

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE MECÂNICA E QUÍMICA DE PLACAS
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Leandro Agostinho Kroth

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**ANÁLISE MECÂNICA E QUÍMICA DE PLACAS
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS**

Leandro Agostinho Kroth

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. José Mario Doleys Soares

Santa Maria, RS, Brasil

2012



© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Leandro Agostinho Kroth. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua 7 de Setembro nº 1177, Santa Cruz do Sul, RS. CEP: 96810-252

Fone: (0xx)51 21090075 ; E-mail: leandroakroth@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**ANÁLISE MECÂNICA E QUÍMICA DE PLACAS
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS**

elaborada por
Leandro Agostinho Kroth

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Mario Doleys Soares, Dr.
(Presidente/Orientador)

Estela Oliari Garcez, Dr^a. (UFPEL)

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de setembro de 2012.

DEDICATÓRIA

À Deus,

razão da nossa existência e plenitude da vida.

Aos meus pais Lori Pedro e Nilsa “in memoriam” e meus irmãos

pelo contínuo apoio, fé e esperança.

À minha esposa Luciana,

pelo amor, compreensão e paciência.

À Luísa, Larissa, Leonardo e Laura,

meus eternos e amados filhos.

AGRADECIMENTOS

Às instituições FINEP, UFSM, UNISC, Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, CIENTEC e SUSEPE pelo apoio e parceria para a realização deste projeto desenvolvido, que faz parte desta dissertação.

Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. José Mario Doleys Soares, pela amizade, oportunidade, aceitação de orientação, dedicação incansável, incentivo e paciência ao longo dos anos do desenvolvimento deste mestrado.

Ao professor Rinaldo José Barbosa Pinheiro pelo esforço e valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Eng^o. Marcus Daniel Friederich dos Santos pelo companheirismo, disposição, colaboração e por acreditar no desenvolvimento desta tecnologia.

Às professoras Adriana Lawisch Rodriguez, Liane Mahlmann Kipper e Cláudia Mahlmann do Departamento de Química da UNISC, pelas especiais contribuições que enriqueceram brilhantemente esta pesquisa.

Aos professores Geraldo Cechella Isaía, Joaquim C. Pizzutti dos Santos, Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Denise Souza Saad, Dinara Xavier da Paixão, Odorico Antônio Bortoluzzi que me ajudaram a crescer profissionalmente.

A todos os colegas de mestrado, em particular, Ana P. Meneghetti, Felipe C. Rauber, Francéli Ferreira, Jonas A. Schneider, Leandro Z. Grohmann, Rodrigo R. dos Santos, Marco A. de Oliveira, pelo apoio, pela amizade e pelo incentivo.

Ao Laboratório de Materiais da Construção Civil (UFSM), agradeço especialmente aos funcionários, João Francisco Nunes Maciel, Marialva Lorensi, Mauro L. Just, Paulo Inácio Obregon do Carmo e bolsistas que ajudaram a realizar os ensaios desta pesquisa.

Ao meu irmão Lídio, às minhas filhas Luísa e Larissa e à minha amiga Patrícia Küster, pela imensa ajuda.

Agradeço ainda aos que me fecharam as portas, pois proporcionaram a oportunidade de trilhar por outros caminhos, quem sabe mais proveitosos embora mais íngremes e longos.

A luz é a sombra de Deus.

(Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE MECÂNICA E QUÍMICA DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS

AUTOR: LEANDRO AGOSTINHO KROTH

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de setembro de 2012.

Este trabalho objetiva analisar um sistema construtivo com material alternativo, resíduos de borracha de pneus, em habitações de interesse social. A revisão bibliográfica apresenta pesquisa sobre habitação, déficit, meio ambiente, projetos habitacionais no Brasil, pneus e estudos do Sistema Construtivo Bom-Plac, compreendendo definições, classificações, tipologias, modelos de tecnologias, fatores intervenientes na construção civil. São apresentadas as características do Sistema Construtivo BOM-PLAC, com descrição dos materiais e componentes. São realizados medições, ensaios e testes utilizando-se corpos-de-prova de concreto com incorporação de resíduo de borracha, avaliando-se a umidade, massa unitária, granulometria, resistência à compressão e análise química do resíduo de borracha. O traço 1:2:0,5:2 (cimento CP-V, areia, borracha e brita nº 1) resultou em uma maior resistência média à compressão atingindo 14,38 MPa. A análise química, compreendendo os ensaios de lixiviação, solubilização, ph, microscopia eletrônica de varredura, difratômetro de raio-X, teste microbiológico e os ensaios com soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e soda cáustica (NaOH), mostraram que não há liberações de metais pesados para o meio ambiente, conforme a NBR 10006 da ABNT. Apresenta-se também um breve relato sobre experiências desenvolvidas pelo autor, propondo tipologia para placa, tipologia habitacional, fossa séptica multifuncional e sumidouro.

Palavras-chave: Sistemas Construtivos, Pré-Moldado, Habitação de Interesse Social, Resíduos de Borracha.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

MECHANICAL ANALYSIS IS CHEMICAL OF PLATES PREMOLDED OF CONCRETE WITH ADDITION OF RESIDUES OF TIRES

AUTHOR: LEANDRO AGOSTINHO KROTH

ADVISOR: PROF. DR. JOSÉ MARIO DOLEYS SOARES

Date and Local of Defense: Santa Maria, September 28, 2012.

