência das argamassas com areia do Jacuí, apresentaram resultados opostos do que era esperado, já que normalmente a terceira junta, pela ação do peso dos tijolos acima, deveria desenvolver melhor aderência.

As juntas com argamassa do Jacuí tiveram um acréscimo considerável (mais que o dobro) na primeira junta dos prismas, comparando-se 7 e 28 dias. No entanto, para as demais não houve o incremento esperado, tendo um comportamento anômalo. Assim sendo, acredita-se que não seja representativo comparar com as demais areias, usando-a como referência.

Cabe salientar que as areias do Dilúvio D9 e D11 apresentaram valores de resistência próximos, aos sete e aos 28 dias.

#### 6.5 ABSORÇÃO POR IMERSÃO EM ÁGUA

O aumento da porosidade e da absorção de água gera a redução da durabilidade do material, pois há o aumento da permeabilidade e há facilidade no transporte de íons prejudiciais. Durante a moldagem dos corpos-de-prova, percebeu-se que a adição da areia Dilúvio (D5) exigia uma maior quantidade de água, para se atingir a mesma consistência e trabalhabilidade das argamassas com areia do rio Jacuí.

Quanto ao ensaio de absorção, através da Figura 6.15 pode-se observar que os teores de água absorvida para os CP's com 100% de areia do Dilúvio (D5) ficam acima dos CP's de referência, em todos os tempos amostrados para o traço 1:1,5. Na amostra referência e na com 50% de substituição há uma tendência a estabilizar a absorção após 48h. Os CP's com 50% de substituição do agregado do rio Jacuí, por agregado do Dilúvio, apresentaram valores intermediários à argamassa referência e à argamassa com 100% de areia do Dilúvio. No final das 72h tem-se um aumento de 62% no teor de absorção, ao se comparar à argamassa referência e à argamassa com 100% de agregado do arroio Dilúvio.

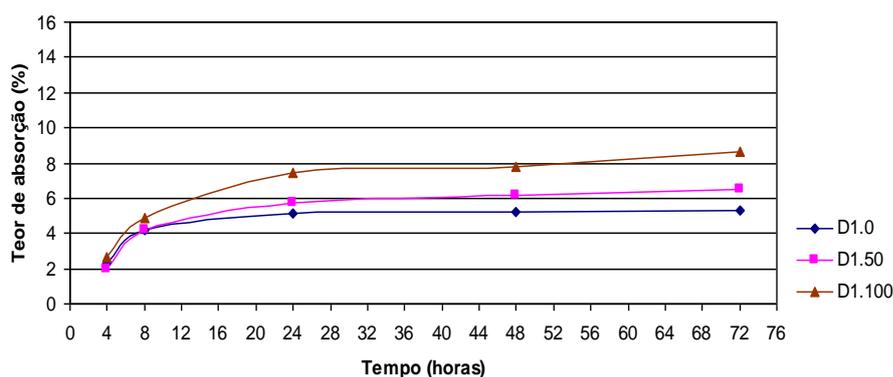


Figura 6.15: Absorção de água de argamassas para o traço 1:1,5.

Pode-se verificar, nas Figuras 6.16 e 6.17, que o comportamento manteve-se semelhante ao traço 1:1,5, para os CP's com traço 1:3 e 1:4,5. Conforme se substituiu o agregado natural (Areia Jacuí) pelo agregado Dilúvio (Areia D5), observou-se um teor mais elevado de absorção. Após 72h de ensaio, no caso do traço 1:3, o aumento foi de 132% no teor de absorção entre a argamassa referência e a argamassa com 100% de areia D5 e, no caso do traço 1:4,5, encontrou-se um aumento de 83%, comparando-se as argamassas referência e 100% areia do Dilúvio.

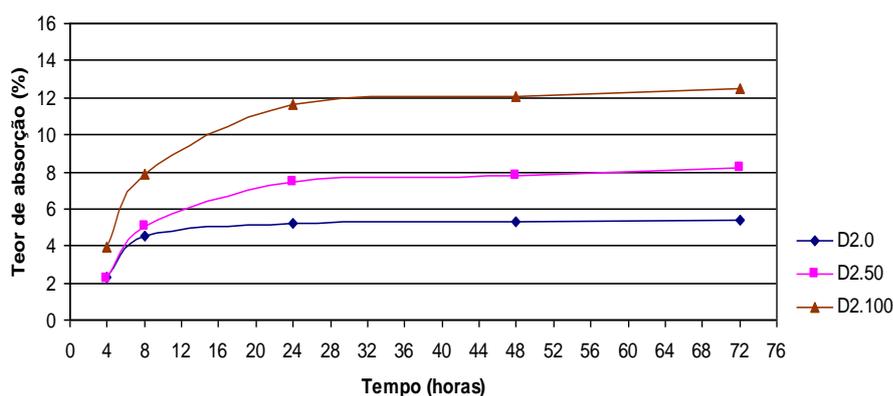


Figura 6.16: Absorção de água de amassamento para o traço 1:3.

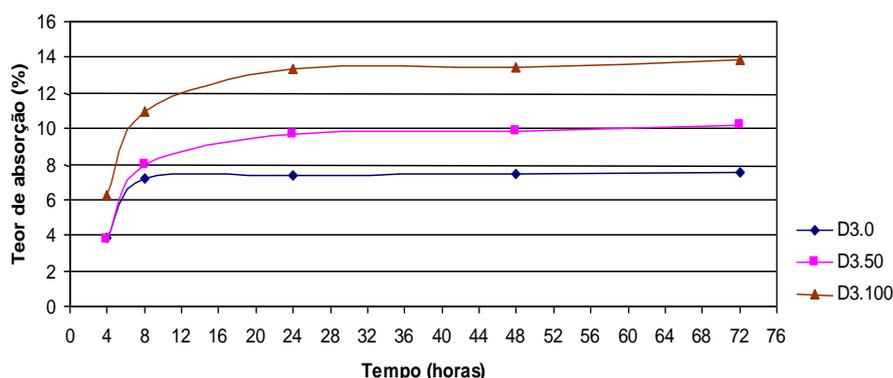


Figura 6.17: Absorção de água de amassamento para o traço 1:4,5.

Comparando-se os resultados dos ensaios de absorção, em relação aos teores de substituição (0%, 50% e 100%) e aos diferentes traços, pode-se visualizar que, tanto para 50%, como para 100% de substituição do agregado miúdo natural ou areia do rio Jacuí por areia do arroio Dilúvio, os teores de absorção apresentaram na maioria do tempo porcentagens acima das amostras sem substituição. Ou seja, os CP's com agregado do Dilúvio absorvem mais água, indicando, portanto, uma menor durabilidade. Percebe-se que o aumento do teor de absorção coincide com o aumento da relação água/cimento.

Tal relação torna evidentes que, nas argamassas com maior quantidade de areia do Dilúvio, existem mais vazios permeáveis, o que aumenta a probabilidade de resultar em argamassa frágil e pouco durável.

## 6.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A análise dos resultados obtidos no ensaio de absorção por capilaridade é de grande importância, pois permite a visualização do comportamento do resíduo de dragagem do arroio Dilúvio e sua comparação com as amostras de referência (Jacuí e Tietê), lembrando que esse ensaio reflete as características associadas à durabilidade, uma vez que os poros são como estradas, caminho fácil para a percolação da água e de outros componentes químicos, que afetam diretamente as propriedades das argamassas e concretos.

Observa-se que até os 90 minutos, os corpos-de-prova tiveram baixa absorção de água. Houve um acréscimo significativo do teor de absorção, principalmente nas primeiras 24 horas. Após

as 24 horas, até as 72 horas de ensaio, houve um contínuo crescimento do teor de absorção de água; a partir desse ponto percebe-se a tendência à constância.

A partir da interpretação dos resultados desse ensaio, infere-se que o maior ou menor teor de absorção de água das argamassas ensaiadas é reflexo do comportamento apresentado nas primeiras 24 horas.

Calculou-se o teor de absorção médio das amostras para cada areia conforme indicações da NBR 9779 (ABNT, 1995) e está representado no gráfico da Figura 6.18, onde se pode comparar o comportamento entre as argamassas com as diferentes areias.

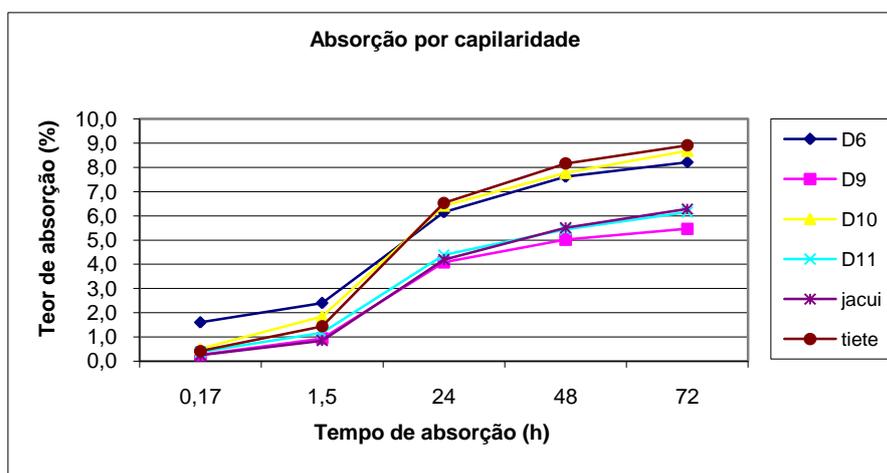


Figura 6.18: Absorção de Água Média das Argamassas com as Areias Dilúvio, Jacuí e Tietê.

Conforme se observa no gráfico, as argamassas confeccionadas com a areia do rio Jacuí e a areia do arroio Dilúvio (D9 e D11) apresentaram melhor performance, quanto à absorção de água por capilaridade, o que lhes confere um provável melhor comportamento no quesito durabilidade.

Tomou-se por padrão a areia normal ou Tietê, para o cálculo comparativo das absorções e obteve-se, como resultado, um teor de absorção de 97,75 %, para as argamassas com areia do Dilúvio D10; 92,13%, para a D6; 69,66%, para a D11; 61,79%, para a D9 e de 70,78 %, para as confeccionadas com areia do rio Jacuí.

Com base nesses resultados e nos referentes ao comportamento mecânico, pode-se dizer que as argamassas confeccionadas com a areia do arroio Dilúvio, para os parâmetros pesquisados, atentem aos requisitos necessários para seu uso, visto que apresentaram desempenho semelhante ao da areia Tietê definida por norma, como padrão brasileiro.

## **7. VIABILIDADE DO EMPREGO DAS AREIAS DE DRAGAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Através dos resultados obtidos nessa pesquisa fez-se uma análise preliminar da possibilidade de uso desse material, por meio da avaliação dos ensaios ambientais e das possibilidades de utilização, de acordo com os requisitos mínimos estabelecidos por norma técnica. Sugere-se, ao final desse capítulo, quais seriam as melhores opções de uso. Fez-se; também, um breve levantamento sobre a viabilidade econômica do emprego desse resíduo, levando-se em consideração os gastos do poder público para o destino correto e para a aquisição de agregados para suas obras civis.

### **7.1 ANÁLISE AMBIENTAL**

Para a análise ambiental, levou-se em consideração a possibilidade de contaminação orgânica e não orgânica, ou seja, por metais pesados. Um quadro resumo com as características químicas e biológicas é apresentado no Anexo G.

#### **7.1.1 Análise da Contaminação Biológica**

Analisando-se os resultados encontrados para contaminação orgânica, resumidos na Tabela 5.3 e, tendo-se em vista a não observância de referência específica para contaminação com organismos patogênicos na norma que estabelece requisitos para os agregados miúdos, buscou-se na normatização ambiental para solos agrícolas, parâmetros que pudessem ser comparados, considerando-se o perigo de contaminação no manuseio do sedimento e a contaminação ambiental, se esse sedimento for utilizado para aterro ou reaterro.

Segundo Capizzi-Banas e Schwartzbrod (2001, apud CORRÊA et al, 2007), os ovos de helmintos se situam entre os mais resistentes aos processos de higienização de lodos, dos inóculos patogênicos presentes nos lodos de esgoto produzidos no Distrito Federal. Assim, eles concluíram que, devido à importância epidemiológica desse organismo; baixa dose de infecção e alta resistência habilitam ovos de helmintos como indicadores de eficiência dos processos de higienização de lodos de esgoto.

Corrêa et al (2007) explanam a respeito dos novos limites para concentração de ovos viáveis de helmintos, em biossólidos Classe A (contaminação acima de um ovo por 4g de composto).

Estabelecidos pela Resolução CONAM/DF nº 03/2006 e a Resolução CONAMA nº 375/2006, estes serão os únicos valores permitidos na agricultura brasileira, a partir de 2011 (CONAMA, 2006); assim, o limite de 0,25 ovos viáveis de helmintos, por grama de matéria seca, será padrão brasileiro para biossólidos de uso agrícola. A amostra D10 apresentou valores na ordem de 0,7 ovos/g, uma redução expressiva considerando-se os 3,7 ovos/g encontrados na amostra D4, coletada em 2005. No entanto, ainda apresentam valores indesejáveis, se considerarmos os 0,25 ovos estabelecidos na resolução citada acima.

Pelo disposto na resolução CONAMA nº 375/2006 o parâmetro máximo permitido, quanto à *Salmonella*, exige a ausência em 10 g de sólidos totais (ST).

### 7.1.2 Análise da Contaminação por Metais

A Resolução CONAMA 344(2004) estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, em seu Art. 1º, § 1º diz que para efeito de classificação do material a ser dragado para disposição em terra, o mesmo deverá ser comparado aos valores orientadores estabelecidos para solos pela norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB, "Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo". Por esses valores orientadores as amostras de resíduo D9, D10 e D11 apresentaram valores elevados para os metais cobre, chumbo e zinco.

Os resultados dos ensaios de lixiviação, realizados para o sedimento, mostraram teores de contaminação de metais pesados preocupantes para a utilização desse resíduo. Pela Resolução CONAMA 357 (2005) o metal chumbo apresentou valores elevados, no entanto, na argamassa com o resíduo, ficaram abaixo do limite prescrito nessa resolução tomando como parâmetro o padrão de lançamento de efluentes, que é o menos restritivo.

Pela NBR 10004 (ABNT, 2004), apenas o metal chumbo apresentou valores acima do estabelecido em extrato lixiviado e essa contaminação concentrou-se em um ponto, na coleta D11. Buscou-se a explicação para a anomalia, visto que os pontos a jusante não apresentam valores significativos para chumbo pela referida norma, através da análise do entorno, buscando possíveis fontes para a contaminação pelas atividades locais potencialmente poluidoras.

Nessa região não há indústrias cadastradas e, atualmente, predomina o comércio de móveis. Existe um posto de combustíveis próximo do ponto de coleta; no entanto, à jusante da

amostragem. Outros empreendimentos localizados nas proximidades, que poderiam estar causando tal poluição seriam: a empresa Carris, a Concessionária Kia e o hipermercado Carrefour, onde há um posto de combustíveis. A princípio, essas atividades estão regulares, com licenciamento e observando as premissas ambientais. Presume-se, então, que possa ser uma contaminação antiga, revolvida com a ação da draga. Para afirmar a origem do contaminante, esse ponto deve ser futuramente investigado, de forma mais aprofundada.

Mesmo que essa contaminação persista, os ensaios para o monólito de argamassa, realizado conforme normatização holandesa (NEN 7345/1995) mostraram que os metais encontrados em índices elevados foram retidos pela argamassa. Os resultados para metais, em extrato lixiviado, realizados para a argamassa com resíduo, conforme a norma brasileira NBR 10.005 (ABNT, 2004), apresentaram redução da concentração de metais, corroborando com os resultados do ensaio pela norma holandesa e, confirmando o encapsulamento do contaminante na argamassa.

Pensando em gestão de resíduo de demolição, atualmente grande problema ambiental e econômico e, baseando-se nos resultados dos ensaios realizados de acordo com a norma brasileira, em que a argamassa é cominuída, infere-se a possibilidade de uso pós-consumo desse material, eliminando a preocupação de contaminação, quando da demolição de obras onde fosse utilizada essa argamassa. No entanto, sabe-se que mais estudos são necessários para que se possa fazer tal afirmação.

## 7.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Acredita-se que o estudo de viabilidade econômica é de extrema importância para que o material dragado seja efetivamente utilizado na construção civil. Antes disto, todavia, é necessário determinar as possíveis aplicações da areia de dragagem do Arroio Dilúvio na construção civil, e quais os tipos de beneficiamento eventualmente necessários, o que foi analisado nas etapas anteriores desta pesquisa.

Para o DEP, o serviço de dragagem dos arroios é fundamental na manutenção do escoamento das águas de chuva. O custo para transportar a areia do Dilúvio até o aterro de inertes, no bairro Serraria, está orçado em R\$ 36,00/m<sup>3</sup> (trinta e seis reais por metro cúbico). Nesse custo

não são considerados os custos ambientais refletidos, principalmente, pelo consumo de combustível fóssil e emissões de dióxido de carbono. A contaminação do local de depósito, que ficará indisponível para uso por, no mínimo dez anos, a contaminação das águas subterrâneas, se não forem tomadas medidas de precaução para coleta e tratamento do lixiviado também são fatores preponderantes na decisão do destino dado ao resíduo e na relação custo x benefício a ser considerada.