This work aims to analyze a building system that utilizes alternative material and residues of tire rubber in community housing. Primarily, this work shows a review of literature concerning housing, debit, environment, habitation projects in Brazil and recycling of used tires. Definitions, classification, types, models of technology and factors involving pré-fabricated comunits houses are also presented. In addition, characteristics of the “Sistema Construtivo Bom-Plac” are shown with detailed information of materials employed. Subsequently, measurements, probes and tests using concrete pre-cast slabs which with tire rubber are analyzed concerning moisture content, density, compressive strength and chemical analysis of the tire rubber. A better compressive strength reaching 14,38 MPa level was observed for mixture composition 1:2:0.5:2 (cement CP-V, sand, rubber and gravel number 1). To make sure that no heavy metals are released in the environment according to NBR 10006 of ABNT technical regulations chemical analysis were performed. Chemical analyses included tests evaluating water effect, solvability, pH, scanning electron microscopy, microbiology and water uses with and without sulfuric acid (H₂SO₄) and sodium hydroxide (NaOH). A brief report with experiences by the author are presented including the pré-fabricated type, habitation type, multi-functional septic tank and drainage are included in this thesis.

Key words: construction system, tires, pre-cast slabs, community housing, rubber residues.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição de pneus de automóveis e caminhão	53
Tabela 2.2 – Energias e altura de queda	59
Tabela 2.3 – Impacto de corpo mole	60
Tabela 2.4 – Indicações de impacto	60
Tabela 2.5 – Impacto de corpo duro	61
Tabela 2.6 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 5 cm	64
Tabela 4.1 – Traços utilizados com seus respectivos percentuais de borracha	82
Tabela 4.2 – Características dos corpos-de-prova utilizados	87
Tabela 4.3 – Características dos corpos-de-prova utilizados com brita nº 1	91
Tabela 5.1 – Umidade higroscópica da areia	94
Tabela 5.2 – Massa unitária da areia e da borracha	94
Tabela 5.3 – Ensaio de granulometria da borracha	95
Tabela 5.4 – Ensaio de granulometria da areia	95
Tabela 5.5 – Resultados dos testes de lixiviação segundo NBR 10006	100
Tabela 5.6 – Resultados do teste de solubilidade	100
Tabela 5.7 – Resultado do teste de lixiviação	101
Tabela 5.8 – Resultado do teste de solubilidade	102
Tabela 5.9 – Resultados dos ensaios de solubilidade da brita	103
Tabela 5.10 – Análise da amostra N sem tratamento, através de microscópio eletrônico de varredura	112
Tabela 5.11 – Análise da amostra M com tratamento, através d microscópio eletrônico de varredura	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Déficit habitacional no Brasil	25
Figura 2.2 – Distribuição do déficit habitacional brasileiro por regiões	27
Figura 2.3 – Tipologia isolada	40
Figura 2.4 – Tipologia geminada	41
Figura 2.5 – Tipologia contínua	41
Figura 2.6 – Tipologia sobreposta	42
Figura 2.7 – Tipologia vertical	42
Figura 2.8 – Estrutura da casa de aço	43
Figura 2.9 – Vista frontal da casa de aço	43
Figura 2.10 – Casa de 45,11 m ² (2 dormitórios).....	44
Figura 2.11 – Casa de 46,50 m ² (2 dormitórios).....	44
Figura 2.12 – Casa de 46,57 m ² (2 dormitórios).....	45
Figura 2.13 – Casa de 66,75 m ² (4 dormitórios).....	45
Figura 2.14 – Habitação de bloco cerâmico	45
Figura 2.15 – Casa com bloco de concreto	46
Figura 2.16 – Técnica com bloco de concreto	46
Figura 2.17 – Forma casa monolítica	47
Figura 2.18 – Casa concreto celular	47
Figura 2.19 – Desenho eletrônico	48
Figura 2.20 – Casa pronta	48
Figura 2.21 – Detalhe das placas de concreto	49
Figura 2.22 – Casa com placas de concreto	49
Figura 2.23 – Casa de PVC da MEDABIL	50
Figura 2.24 – Casa de plástico MVC	50
Figura 2.25 – Montagem da casa de solo-cimento	51
Figura 2.26 – Detalhe tijolo de solo-cimento	51
Figura 2.27 – Estrutura de pneu de automóvel	52
Figura 2.28 – Processo de trituração	55
Figura 2.29 – Saco cilíndrico de couro preenchido com areia, 40 kg	59
Figura 2.30 – Esfera maciça de aço utilizada no ensaio	61
Figura 2.31 – Impacto de corpo duro	61
Figura 2.32 – Gráfico comparativo entre os ensaios E6 e E10	63
Figura 2.33 – Testes de transmissão de calor com placa de 5 cm	64
Figura 2.34 – Gráfico de temperaturas – 06 de dezembro de 2007	65
Figura 3.1 – Pilar “modelo 1”	67
Figura 3.2 – Pilar “modelo 2”	67
Figura 3.3 – Pilar “modelo 3”	67
Figura 3.4 – Pilar “modelo 4”	68
Figura 3.5 – Detalhe do esquadro	72
Figura 3.6 – Gabarito e marcação no terreno	72
Figura 3.7 – Execução da vala de fundação	73
Figura 3.8 – Corte transversal da vala	73
Figura 3.9 – Orientação das camadas na vala	73
Figura 3.10 – Detalhamento da fundação	73
Figura 3.11 – Locação e tipologia dos pilares	73
Figura 3.12 – Espaço interno a ser aterrado	74
Figura 3.13 – Vista superior do contrapiso executado	74