O uso de areia comercial, para o reaterro de valas em obras executadas pela prefeitura, tem custo em torno de R\$ 54,25 por metro cúbico (conforme tabela de preços para obras viárias da Secretaria de Obras e Viação/SMOV - Ref. 2008). Se o resíduo das dragagens pudesse ser utilizado, o custo ficaria reduzido ao tratamento para higienização (compostagem) e transporte. Porém, não se pode esquecer que esse uso ficou restrito devido à contaminação por metais pesados.

Ao falar-se em viabilidade econômica, não se pode deixar de considerar o custo ambiental para a extração de bens minerais e ainda, a sua escassez em locais próximos a expansão do consumo. Esse custo reflete-se em gastos posteriores, seja para despoluição ou reconstituição de ambientes naturais necessários para o equilíbrio e manutenção da vida.

Neste cenário, os órgãos ambientais têm papel essencial para, através de licenciamento, prever danos posteriores, que possam trazer prejuízos ao setor público.

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (2006), o transporte feito por caminhões é o que encarece o produto. O preço, na mina, fica em torno de R\$ 10 a R\$ 15 por metro cúbico; mas, para o consumidor, chega a R\$ 40, representando um acréscimo de 25% no custo final.

Adquire-se, no comércio de Porto Alegre, areia vinda do rio Jacuí, a R\$ 40,00/m<sup>3</sup>. Sem dúvida, a utilização desse resíduo nas obras de conservação já garantiriam uma economia ao poder público, mas, certamente, seu emprego em usos mais nobres, como confecção de argamassas, agregaria valor ao resíduo, custeando sua extração do leito do arroio.

### 7.3 VIABILIDADE DE USO

Através da comparação dos resultados obtidos, com os valores exigidos por norma, para alguns usos de agregados dentro da construção civil, montou-se um quadro comparativo, sintetizando os requisitos mínimos e, a partir desta análise, sinalizando a serventia mais adequada para esse resíduo, que pode ser conferido na Tabela 7.1.

Estas indicações preliminares têm o intuito de promover o interesse para a utilização desse resíduo. Faz-se necessário estudo mais aprofundado para cada um dos possíveis usos, para que se, possa realmente afirmar, a sua viabilidade ou não.

Tabela 7.1 – Possibilidades de usos e restrições:

<b>Artefato/ Obra</b>	<b>Norma: requisitos a serem atendidos</b>	<b>Avaliação da possibilidade de uso</b>
Aterro	CONAMA 375:2006 CONAMA 344:2004 NBR 10004:2004 Valores orientadores CETESB:2005	Concentração de metais acima do aceito pelo CETESB para Pb, Cu e Zn. Apresenta contaminação biológica. Não recomendado sem tratamento.
Argamassa para assentamento	NBR 13281:2005 Requisitos	Resistência a compressão entre 2 e 9MPa (menor resistência foi D10, com 5,2MPa); Resistência a tração na flexão entre 1,5 e 4,5MPa (todas as amostras atenderam esse requisito, D10=1,67MPa). Resistência a aderência. Absorção de água máxima: Dilúvio 60 a 90% Necessita mais estudos.
Argamassa para revestimento	NBR 13749:1996 -Especificação NBR 13281:2005 - Requisitos	Propriedade hidrofugante; Propriedade impermeabilizante, quando em contato com o solo; Textura uniforme sem fissuras, manchas e eflorescência. Apresenta grãos grossos e textura com baixa uniformidade alta absorção de água. Não recomendado sem beneficiamento.
Concreto Estrutural	NBR 7211:2005 – Especificação	Modulo de finura não variar mais que 0,2 Teor de substâncias nocivas. Relação álcali/agregado Limite granulométrico Necessita mais estudos.
Concreto arquitetônico	NBR 12654:2000 – Controle tecnológico de materiais componentes do concreto	Não avaliado nesta pesquisa.
Blocos vazados de concreto sem função estrutural	NBR 6136:2007 Especificação	Resistência à compressão média mínimo = 2,5 MPa Absorção média máxima de 10% (argamassas c/areia Dilúvio tem em torno de 60% absorção) A principio não recomendado, necessita mais estudos.
Peças de concreto para pavimentação	NBR 9781:1987 Especificação	Resistência característica a compressão maior ou igual a 35MPa, para veículos comerciais ou de linha, e superior a 50MPa, para tráfego de veículos especiais. Não atende ao quesito resistência. Necessita mais estudos.

Segundo Ângulo et al. (2004) para se criar um mercado privado para os resíduos é necessário estabelecer um padrão de qualidade. Um dos aspectos fundamentais deste processo é a metodologia confiável, rápida e barata para análise da composição, de forma que seja possível

classificar o agregado segundo sua composição e planejar maneiras de controlar a variabilidade.

Tendo-se comprovação da viabilidade de uso, até mesmo o DEP, na sua fábrica, onde são confeccionados tubos de pequenos diâmetros e tampas de concreto armado para poços de visita (PV), utilizados nas obras de manutenção da rede pluvial, poderia estar utilizando esse resíduo, na produção desses artefatos.

## 8. CONCLUSÕES

Inicialmente, levantou-se a hipótese de que o emprego, com maior valor deste agregado, fosse em argamassas com adição de cal, visto que com a cal pode-se, potencialmente, neutralizar a acidez e eliminar alguns dos contaminantes biológicos presentes no sedimento, melhorando a qualidade da mistura.

Este aspecto foi importante, visto que nos estudos preliminares, com a amostra D5, os resultados ligados à durabilidade e desempenho mecânico da argamassa com areia do Dilúvio evidenciaram comportamento inferior ao das areias naturais, o que influencia seu valor de mercado e aceitação.

As argamassas confeccionadas com a adição de cal mostraram melhor comportamento, tanto no quesito durabilidade, quanto ao desempenho mecânico. As argamassas de referência feitas com a areia normal do rio Tietê e do rio Jacuí mostraram desempenho abaixo do esperado, o que leva a crer que a adição da cal teve influência direta na relação a/c, aumentando o consumo de água nas misturas, principalmente nas areias de menor granulometria, resultando em um material poroso, com menor resistência e durabilidade.

Independente da adição da cal, as argamassas com o resíduo necessitam maior quantidade de água para obter o abatimento de tronco de cone próximo de 260 mm, para garantir a trabalhabilidade, o que resultou em relação água/aglomerante mais elevada que para as argamassas de referência, feitas com a areia Normal e Jacuí.

Nos primeiros resultados dos ensaios de resistência à compressão, observou-se que a argamassa produzida com o resíduo do arroio Dilúvio e sem a adição de cal apresentaram pior performance que a argamassa de referência confeccionada com a areia do rio Jacuí. Também ficou evidente, nos ensaios de absorção, o alto teor de absorção de água atingido pela primeira argamassa estudada.

No entanto, com a utilização da cal, alcançaram-se teores próximos para o sedimento do Dilúvio e as areias de referência do rio Jacuí e, superiores às obtidas com a Areia do Rio Tietê, evidenciando a possibilidade de utilização deste tipo de agregado reciclado.

Os resultados dos ensaios de lixiviação para os corpos-de-prova, com a incorporação do resíduo de dragagem do arroio Dilúvio em argamassas, asseguraram que o resíduo está

estabilizado e não ameaça a qualidade do meio ambiente. Mesmo pensando-se em aproveitamento pós-consumo, o resultado do extrato lixiviado para o material cominuído apresentou-se estável, quanto ao quesito metais pesados.

Através da análise do desempenho mínimo prescrito por norma para cada artefato, descrito no capítulo anterior, conclui-se que a utilização mais adequada para esse resíduo é como argamassa mista para assentamento de alvenaria, desde que, leve-se em consideração sua menor estanqueidade e, se tome medida preventiva em relação à impermeabilização das juntas.

É importante ressaltar que cada área de coleta necessitou uma caracterização físico-química específica, dependendo do local onde o sedimento foi coletado. Assim, atenção especial deve ser dada ao local de coleta da amostra D10, pois as areias retiradas desse local mostraram-se com características que alteram o desempenho das argamassas, além de maior contaminação com organismos patogênicos.

Torna-se evidente que a areia Dilúvio possui características que influenciam as propriedades físicas da argamassa. Desta forma, a utilização da areia Dilúvio para confecção de argamassa fica comprometida, quando consideramos as variações de suas características, de acordo com o local de coleta, por exemplo, a granulometria. Para resolução desses problemas, sugere-se o emprego de processos de beneficiamento da areia, como por exemplo, o peneiramento se a característica a ser homogeneizada for o tamanho dos grãos.

Quanto à produção do resíduo, dados do DEP/Prefeitura Municipal de Porto Alegre, demonstram que cada draga consegue extrair do arroio Dilúvio 30m<sup>3</sup>/hora, somando uma produção diária de 600m<sup>3</sup> (para um turno de trabalho de 10 horas com dois equipamentos de dragagem). Para a extensão do Dilúvio que necessita ser dragada (cerca de 11,3km) são necessários 10 meses de operação, chegando a um volume total de 150.000m<sup>3</sup>. O que torna evidente a disponibilidade deste material, ainda mais ao considerar que muitos outros corpos d'água também exigem a dragagem, como forma de manutenção do seu calado.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que este trabalho sirva como inspiração para que outros pesquisadores venham a trabalhar com esse sedimento: areias provenientes de dragagem de rios e arroios urbanos, viabilizando a destinação mais adequada que a atualmente praticada, tendo em vista a escassez de áreas próximas às cidades para o depósito de resíduos, além da dificuldade de extração de areias, sem causar impactos ambientais.

Cabe, neste momento, justificar a ausência de resultados para alguns dos ensaios descritos no capítulo 4, como, por exemplo, a solubilização para a classificação do resíduo. Devido a falta de recursos para viabilizá-los, fica como sugestão para uma próxima etapa a realização dos mesmos.

A utilização deste resíduo na construção civil apresenta-se como uma alternativa na qual há uma destinação adequada do sedimento, além de possibilitar a redução da extração de agregados naturais.

Após a avaliação desses últimos capítulos, no intuito de tornar mais eficiente a prestação do serviço de dragagem por parte do município e diminuir as despesas públicas, sugere-se que poderiam firmar-se Parcerias Público-Privadas (PPP's), mecanismo eficiente na provisão de serviços públicos ou, a formação de um consórcio para a exploração desse sedimento.

As PPP's são uma categoria de contratos públicos de concessão, em que o Governo define o que ele quer, em termos de serviços públicos, e o Parceiro Privado diz como e a que preço ele poderá apoiar o Governo. Trata-se, portanto, de uma parceria entre governo e iniciativa privada, com o objetivo de proporcionar à população serviços de qualidade, durante muitos anos. A parceria público-privada, no âmbito federal foi instituída pela Lei nº 11.079 de 30.12.2004, e regulamentada pelo Decreto nº 5.358 de 4.3.2005, é um contrato administrativo de concessão, na modalidade patrocinada ou administrativa, no qual se vislumbra, de um lado, o Poder Público e do outro, uma entidade privada (SITE PMPA).

Assim, entende-se como parceria público-privada um contrato de prestação de serviços, de médio e longo prazo (de 5 a 35 anos), firmado pela Administração Pública, sendo vedada a celebração de contratos que tenham por objeto único o fornecimento de mão-de-obra, equipamentos ou execução de obra pública. Na PPP, a implantação da infraestrutura

necessária para a prestação do serviço contratado pela Administração dependerá de iniciativas de financiamento do setor privado e a remuneração do particular será fixada com base em padrões de performance e será devida somente quando o serviço estiver à disposição do Estado ou dos usuários. Sugere-se, aqui, a concessão administrativa, que por sua vez, envolve tão somente contraprestação pública, aplicando-se aos casos em que não houver possibilidade de cobrança de tarifa dos usuários. Esse tipo de consórcio já demonstrou sua eficiência em outras atividades, como no setor petroquímico, mostrando-se promissora sua extensão para este campo de atuação.

Comprovada a possibilidade de utilização desse resíduo, o mesmo poderá ser retirado do arroio e comercializado por empresas mineradoras, em parceria com a Prefeitura Municipal, fazendo com que o município minimize seus gastos podendo, assim realocar essa verba para outros setores que tenham carência. Além disso, há o fator ambiental, que passará por significativa melhora, visto que o transporte da areia será realizado localmente, diminuindo o consumo de combustível fóssil não renovável e reduzindo a emissão de substâncias poluentes à atmosfera, como é o caso do dióxido de carbono. Ainda, o depósito de areia feito em aterro de maneira inadequada, transformar-se-á, pois haverá uso prático e construtivo.

### 9.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se a continuidade da pesquisa, tendo em vista o imensurável ganho ambiental. A realização de uma avaliação da durabilidade ao longo do tempo e uma amostragem maior, com pontos retirados de diversos locais, em mesmas condições climáticas, e de outros arroios, para a comparação do comportamento de cada sedimento, mapeando a homogeneidade ou não de sua ocorrência e, a realização de ensaios complementares, como microscopia ótica de varredura, extrato lixiviado para outros metais, entre outros; são quesitos a serem observados em trabalhos futuros.

A realização de ensaios com experimentos em outros artefatos, visto que nessa pesquisa não se considerou a possível implicação em relação às estruturas de concreto armado, de que não haja reação indesejável afetando a ferragem, por exemplo. Também a análise do ciclo de vida, através de estudo para a utilização desse material, quando o mesmo tornar-se resíduo de demolição, também é importante para garantir a sustentabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Disponível em <[www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/tipos.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/tipos.shtml)> Acesso 17 de outubro de 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 5739N: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: método de ensaio, Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 6136: blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 6467: agregados: determinação do inchamento de agregado miúdo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 7181: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984- Errata 1, 1988.

\_\_\_\_\_. NBR 7211: agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 7214: areia normal para ensaio de cimento – especificação. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. NBR 9778: argamassa e concretos endurecidos: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 9781: peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10005: procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 10007: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 12654: controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. NBR 13281: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13749: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 52: agregado miúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248: agregados: determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.

AGOSTINI, F.; SKOCZYLAS, F.; LAFHAJ, Z. About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment. *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 4, p. 270-278, April 2007.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction Waste: qualification and source evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*. V. 122, n. 01, p. 55-59, Mar. 1996. Disponível em: < <http://doc.utwente.nl/20835/1/Journal20.pdf> > Acesso em 07/12/09.

BRAY, R.N.; BATES, A.D.; LAND, J.M. 1997. *Dredging, a Handbook for Engineers*. 2.ed. John Wiley & Son, Inc. 434p. (s.d.)

CAPILLA, X. et al. Physicochemical and biological characterization of different dredged sediment deposit sites in France. *Environmental Pollution*, v. 143, n. 1, p. 106-116. Sept. 2006.

CARASEK, H. Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia dos materiais. In : ISAIA, Geraldo Cechella (org./ed.). *Argamassas*. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 2, cap. 26, p. 863 – 904.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J.G. Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria. . *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, São Paulo: EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 1997. BT/BCC/179. 26p.

CARNEIRO, A. P., BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. *Projeto Entulho Bom*. Salvador, EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001. p.190-227.

CASTIGLIA, M. C. C. P. Disposição Subaquática de Rejeitos de Dragagem. Dissertação (Mestrado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 152 p. 2006.

COIMBRA, M. A.; SANTOS, W. N. dos; MORELLI, M. R. Recuperação de resíduos inorgânicos para a construção civil. *Cerâmica*, São Paulo, v.48, n.306, Abr/Mai/Jun 2002, p.44-48.

COLLISCHONN, W.; SEMMELMANN, F. R. ; ROCKENBACH, C. A. . Drenagem urbana e sedimentos: o caso do Arroio Dilúvio. In: Carlos E. M. Tucci; David da Motta Marques. (Org.). Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2001, v. 2, p. 521-548.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR. In: Andreóli C.V. e Aderlene I. L (Eds). *Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções*. Curitiba, PR, 288p, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Dorothy C. P. Casarini et al. São Paulo, 2001. 232 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2005. 4 p.

CONSELHO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL. Resolução CONAM nº 03/2006. Diário Oficial do Distrito Federal nº 138, de 20/7/2006, p.10. Disponível em: <<http://www.semarh.df.gov.br/sites/100/162/00000159.pdf> > Acesso em 27 de agosto de 2009.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONSEMA nº 085/2004. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/Consema/Res085-04.pdf> > Acesso em 18 de outubro de 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307/2002. Diário Oficial da União nº 167, de 30/08/2006, pág. 141-146 29/09/2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html> > Acesso em 29 de novembro de 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357/2005. Diário Oficial da União nº 53, de 18/03/2005, pág. 58-63 17/03/2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> > Acesso em 29 de novembro de 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 375/2006. Diário Oficial da União nº 167, de 30/08/2006, pág. 141-146 29/09/2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506> > Acesso em 27 de agosto de 2009.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG, v.11, n.4, p.420–426, 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a12.pdf>> Acesso em 27 de agosto de 2009.

DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. Relatório de atividades 2005 a 2008. Porto Alegre: DEP/ PMPA. 2008. 174p.

DONOVAN, C.T. Construction and demolition waste processing: new solutions to an old problem. Resource Recycling Portland, aug. 1991, p.146-55.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília: Ed. Silva F. C. 1999, 370p.

FERNANDES, F. et al. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. Sanare. Revista Técnica da SANEPAR, Curitiba, v.5, n.5, p.46-58, 1996.