Figura 3.14 – Ancoragem detalhada dos pilares	75
Figura 3.15 – Fechamento do oitão	75
Figura 3.16 – Cintamento no topo dos pilares	75
Figura 3.17 – Colocação esquemática das placas	76
Figura 3.18 – Corte transversal do telhado	76
Figura 3.19 – Colocação das telhas	77
Figura 3.20 – Detalhamento da execução do forro	77
Figura 3.21 – Projeto elétrico	77
Figura 3.22 – Projeto hidrossanitário	78
Figura 3.23 – Dimensionamento da porta padrão	78
Figura 3.24 – Formatação da janela padrão tipo veneziana	79
Figura 3.25 – Configurações das janelas basculantes da cozinha e do banheiro ...	79
Figura 3.26 – Exemplificação de revestimento	79
Figura 4.1 – Amostras de areia para medição do percentual de umidade de areia	80
Figura 4.2 – Ensaio de granulometria da areia	81
Figura 4.3 – Ensaio de granulometria da borracha	81
Figura 4.4 – Material utilizado na composição dos traços: areia, borracha e cimento, respectivamente	82
Figura 4.5 – Adição de água a mistura	83
Figura 4.6 – Procedimentos para realização do slump test	84
Figura 4.7 – Medição do slump test	84
Figura 4.8 – Corpos-de-prova após moldagem	84
Figura 4.9 – Corpos-de-prova curados em água	84
Figura 4.10 – Detalhe do rompimento do corpo-de-prova	85
Figura 4.11 – Britagem do material fragmentado	88
Figura 4.12 – Obtenção de amostras para lixiviação e solubilização por meio de quarteamento mecânico	88
Figura 4.13 – Sistema de filtração sob vácuo utilizado	89
Figura 4.14 – Agitador de frascos tipo Rollover	89
Figura 5.1 – Organograma	93
Figura 5.2 – Curva de distribuição granulométrica do resíduo de pneu	96
Figura 5.3 – Teste de resistência à compressão das argamassas	97
Figura 5.4 – Influência da utilização da borracha na resistência aos 7 dias	98
Figura 5.5 – Influência da utilização da borracha na resistência aos 28 dias	98
Figura 5.6 – Teste de compressão aos 28 dias	99
Figura 5.7 – Interação com resíduo de borracha	104
Figura 5.8 – Interação com resíduo de borracha	104
Figura 5.9 – Interação com resíduo de borracha tratada	105
Figura 5.10 – Interação com resíduo de borracha tratada	105
Figura 5.11 – Microfotografia da amostra C contendo cimento, areia e resíduo de borracha sem tratamento	106
Figura 5.12 – Encapsulamento do resíduo de borracha sem tratamento	106
Figura 5.13 – Resíduo de borracha sem tratamento encapsulado em matriz de cimento e areia	107
Figura 5.14 – Resíduo de borracha sem tratamento encapsulado em matriz de cimento e areia	107
Figura 5.15 – Resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1M em matriz de cimento e areia	108
Figura 5.16 – Resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1M em matriz	

de cimento e areia	108
Figura 5.17 – Interação do resíduo de borracha e a matriz de concreto	109
Figura 5.18 – Interação entre a borracha tratada e a matriz de cimento	109
Figura 5.19 – Aderência da borracha à matriz de cimento	110
Figura 5.20 – Detalhamento dos pontos da amostra N com borracha sem tratamento	110
Figura 5.21 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 1	111
Figura 5.22 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 2	111
Figura 5.23 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 3	111
Figura 5.24 – Detalhamento dos pontos da amostra M com borracha tratada com NaOH	113
Figura 5.25 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 1	113
Figura 5.26 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 2	113
Figura 5.27 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 3	114
Figura 5.28 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 4	114
Figura 5.29 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de raio-X no ponto 5	116
Figura 5.30 – Tipologias de placas vazadas	117
Figura 5.31 – Planta baixa e cortes da tipologia de placa vazada	117
Figura 5.32 – Planta baixa	117
Figura 5.33 – Detalhamento dos pilares	118
Figura 5.34 – Fachada e vista lateral esquerda	118
Figura 5.35 – Fachada e vista lateral direita	118
Figura 5.36 – Fundos e vista lateral direita	118
Figura 5.37 – Fundos e vista lateral esquerda	118
Figura 5.38 – Vista superior – fundos	118
Figura 5.39 – Vista superior – frente	118
Figura 5.40 – Planta baixa da fossa séptica	119
Figura 5.41 – Corte da fossa séptica	119
Figura 5.42 – Planta baixa do filtro anaeróbio	119
Figura 5.43 – Corte do filtro anaeróbio	119
Figura 5.44 – Planta baixa e corte do sumidouro de pneus	120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Estrutura do trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Habitação de interesse social	19
2.1.1 Histórico	19
2.1.2 Conceito de habitação de interesse social	23
2.2 Déficit habitacional no Brasil	24
2.2.1 Déficit habitacional	24
2.2.2 Principais características do déficit	26
2.3 Edificação e meio ambiente	29
2.3.1 Realidade	29
2.3.2 Integração urbanística e social	30
2.3.3 Redução dos custos de produção	31
2.3.4 Desempenho	32
2.3.5 Flexibilidade e adequação das soluções	33
2.3.6 Regramento e técnicas claras e adequadas	33
2.4 Propostas de projetos habitacionais no Brasil	34
2.4.1 Introdução	34
2.4.2 Processo e sistema construtivos	35
2.4.3 Classificação dos processos e sistemas construtivos	36
2.4.4 Escolha do processo e sistema construtivo	37
2.4.5 Desenvolvimento de um processo e sistema construtivo	39
2.4.6 Tipologias habitacionais aplicadas à habitação de interesse social	39
2.4.7 Sistemas construtivos para habitações	42
2.5 Pneus	51
2.5.1 Breve histórico	51
2.5.2 Componentes dos pneus	52
2.5.3 Resíduos de pneus inservíveis	53
2.5.4 Descarte de pneus inservíveis	54
2.5.5 Possíveis destinações ambientalmente adequadas para os pneumáticos inservíveis	55
2.5.6 Aplicações na construção civil	56
2.5.6.1 Características dos compósitos de matriz cimentícia com borracha de pneu	57
2.6 Ensaios Complementares do Sistema Construtivo BOM-PLAC	58
2.6.1 Ensaios de Impacto	58
2.6.1.1 Ensaio de impacto de corpo mole	58
2.6.1.2 Ensaio de impacto de corpo duro	60
2.6.2 Ensaios Acústicos	61
2.6.2.1 Ensaios E1 a E5 com placas de 30 mm	62
2.6.2.2 Ensaios E6 a E10 com placas de 50 mm	62