FIKSEL, J. Design for Environment: creating eco-efficient products and processes. New York: McGraw-Hill, 1996.

GE STUDY REPORT. 1998. Dredging: wrong answer. Internet Home-Page. Disponível em: <<http://www.hudsonwatch.com/dredging.html> > Acesso em 09 de novembro de 2007.

GOES Fº, H.A. Dragagem e Gestão dos Sedimentos. Dissertação (Mestrado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ: Rio de Janeiro, 2004. 162p.

GOLUEKE, C. G. Composting: a study of the processes and its principles. Emmaus: Rodale Press Inc Book Division. 235p. 1975.

GRIGOLI, A. S. Management in the production and utilization of the waste material in the construction site. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... São Paulo: CIB, 2000. 11p. 1 CD-ROM

HEALTH OF BULLHEAD in an Urban Fishery After Remedial Dredging Final Report - January 31, 2000. Disponível em: <<http://www.epa.gov/glnpo//sediment/Bullhead/report.html#Collection%20and%20Chemical> > Acesso em : 29 de maio de 2008.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Ed. Pini, 1992.

JAWOROSKI, H.C. Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1990. 102 p.

KOBELL, Rona. Dredge island in Bay giving way to projects on shore. Bay Journal, Seven Valleys, Pensilvania, v.20, n. 1, March 2010. Disponível em <<http://www.bayjournal.com/article.cfm?article=3794>> Acesso: 03 de abril de 2010.

KRAUSER, P.R.; McDONNEL, K.A. Reutilização Benéfica de Material Dragado com Despejo em Terra. Harding Lawson Associates, Engineering and Environmental Services, 2000. Disponível em: <[http://br.geocities.com/rjtorres2000/usace/reuse\\_a.pdf](http://br.geocities.com/rjtorres2000/usace/reuse_a.pdf)> Acesso em: 18 de outubro de 2007.

LONG, N.T. The Pneusol. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. France: Publication GT44, 1990, 76p.

MENEGAT, R. (ORG.). Environmental Atlas of Porto Alegre: condensed version. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 1998.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Instrução Normativa nº 27 de 05 de junho de 2006. Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Substrato para Plantas e Condicionadores de Solo. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951>> Acesso 30 agosto 2009.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Parcerias Público-Privadas. Disponível em <<http://www.planejamento.gov.br/hotsites/ppp/apresentacao.htm>> Acesso 17 de outubro de 2009.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Administração da Hidrovia do Paraguai. Disponível em <<http://www.ahipar.gov.br/arquivo/img-draga.jpg>> Acesso 02 de novembro de 2009.

MISKEWITZ, R.J. et al. Laboratory Measurements of the Volatilization of PCBs from Amended Dredged Material. Environmental Research, v. 106, n. 3, p. 319-325. Mar 2008.

MOUNTFORD, Kent. Past in Prologue: History of dredging reveal deeper need to understand Bay's bottom line. Bay Journal, Seven Valleys, Pensilvania, v.10, n.5, July/August 2000. Disponível em <<http://www.bayjournal.com/article.cfm?article=1322>> Acesso 10 de novembro de 2009.

NEN 7345 – Característica de Lixiviação de Materiais de Construção Sólidos, em forma terrosa ou rochosa, e de resíduos. Ensaio de Extração. Determinação da lixiviação de componentes inorgânicos de materiais moldados e monolíticos com ensaio de difusão. Holanda. 1995.

- OLIVEIRA, C. S. de. Porto Alegre: a cidade e sua formação. Porto Alegre: Ed. Norma, 1985.
- OLSON, R.A.; NEUBAUER, C.M., JENNINGS, H.M. Damage to the Pore Structure of Hardened Portland Cement Paste by Mercury Intrusion. Journal American Ceramic Society, vol. 80, n.º 9, p. 2454–58, 1997.
- PASCHOALINO, MATHEUS PAES et al. Incorporação de CuSO<sub>4</sub> residual em argamassa, como método de disposição final. Química Nova, São Paulo, v.29, n.4, p.699-703, 2006. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422006000400014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso: 15 de novembro de 2009. doi: 10.1590/S0100-40422006000400014.
- PINTO, T. P. Reciclagem no canteiro de obras: responsabilidade ambiental e redução de custos. Artigo técnico. Revista de Tecnologia da Construção - TÉCHNE. PINI. São Paulo, n. 49, nov./dez. 2000.
- PINTO, T. P., Utilização de resíduos de Construção: estudo do uso em argamassa. São Carlos, SP. Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de Arquitetura e Planejamento) Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado), 1989.
- PINTO, T.P. Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 189p. 1999.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. O Modelo Brasileiro de Parcerias Público-Privadas. Disponível em <[http://www.ppp.portoalegre.rs.gov.br/default.php?p\\_secao=53](http://www.ppp.portoalegre.rs.gov.br/default.php?p_secao=53)> Acesso: 17 de outubro de 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTOALEGRE / Departamento Municipal de Água e Esgotos / Divisão de Pesquisa. **Lauda DPV nº 11/2002**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2002.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTOALEGRE / DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS / DIVISÃO DE PESQUISA. **Lauda DPV nº 05/2005**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2005.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTOALEGRE. Homepage. Disponível em <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cs/default.php?reg=85497&p\\_secao=3&di=2008-01-30](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cs/default.php?reg=85497&p_secao=3&di=2008-01-30)> Acesso: 9 de março de 2008.
- RECENA, F.A. P, Estabelecimento de um Padrão Secundário para a Areia Normal do Rio Tietê a partir da Areia do Rio Guaíba. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 143p. 1994.

REIS, B. J. et al. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. Revista da Escola de Minas, BH, v. 59, p. 391-396, 2006.

ROCHA, J.C. ; CHERIAF, M. Aproveitamento de Resíduos na Construção. (Coletânea Habitare) Utilização de resíduos na Construção Habitacional, v.4, c. 3. ANTAC, Porto Alegre, 2003, p. 72-93. Disponível em:  
<<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/127.pdf>> Acesso 18 de outubro de 2007.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI**. São Paulo: Studio Nobal Fundap, 1993.

SCHLOSSER, F.; SOYEZ, B. ;WOJNAROWICZ, M. Aspects Geotechniques de la Gestion des Dechets Industriels en France. France, 1994, p. 91-100.

SCHNEIDER, D.M. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINDUSCON-SP. Areia fica 14,11% mais cara em um ano. Matéria Publicada em 14/03/2006 Disponível em<  
[http://www.sindipedras.org.br/noticias.php?id\\_not=34](http://www.sindipedras.org.br/noticias.php?id_not=34)> Acesso: 11 de março de 2008.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.; TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. Sanare, Revista Técnica da SANEPAR, Curitiba, v.8, n.8, p.24-32, 1997.

SOUZA, A. História da arqueologia brasileira. Pesquisas, Antropologia n. 46, 157 p., 1991.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal**, v. 93, n. 2, p. 182-190, 1996.

TORRES, R.J. Uma análise preliminar dos processos de dragagem do Porto de Rio Grande-RS. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Oceânica da Fundação Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande. 190 p. 2000.

TUCCI, C. E. M. ; COLLISCHON, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: Carlos E. M. Tucci; David Motta Marques. (Org.). Avaliação e controle da drenagem urbana, 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000, v. 1, p. 119-127.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). A Guide to the Biosolids risk Assessments for the EPA Part 503 rule, 1995. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/ 832 – B – 93 – 005, 1995. 195p.

VALVERDE, E. M. Agregados para a construção civil. In: Balanço Mineral brasileiro, 2001. Disponível em:  
<http://www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribui%C3%A7%C3%A3o%20Ely%20Borges%20Fraz%C3%A3o.PDF>. Acesso em 27 de agosto de 2009.

VELLINGA, TIEDO, Guide de Gestion des Matériaux de Dragage, Rapport Spécial de la Commission Permanente de l'Environnement, International Navigation Association (PIANC), Bruxelles, Belgique. 1998.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1995.

WANG, L. et al. Effects of carbonate and organic matter on sorption and desorption behavior of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments from Yangtze river. Journal of Hazardous Materials, v. 154, n. 1-3, p. 811-817, June 2008.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7221: agregados : ensaio de qualidade de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. NBR 7223: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. NBR 9776: agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro. 1976.

ANGULO, S. C. et al. Caracterização de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos. In: Conferência latino-americana de construção sustentável / X Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. São Paulo. Conferência latino-americana de construção sustentável, 2004. 13p.

ANGULO, S. C. et al. Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD. In: V Seminário sobre desenvolvimento sustentável a reciclagem na construção civil, São Paulo. V Seminário sobre desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2002. 12p.

BEBIN J. Sludge problem in France: technical advances, changes in regulations, and French involvement in CEN/TC308. *European Water Pollution Control*, v.7, p. 18-28, 1997.

CHEETHAM, A. K.; DAY, P. *Solid State Chemistry : techniques*. Oxford Science Publications, Clarendon Press, New York, 1987, 398 p. Chapters: Diffraction methods (82); X-ray photoelectron spectroscopy and related methods (37).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro. 1996. 320p.

DREDGING INTERNATIONAL. Dredging: a clean up technique for contaminated aquatic sediments. 1998. Disponível em:  
<<http://www2.egenet.com.tr/~ozkasapm/engineering/dredgers/contdred.html>> Acesso em 04 de novembro de 2007.

EPSTEIN, E. The science of composting. 1. ed. Lancaster: Technomic Publishing Company Inc. 1997. 225p.

FERREIRA, G. C. ; DAITX, E. C. Mercado produtor de areia industrial nos Estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. *Geociências – UNESP*. São Paulo - SP, v. 22, p. 41-47, 2003.

FLEWITT, P.E.J. ; WILD, R.K. *Physical methods for materials characterization*, IOP London: Publishing Ltd., 1994, 517 p.

JAWOROSKI, H.C.; CAMPAGNOLO, J.L. Aderência de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural. In: Encontro Nacional da Construção, 10, 1990, Gramado. Anais..., Gramado, 1990.

MIRANDA, L. F. R. Estudo dos Fatores que Influenciam na Fissuração de Revestimentos Argamassas com Entulhos Reciclados. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000, 172 p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE / OMS. Cooper Environmental Health Criteria 61. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1992. Disponível em <http://inchem.org/documents/ehc> Acesso 21 de março de 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE / OMS. Cooper Environmental Health Criteria 61. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1998. Disponível em <http://inchem.org/documents/ehs> Acesso 21 de março de 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE / OMS. Cooper Environmental Health Criteria 61. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 2001. Disponível em <http://inchem.org/documents/ehc> Acesso 21 de março de 2009.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M.. Valorização de Resíduos Industriais na Produção de Materiais de Construção. Revista do IBRACON, São Paulo, v. 30, n. 37, p. 28-31, 2005.

SOUZA, U. E. L. Como reduzir perdas nos canteiros. In: Manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005. 128 p.

ULSEN, C. et al. Caracterização de resíduos de construção e demolição. In: I Simpósio Ibero-Americano de Engenharia de Minas. São Paulo. I Simpósio Ibero-Americano de Engenharia de Minas. São Paulo : EPUSP, 2004.

ULSEN, C.; KAHN, H. Correlação entre massa específica de agregados reciclados e suas propriedades físicas e microestruturais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. EPUSP. 2006. BT/PMI/235.

ZORDAN, S. E.; John, M. W. Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil. EPUSP. 2004. 11p. BT/PCC/ 379.

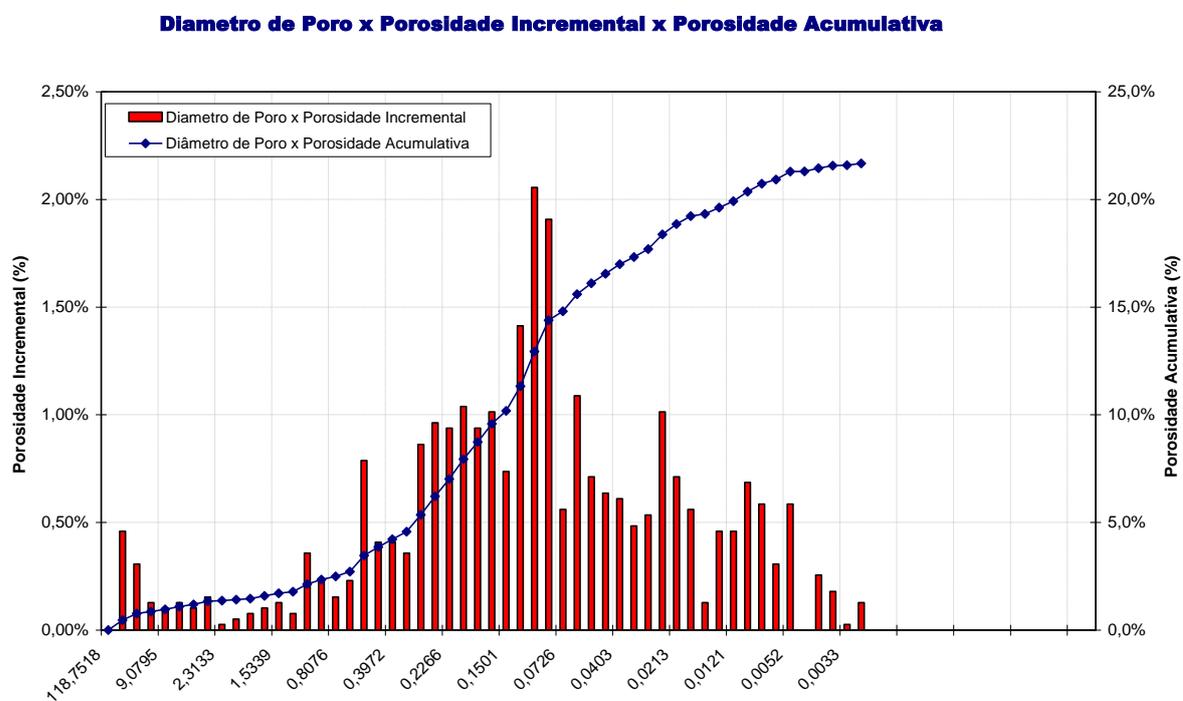
YONG R.N.; ELZAHABI M. pH influence on sorption characteristics of heavy metal in the vadose zone. Engineering Geology, v. 60, p.61-68. 2001.

Entulho: O Aproveitamento e a Reciclagem de Resíduos da Construção. Matéria publicada no Informativo Recicloteca Nº9 - abril, maio e junho de 1999. Disponível em

<<http://www.recicloteca.org.br/Default.asp?ID=57&Editoria=5&SubEditoria=19&Ver=1>>  
Acesso: 04 de dezembro de 2009.