2.6.3 Ensaio de Resistência ao Fogo	63
2.6.4 Medição das Temperaturas Interna e Externa	65
3 SISTEMA CONSTRUTIVO BOM-PLAC	66
3.1 Introdução	66
3.2 Fundações	68
3.3 Estrutura portante	69
3.4 Cobertura	69
3.5 Paredes	70
3.6 Instalações elétricas	70
3.7 Instalações hidrossanitárias	71
3.8 Pisos	71
3.9 Acabamento	71
3.10 Seqüência de construção de uma casa BOM-PLAC	72
4 MATERIAIS E METODOLOGIA	80
4.1 Medição da umidade da areia	80
4.2 Ensaio de massa unitária da areia e da borracha	81
4.3 Ensaio de granulometria da areia e da borracha	81
4.4 Moldagem de corpos-de-prova de argamassa com adição de resíduo de borracha	82
4.5 Realização de testes de resistência à compressão dos traços aos 7 e 28 dias	85
4.6 Análise química e mecânica do resíduo e dos compósitos	85
4.6.1 Ensaio de corpos-de-prova contendo cimento, areia e resíduo de borracha	86
4.6.2 Análise de corpos-de-prova contendo areia, cimento, resíduo de borracha e brita nº 1	91
5 RESULTADOS E ANÁLISES	93
5.1 Estudos da aplicação do resíduo de borracha	94
5.1.1 Umidade de areia	94
5.1.2 Massa unitária	94
5.1.3 Granulometria da areia e da borracha	95
5.1.4 Resistência à compressão das argamassas aos 7 e 28 dias	96
5.1.5 Influência da quantidade de borracha no traço e adição de brita nº 1	97
5.2 Análise química do resíduo de borracha	99
5.2.1 Ensaio de lixiviação e solubilização – traço 1:2:0,5	99
5.2.2 Ensaio de lixiviação e solubilidade – traço 1:2:0,5:2 (com brita nº 1)	101
5.2.3 Teste microbiológico	103
5.2.4 Resultados da microscopia ótica	103
5.2.5 Resultados da microscopia eletrônica de varredura	105
5.3 Propostas de novas tipologias e materiais	116
5.3.1 Tipologia para placa	116
5.3.2 Tipologia habitacional	117
5.3.3 Fossa séptica multifuncional	119
5.3.4 Sumidouro	120
6 CONCLUSÃO	121
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

1 INTRODUÇÃO

Os pesquisadores, desde o século passado, tentam conceituar padrões mínimos e máximos de habitabilidade, mas existem muitas dificuldades para definirem tais padrões. O conceito de habitação no âmbito social é dependente das condições de espaço e de tempo na qual é diagnosticada, mas está diretamente relacionada às necessidades básicas na área habitacional da população de baixa renda. Diante desse desafio resultou, em decorrência de políticas habitacionais, o aparecimento no mercado de uma série de novos materiais, componentes e sistemas construtivos, desde a década de 1960 (ZENHA, 1998).

A construção civil, nos últimos anos, registrou o aparecimento de uma série de inovações tecnológicas, que pretendiam satisfazer às necessidades do mercado. Em alguns casos, tais inovações nunca foram utilizadas, pois faltou comprovação da eficácia do sistema (SABADINI e SABBATINI, 2004).

Soares (2007) e Sayegh (2002) realizaram revisões bibliográficas sobre inovações tecnológicas em habitações de interesse social em que mencionam diversas experiências nacionais (SZUCS, 2006; CÉSAR & ROMAN, 2006; SOARES et al., 2006; SATTLER, 2003, entre outros).

Este trabalho teve como objetivo analisar e contribuir para a evolução e aprimoramento do sistema construtivo criado pelo autor e desenvolvido junto à Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, que já tinha edificado no decorrer desses anos, em diversos bairros, 241 unidades habitacionais de tipologias isoladas, e padronizadas em duas áreas ($A= 39,47 \text{ m}^2$ e $A= 58,80 \text{ m}^2$).

1.1 Justificativa

Dentro da construção civil sabe-se que os materiais tradicionais de edificações elevam o custo das residências, impossibilitando as famílias que possuem pequeno poder aquisitivo, de adquirirem seu terreno e habitação digna.

Uma tecnologia inovadora é apropriada quando produz efeitos eficazes e melhora sensivelmente as condições de vida da população alvo, e assegura maior justiça social. Ao mesmo tempo, deve ser libertadora, no sentido de viabilizar ao ser humano, de forma individual ou em grupo, maior controle sobre seu próprio destino, não poluindo a natureza e reduzindo o emprego de recursos naturais não renováveis, ser eficiente do ponto de vista econômico e tecnológico, e valorizando o conhecimento popular, procurando somá-lo ao saber técnico ou erudito (KÖHLER, 2010).