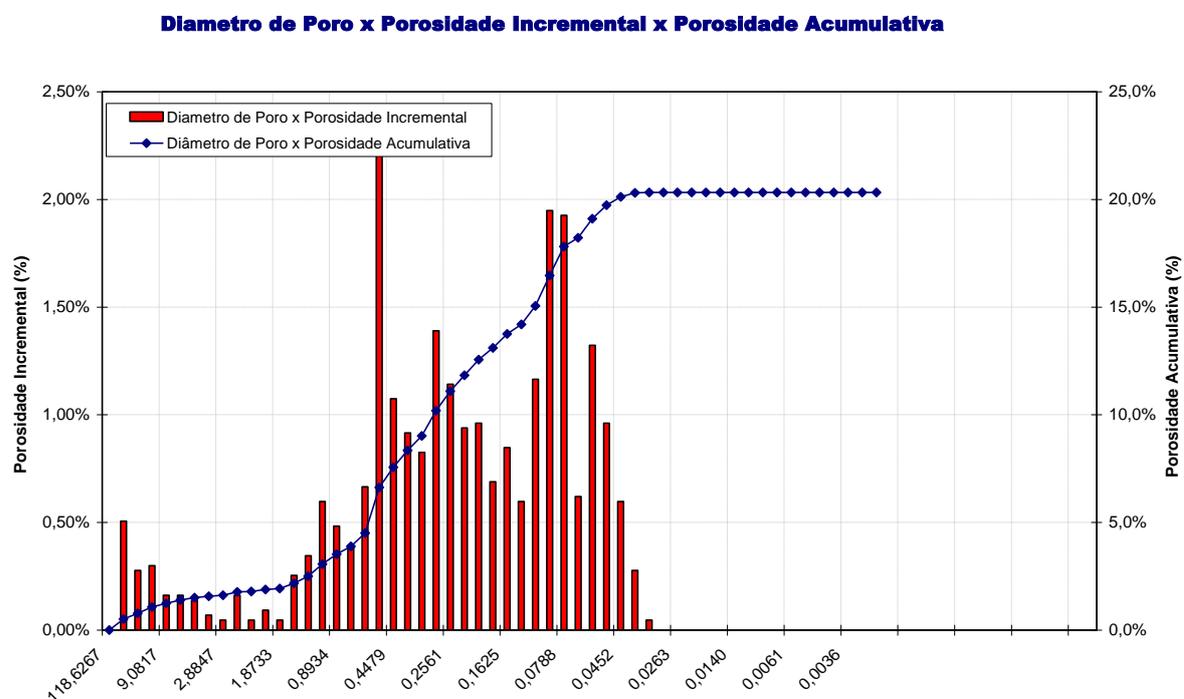
## ANEXO A

## POROSIMETRIA DA ARGAMASSA COM AREIA D9



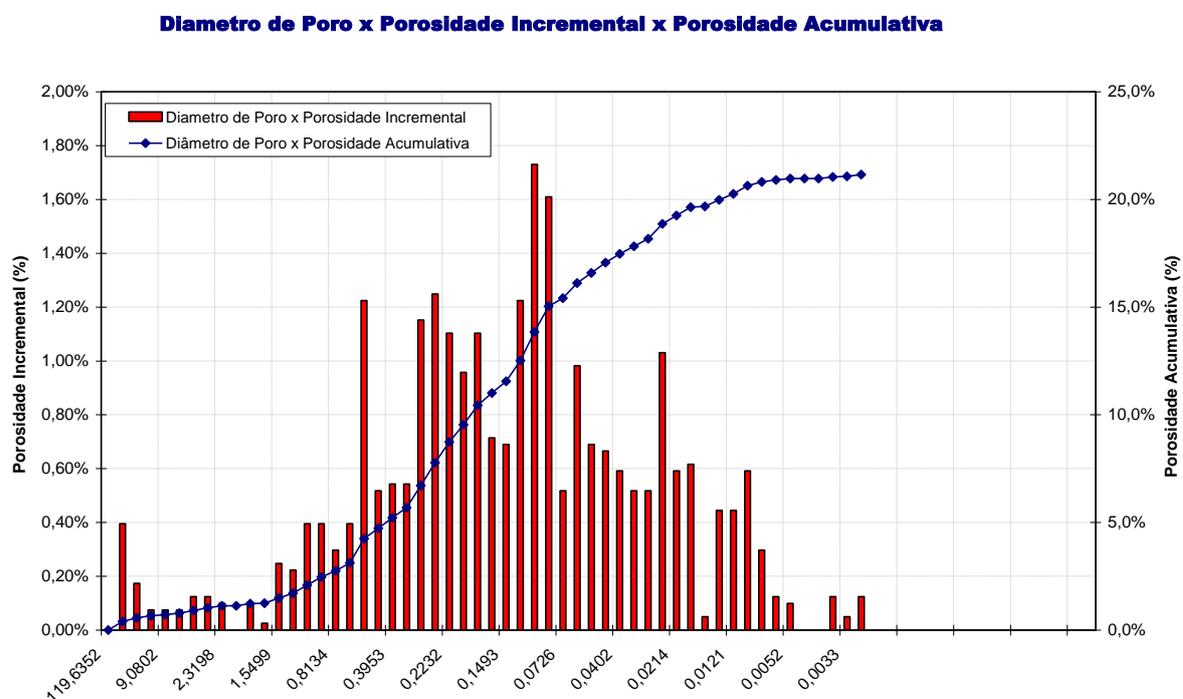
## ANEXO B

## POROSIMETRIA DA ARGAMASSA COM AREIA D10



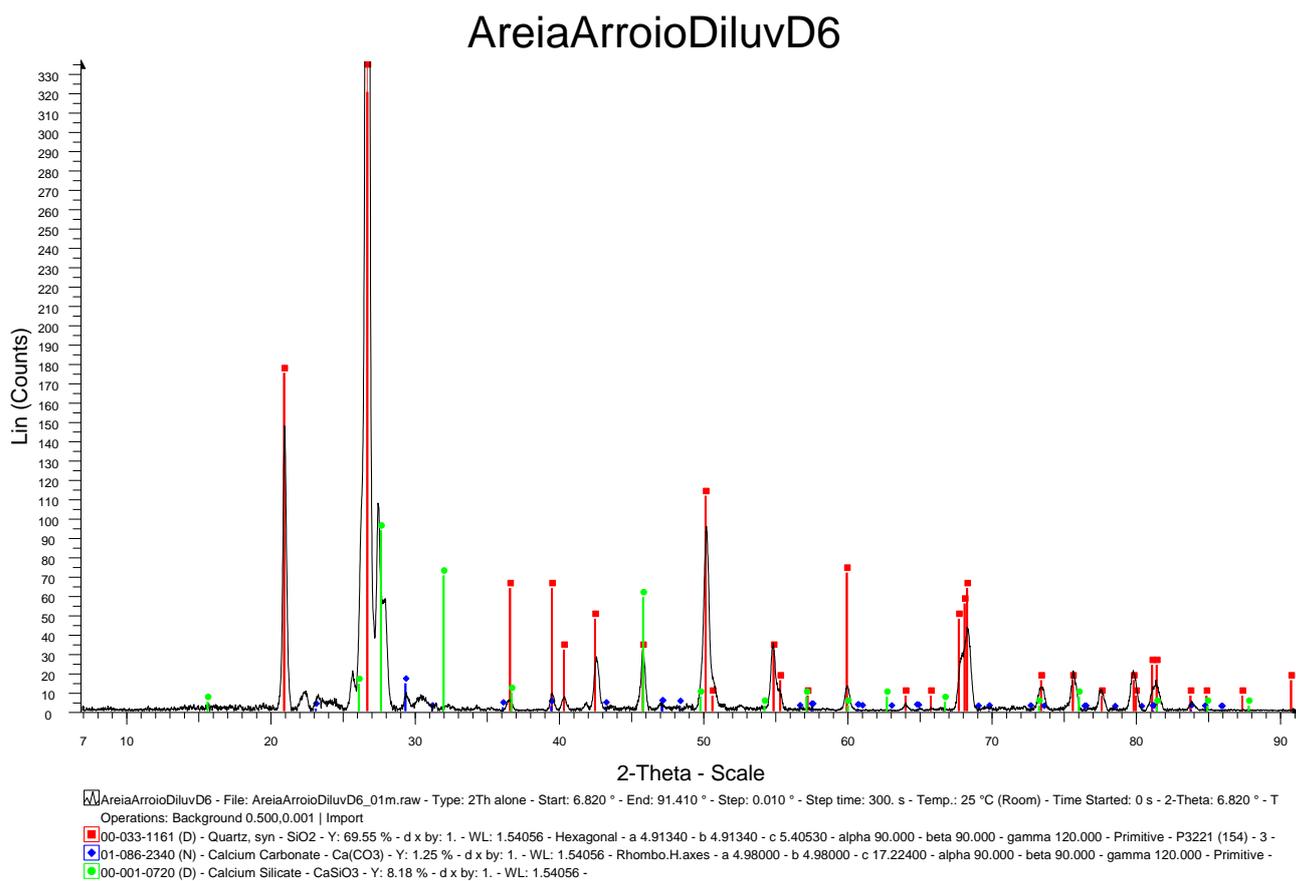
## ANEXO C

## POROSIMETRIA DA ARGAMASSA COM AREIA D11



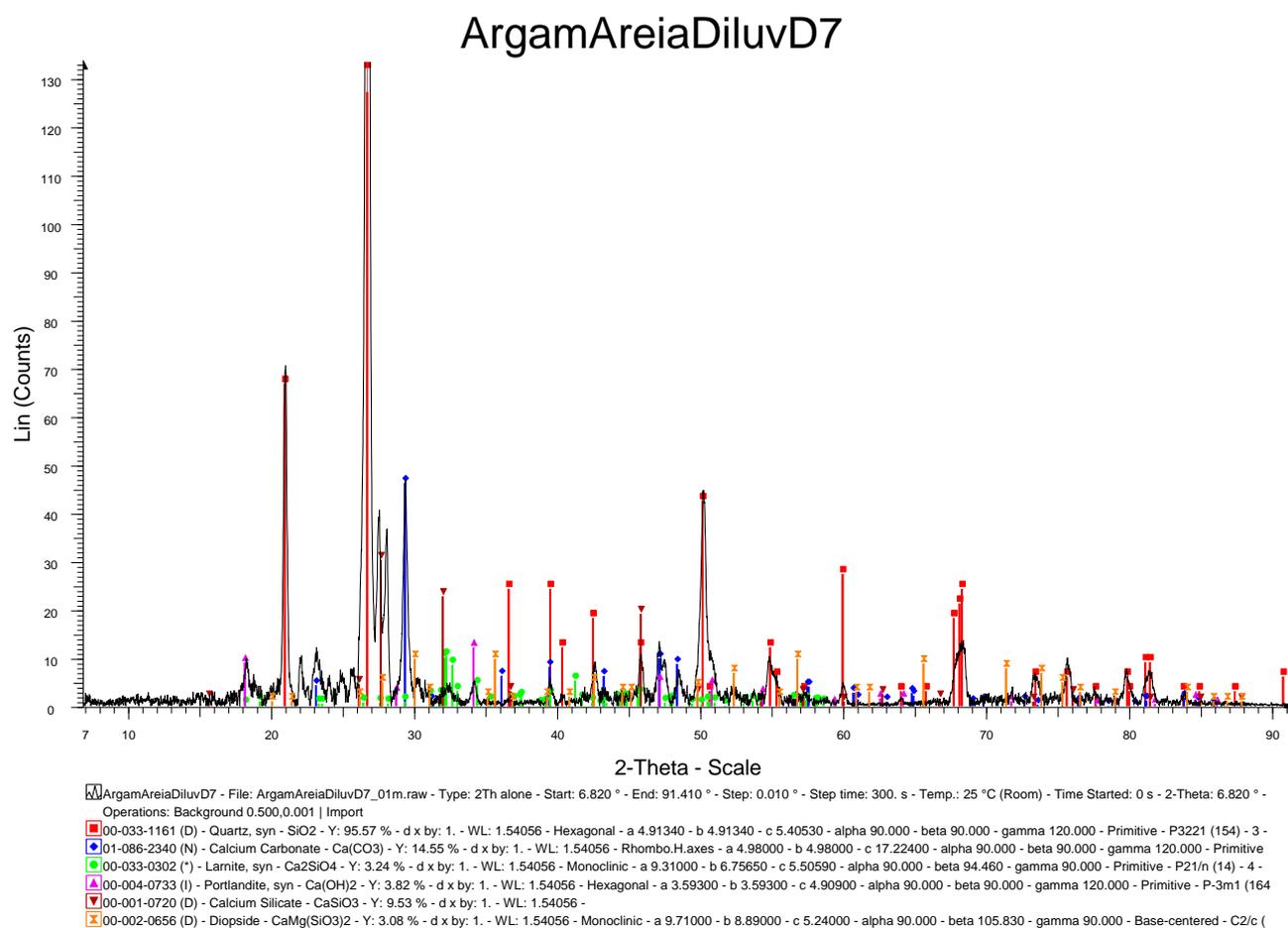
## ANEXO D

## DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA AREIA DO DILUVIO



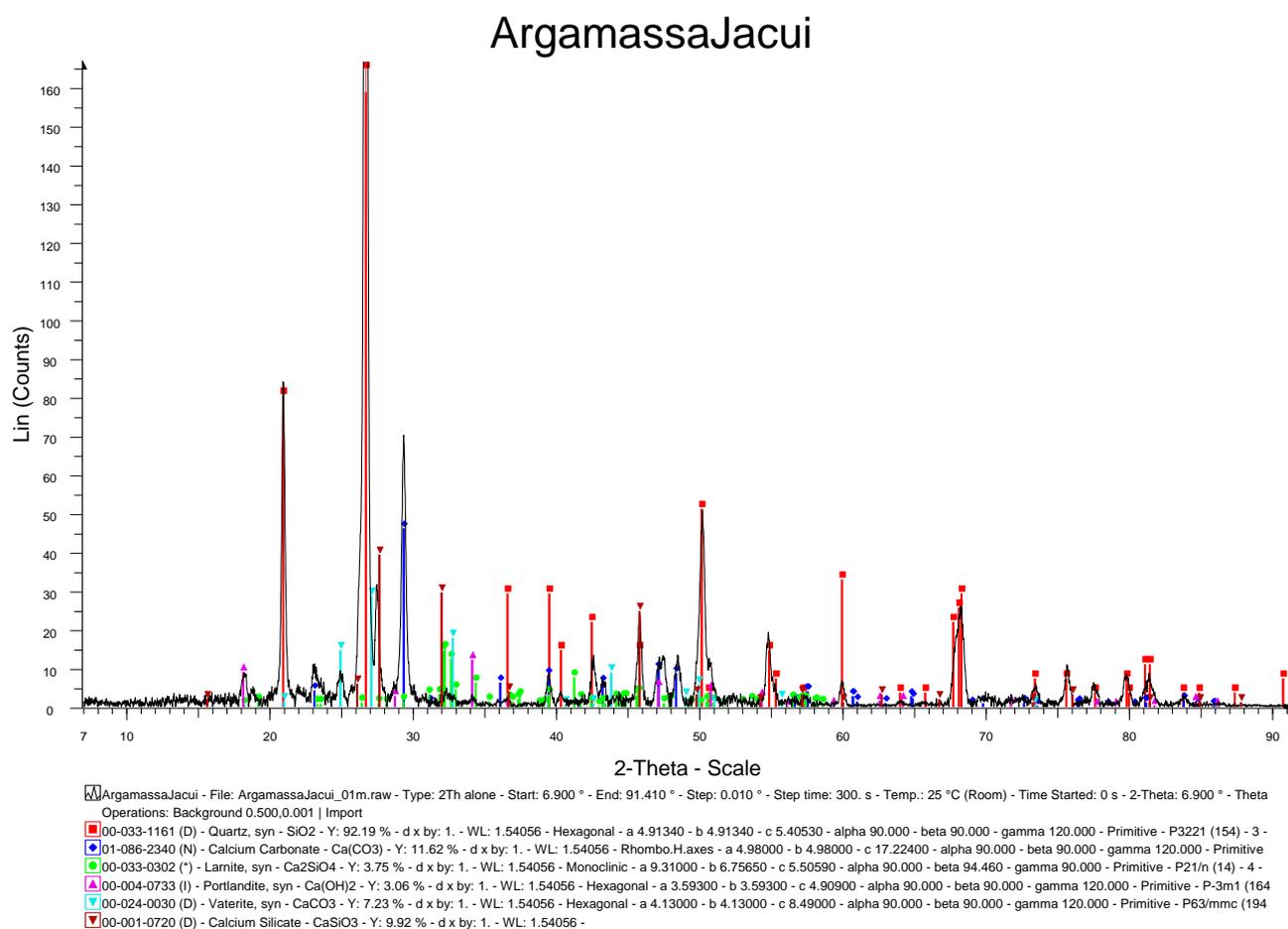
## ANEXO E

## DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA ARGAMASSA CONFECCIONADA COM A AREIA DO DILUVIO



## ANEXO F

## DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA ARGAMASSA CONFECCIONADA COM A AREIA DO JACUÍ



## ANEXO G

## QUADRO RESUMO DAS ANÁLISES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Parâmetro	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D9	D10	D11	JACUI	EPA1992 (Andreoli et al 2001)	CETESB (2005) VP
pH	6,8	7	6,6	5,5	N	N	N	6	6,1	7,4	6,8		
oleos e graxas (mg/g)	ND	ND	ND	1,15	NP	NP	NP	1,2	ND	6	ND		
M.O. ppm	4000	20000	4000	1400	3700	NP	870	2540	8900	NP	3000		
Contam. Parasitológica	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NP	NP	ND	SIM	ND	ND OVOS		
Contam. Bacteriológica	SIM	SIM	SIM	SIM	NP	NP	NP	SIM	SIM	SIM	1000org/g	1000 org/g	