As questões sociais interligadas às questões ambientais procuram o ponto ótimo, ou seja, o ponto de equilíbrio para o crescimento sustentável aliando-se com tecnologias inovadoras que reduzam o custo final da habitação, e simultaneamente resgatem a cidadania dos excluídos, somando-se com a preocupação de proteger e preservar o meio ambiente.

Neste contexto habitacional, esta pesquisa objetiva buscar alternativas para reduzir o custo das unidades habitacionais, para que possa ser ampliado o atendimento das demandas da população que ocupa locais insalubres e de risco sazonal ou permanente. A utilização de resíduos de pneus inservíveis como adição para a confecção de placas de concreto tem um enfoque importante, proporcionando uma redução de no uso de recursos naturais não renováveis, e dando finalidade a este resíduo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Aprimoramento do material utilizado nas vedações verticais do sistema construtivo pré-moldado BOM-PLAC constituído de placas cimentícias confeccionadas, com adição de resíduos de borracha oriunda de recauchutagem de pneus, com a finalidade de otimizar a construção de habitações de interesse social.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar estudos de caracterização física dos componentes que fazem parte das misturas que são utilizadas na confecção das placas cimentícias que compõem as vedações verticais, para avaliar o teor de umidade, massa unitária e granulometria.

Verificar e analisar os melhores resultados com relação à resistência mecânica dos traços de argamassa e concreto variando o percentual de resíduo de borracha nas composições propostas.

Estudar a lixiviação e solubilidade das placas de concreto através das caracterizações físico-químicas e mecânicas dos materiais produzidos na confecção dos corpos-de-prova.

Comprovar a interação do resíduo de borracha tratada e não tratada com matriz cimentícia, por meio do microscópio eletrônico de varredura.

1.3 Estrutura do trabalho

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho foi organizado em seis capítulos. Como pode ser observado, o presente Capítulo 1 – Introdução, tem a exposição da justificativa, objetivos, estruturação do trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica, apresenta um histórico sobre habitação de interesse social, déficit habitacional no Brasil com suas características, a interação das edificações e o meio ambiente, bem como as propostas de projetos habitacionais no Brasil, abordando sobre o pneu e suas possíveis destinações ambientalmente adequadas.

O Capítulo 3 – Sistema Construtivo Bom-Plac, apresenta o detalhamento e a tecnologia adotada para executarem habitações de interesse social, utilizando o resíduo de borracha de pneus como material alternativo.

O Capítulo 4 – Materiais e metodologia, apresenta os métodos utilizados no procedimento experimental tanto nos ensaios dos corpos-de-prova quanto nas análises químicas dos resíduos de borracha.

O Capítulo 5 – Resultados e análises, destaca uma ampla discussão relativa aos resultados alcançados, inclusive com abordagem nos ensaios de lixiviação e solubilização nos traços de argamassa e concreto com a incorporação do resíduo de borracha de pneu, com proposta de novas tipologias e materiais.

No Capítulo 6 – Conclusão, são destacadas as principais realizações executadas, comparando os resultados alcançados com os diagnósticos descritos e exemplificados pela literatura pertinente, com sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Habitação de interesse social

2.1.1 Histórico

O progresso da ciência propiciou a redução da taxa de mortalidade e, conseqüentemente, a intensificação do crescimento da população mundial, que atingiu seu primeiro bilhão de habitantes por volta de 1830, e segundo dados da Organização das Nações Unidas - ONU, em menos de 100 anos a população duplicou, em 1930 passando para dois bilhões de habitantes, 2011 atingindo sete bilhões de pessoas e atualmente somos 7.079 bilhões.

No Brasil, os problemas relacionados à expansão demográfica devido ao crescimento populacional ligados a outros fatos importantes por volta de 1830, acarretaram em uma ação governamental no campo da habitação.

O início da industrialização deflagra o processo de urbanização, bem como o de reivindicações sociais mais avançadas. O crescimento populacional já era sensível, pois o país que tinha 8 milhões de habitantes em 1850 (sendo 2,5 milhões de escravos) passa a ter aproximadamente 10 milhões em 1872, ocasião do primeiro censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

A crise habitacional no Brasil começou e agravou-se pouco depois da abolição da escravatura (1888) e da proclamação do regime republicano (1889). Durante esse período, forças progressistas e a ampliação das atividades comerciais e industriais, fortaleceram as atividades econômicas nas cidades.

Em contrapartida, enquanto tendiam a desaparecer na zona rural os cubículos imundos em que se amontoavam as populações escravas, cresciam nos centros mais populosos e mais adiantados outros tantos tipos de habitações coletivas, caracterizando verdadeiras senzalas urbanas, cortiços e estalagens que eram considerados focos de doenças endêmicas. Todas essas novas e pouco melhoradas

variedades de senzala urbanas ofereciam a vantagem de estar próximas dos locais de trabalho, abrigando nesses cortiços os artífices, pedreiros, carpinteiros, marceneiros, alfaiates, bem como os trabalhadores de fábrica (MENDONÇA, 1997).

Essas sub-habitações denominadas de cortiços eram fileiras de casinholas, umas ligadas às outras, com o mínimo de espaço, num diminuto cômodo e sem instalações sanitárias, cozinhas ou bicas d'água individuais, que eram de uso comunitário, disputado diariamente pela multidão de moradores.

No início do século XX, período de 1902 a 1920, o Brasil possuía cerca de 30 milhões de habitantes, sendo que 10% vivendo nas cidades. A ação austera e inflexível por parte do governo, na capital federal, modificou a paisagem do Rio de Janeiro, provocando uma remodelação urbanística com a derrubada dos velhos pardieiros e, conseqüentemente, construindo as novas moradias no centro da cidade. Acarretando, por conseguinte, a migração desta população desalojada a buscar refúgio na periferia urbana edificando nos morros seus barracos, iniciando-se as primeiras favelas (BONDUKI, 1998).

Na República Nova, período de 1930 a 1937, com as preocupações governamentais sobre a questão habitacional, cria-se os Institutos de Aposentadoria e Pensões - IAP, que iriam ser substituídas pelas, mais tarde, muitas das Caixas Econômicas. No intuito de aplicarem suas receitas na construção de casas para seus associados, mas não obtendo resultados expressivos no equacionamento do problema.

No Estado Novo, período de 1937 a 1945, caracteriza-se pela decisão de construir conjuntos habitacionais, em vez de casas individuais, que constitui uma nova orientação construtiva pelos IAPS, notadamente pelo Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Industriários - IAPI. A obtenção de residências a baixo custo, acessível a grandes massas de associados, levaria anos mais tarde, à conclusão que os projetos desenvolvidos enfrentariam graves problemas, em virtude das crescentes altas dos custos de construção e do processo inflacionário, que acabava desfazendo os salários dos trabalhadores, de modo que os institutos tiveram que absorver os prejuízos decorrentes da desvalorização da moeda (BONDUKI, 1998).

O populismo, período de 1945 a 1964, sob impacto dos processos de industrialização, de urbanização e de maior liberdade das camadas operárias e rurais, transformou o problema habitacional em uma questão mais complexa do que

simples construção de casas ou conjuntos. As questões que envolvem reforma agrária e urbana (propriedade da terra), faz com que o Governo sistematize suas atividades, intervindo no campo da habitação criando a Fundação da Casa Popular - FCP. Ela se propunha a proporcionar a brasileiros ou estrangeiros com mais de 10 anos de residência no País ou com filhos brasileiros, a aquisição ou construção de moradia própria, em zona urbana ou rural. Os limitados recursos financeiros para enfrentar seu vasto campo de atuação fizeram com que a Fundação desenvolvesse seu trabalho até 1955, quando reduz o ritmo de construções até paralisar praticamente suas atividades no início dos anos de 1960 (BONDUKI, 1998).

O Banco Nacional de Habitação - BNH, instituído pela Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, é criado pelo Governo Federal, intervindo no campo da habitação popular, dando um caráter mais elevado no nível de coordenação e de sistematização. Esta nova política contemplava a necessidade de estimular um importante setor industrial – o da construção civil, reduzindo as pressões sobre o desemprego e a inflação. Mas um outro aspecto continuava a preocupar, pois a maior parte dos recursos estavam sendo aplicados em construções para as classes média e alta, precisamente aquelas que dispunham de condições financeiras de adquirir pelo sistema financeiro (ZENHA, 1998).

Na década de 1970 o BNH inverte esse posicionamento estratégico, através de dois programas inovadores: o PROFILURB e o PROMORAR.

O Programa de Financiamento de Lotes Urbanizados – PROFILURB permitia ao trabalhador adquirir um lote urbanizado, ou seja, dotado de infra-estrutura com energia elétrica, água potável, instalações de esgoto sanitário, sendo que as pessoas habilitadas recebiam até cinco salários mínimos.

O PROMORAR, criado em 1979, tinha por finalidade a erradicação de sub-habitações que não atendiam às mínimas condições de serviços e salubridade, através de edificação de outras habitações, fomentando o desenvolvimento comunitário e melhorando a infra-estrutura urbana. Este programa buscava atuar no próprio espaço onde se encontravam as sub-habitações, favorecendo a permanência das pessoas nas mesmas áreas.

A década de 1980 no Brasil, principalmente no seu início, foi marcada por crises econômicas e ocorreram significativas alterações no quadro político-institucional. Um dos reflexos dessa crise foi o arrocho salarial da classe operária, a demora em encontrar nova colocação, a inflação com seus altos índices, que

contribuíram para aumentar o problema habitacional. O Decreto Lei nº 2.291 de 21 de novembro de 1986, extinguindo o Banco Nacional de Habitação - BNH, fez com que a situação se agravasse, aumentando significativamente a carência de investimentos na área habitacional do País (BRANDÃO, 2002).

A diminuição de investimentos públicos no setor aumentou o déficit habitacional e piorou a crise. Isso é comprovado através do estudo da Fundação João Pinheiro - FJP que aponta que entre 1964 e 1986 aproximadamente 27% das casas recém-construídas no país receberam algum tipo de financiamento do governo, diferente dos anos 90, quando os investimentos caíram para 11% e o déficit aumentou.

A partir da metade dos anos 90, houve uma retomada na produção de habitações. Em 1995 foram destinados 2,8 bilhões de reais do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço - FGTS para novos financiamentos, sendo 67% desse valor especialmente para a área de habitação popular. Entretanto, dentre os diversos tipos de financiamentos, não existia nenhum que atendesse a classe mais baixa, com renda inferior a três salários.

Segundo Castelo (2005), a carência em 2005 foi de 7,28 milhões de unidades, o que indicava um crescimento de 16,5% no período.