<b>Metais (mg/g)</b>												<b>mg/g</b>	<b>mg/g</b>
Cu	NP	NP	NP	0,081	NP	NP	NP	<b>0,2237</b>	<b>0,1089</b>	0,043		0	<b>0,06</b>
Cr	ND	0,025	ND	0,014	NP	NP	NP	0,0298	0,0442	0,0488	ND	3	0,075
Pb	0,04	0,05	0,03	0,01	NP	NP	NP	<b>0,0796</b>	<b>0,1131</b>	0,041	0,02	0,84	<b>0,072</b>
Zn	0,044	0,045	0,043	0,078	NP	NP	NP	<b>0,3253</b>	<b>0,6415</b>	<b>0,3585</b>		7,5	<b>0,3</b>
Cd	0,001	ND	ND	ND	NP	NP	NP	ND	ND	ND		0,085	0,0013
Hg	0,00002	0,00005	0,00002	0,00007	NP	NP	NP	0,00003	0,00007	ND	0,00001	0,057	0,0005

VP= VALOR DE PREVENÇÃO

ND= NÃO DETECTADO Conama 375/06 (limite) ausência de salmonela em 10g e &lt;0,25 ovos/g de parasitas

NP= NÃO PESQUISADO

METAIS EM EXTRATO LIXIVIADO	Sedimento				Argamassa com resíduo			Monólito		NBR 10004/04	CONAMA 357/05
	D4	D9	D10	D11	D9	D10	D11	6h	864h	Lim. máx. mg/L	mg/L efluente
Cobre	0,006	0,28	0,2	0,17	0,021	0,028	0,1	0,01	0,008	-	1
Chumbo		0,13	0,09	<b>2,18</b>	0,0025	0,004	0,013	0,02	<0,02	1	0,5
Zinco	0,09	2,29	3,2	1,49	0,112	0,017	0,034	0,02	<0,02	-	5
Cromo	<0,005	0,02	0,02	0,02	0,0056	0,0056	0,041	0,004	<0,004	5	0,5
Cádmio		0,01	0,01	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	0,5	0,2
Mercurio	0,00495	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	0,1	0,01