Outro aspecto importante na execução da política de habitação no país foi a elaboração do plano nacional de habitação no ano de 2008, a partir do conselho das cidades. Nele constam estratégias para equacionar as necessidades habitacionais do Brasil até o ano de 2023. Complementa esses marcos legais a Lei nº 11.977 de 07 de julho de 2009, que regulamenta o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), e a regularização fundiária no país. O Programa Minha Casa Minha Vida se constitui em um dos principais programas governamentais na área de habitação de interesse social, juntamente com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

O Programa “Minha Casa, Minha Vida”, lançado em março de 2009, tinha como meta inicial a construção de 1 milhão de moradias para famílias com renda mensal de até 10 salários mínimos, sendo desse montante 400 mil moradias para famílias com até 3 salários mínimos. A previsão de investimento no lançamento do Programa era de 60 bilhões de reais (KÖHLER, 2010).

O déficit habitacional brasileiro está estimado em 7,2 milhões de moradias, sendo que, desse total, 91% está concentrado na faixa de renda de até 3 salários mínimos e 36,4% na região sudeste (CAIXA, 2009).

Dentre os itens financiáveis para a construção industrializada estão: implantação, modernização e expansão de unidades industriais de casas pré-fabricadas, desenvolvimento de produtos pré-fabricados, capacitação técnica de pessoal, capital de giro, e máquinas e equipamentos nacionais. O programa prevê também maior facilidade e rapidez na obtenção de licenciamento ambiental dos empreendimentos (CAIXA, 2009).

2.1.2 Conceito de habitação de interesse social

O conceito de habitação de interesse social necessita, ele próprio, de ser explanado, devido à sua imprecisão, sempre na dependência das condições de espaço e de tempo em que é formulado.

Pode-se dizer que a habitação de interesse social pressupõe a fixação de padrões mínimos e de padrões máximos de habitabilidade, mas sem dúvida nenhuma a primeira dificuldade está precisamente em definir esses padrões (FREITAS, 2001).

Construir habitação de caráter social, de um ponto de vista global, é dar asas à imaginação para novas soluções construtivas, altamente produtivas na relação custo/benefício. Mas quando objetiva-se um maior número de unidades habitacionais obriga-se a poupar em tudo: na área, no projeto, nos materiais, nos acabamentos, no tempo relativo à execução; obriga a optar por medidas que permitam escalonar os investimentos, de acordo com as características das famílias a alojar, através da chamada construção evolutiva (FERNANDES, 2005).

2.2 Déficit habitacional no Brasil

2.2.1 Déficit habitacional

Num conceito mais amplo, o déficit habitacional é a necessidade de construção de novas moradias, mas vários elementos e fatores estruturais, culturais e socioeconômicos integram este tema. A questão habitacional possui fortes interfaces com outras questões, sendo inadequada uma abordagem setorial que busque reduzir a complexidade do habitat a um déficit habitacional *stricto sensu*.

A extrema heterogeneidade social do nosso País resulta em uma sociedade com índices de desigualdade extremamente elevados. Questões universais como educação, serviços de saúde e habitação não são facilmente comparáveis e muito menos intercambiáveis entre alguns dos diversos submundos sociais.

Frente a um contexto desse tipo, as demandas habitacionais não só são diferentes para os diversos setores sociais como variam e se transformam com a própria dinâmica da sociedade. Portanto, nesse sentido, discute-se a própria nomenclatura de déficit habitacional, que no sentido tradicional induz equivocadamente a expectativa de enfrentar a questão da moradia de forma setorial, além de camuflar uma complexa realidade de uma quantificação padronizada, a temporal e neutra.

O conceito de déficit habitacional utilizado neste trabalho está ligado diretamente às deficiências do estoque de moradias, portanto pode-se caracterizar duas modalidades de déficit, a primeira por incremento de estoque, a segunda por reposição de estoque de moradia. Os domicílios sem condições de habitabilidade, devido à precariedade das construções, ou em virtude de terem sofrido desgaste da estrutura física, devem ser repostos.

Na busca de uma integração sócio-econômica, os programas de regularização fundiária, vinculados a melhorias urbanas, têm sido um instrumento importantíssimo na luta de um grande contingente de moradores de favelas e de bairros clandestinos. Em função da interdependência da moradia com outras esferas recorrentes e complementares, nem sempre um simples incremento dos programas

de habitação se apresenta como a solução mais indicada para melhorar as condições habitacionais da população mais pobre.

A Figura 2.1 apresenta a variação percentual dos números do déficit habitacional em 2007 e 2008. No Brasil houve uma redução de 442 mil unidades no déficit, que passou de 5,989 milhões para 5,546 milhões. A queda em termos absolutos foi observada também nas Unidades da Federação, exceto em Santa Catarina, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. No Centro-Oeste houve aumento de 17,7 mil unidades no déficit, pouco representativo em termos relativos (0,2 ponto percentual). Assim como em 2007, 83,5% do déficit habitacional em 2008 ocorre nas áreas urbanas.

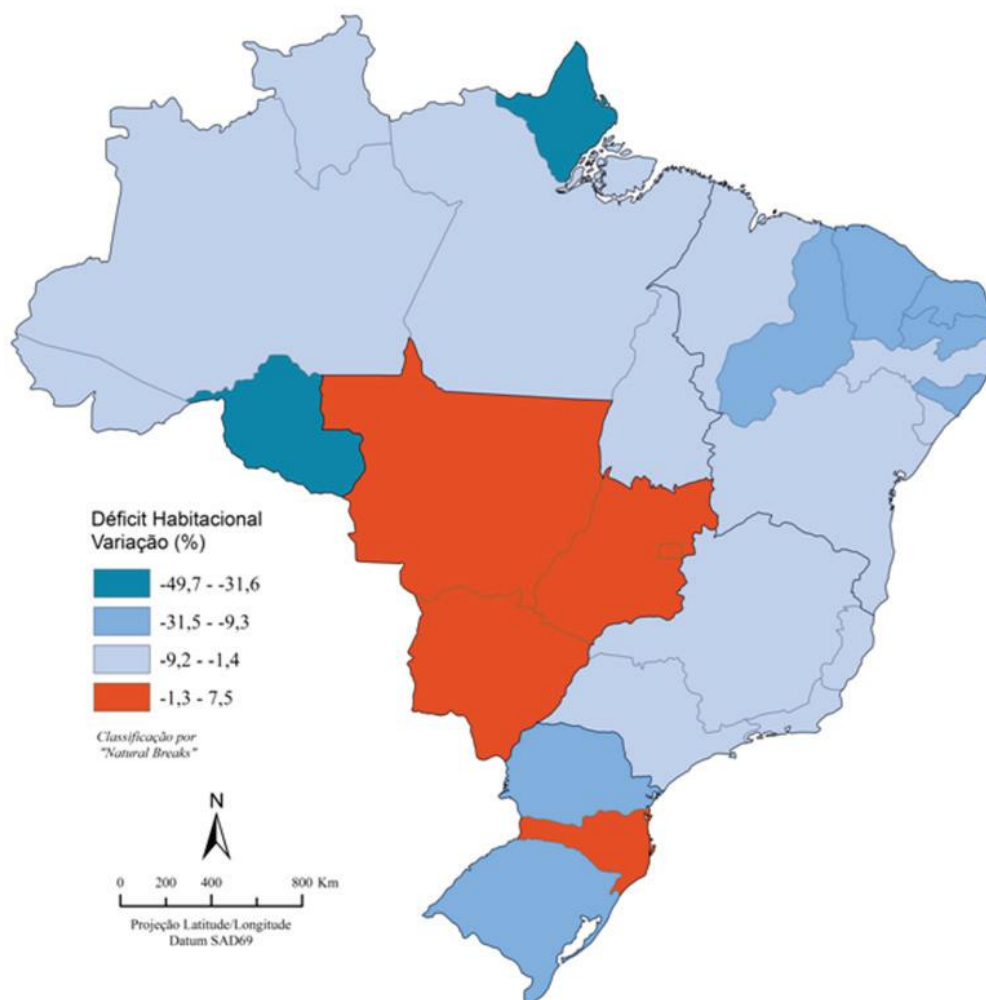


Figura 2.1 – Déficit habitacional no Brasil.
(Fonte: Fundação João Pinheiro, 2008).

2.2.2 Principais características do déficit

O componente coabitação familiar aparece com grande peso relativo no déficit habitacional, mesmo considerando parte dele somente as famílias conviventes que declararam intenção de constituir novo domicílio. Nas áreas rurais esse componente é relativamente menor e perde espaço para a habitação precária, que aparece em destaque. O ônus excessivo com aluguel segue como fator importante na definição das carências do setor principalmente nas regiões metropolitanas. No Brasil, a coabitação familiar representa 39,3% do total do déficit habitacional, o ônus excessivo com aluguel, 34,0%, as habitações precárias, 20,5% e o adensamento excessivo dos domicílios alugados, 6,1% (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

É confirmada a maior presença das habitações precárias na região Nordeste, grande parte delas localizadas nas áreas rurais. O ônus excessivo com aluguel continua o fator mais relevante na região Sudeste. O adensamento excessivo é pouco relevante qualquer que seja a região considerada. O padrão da distribuição desses componentes por situação de domicílio é condicionado pelas diferentes características socioeconômicas regionais (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

A coabitação familiar continua sendo o fator que mais contribui em números absolutos para o cálculo do déficit habitacional no país. Em 2008, são 2,182 milhões de ocorrências, 87% delas nas áreas urbanas. As regiões Nordeste e Sudeste apresentam os maiores montantes (776 mil e 747 mil ocorrências respectivamente), enquanto a região Norte apresenta o maior valor relativo (51,5% do déficit habitacional é resultado da coabitação familiar), (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

O ônus excessivo com aluguel, que atinge 1,888 milhão de famílias urbanas no país, está concentrado na região Sudeste, onde 991 mil famílias comprometem grande parcela da renda com tal despesa. Por ser um indicador que reflete a dificuldade do mercado imobiliário de se adequar ao perfil de demanda da população, espera-se que tenha maior peso nos grandes centros urbanos. Em termos relativos destacam-se também a região Centro-Oeste, principalmente o Distrito Federal, e a Sul. Na região Norte, o ônus é pouco expressivo (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

O adensamento excessivo dos domicílios alugados é o componente que menos contribui para o déficit habitacional e é um fenômeno quase exclusivo das áreas urbanas. São 337 mil domicílios afetados no país, dos quais 97% localizam-se nessas áreas. Na região Sudeste, 9,0% do déficit resultam do adensamento. São 193 mil domicílios, 128 mil somente em São Paulo. Nas demais regiões, a participação desse componente no déficit total é de 6,0% no máximo. Vale lembrar que esse componente foi desagregado a partir do estudo de 2007. Embora sua participação nos componentes não seja de destaque, isso pode ser decorrência do seguinte fato: se o domicílio tiver sido contabilizado em outro componente – por exemplo, ônus excessivo – ele não pode ser contado novamente. Isso é necessário para que não haja múltipla contagem e os componentes possam ser somados, de modo a gerar o número do déficit total (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

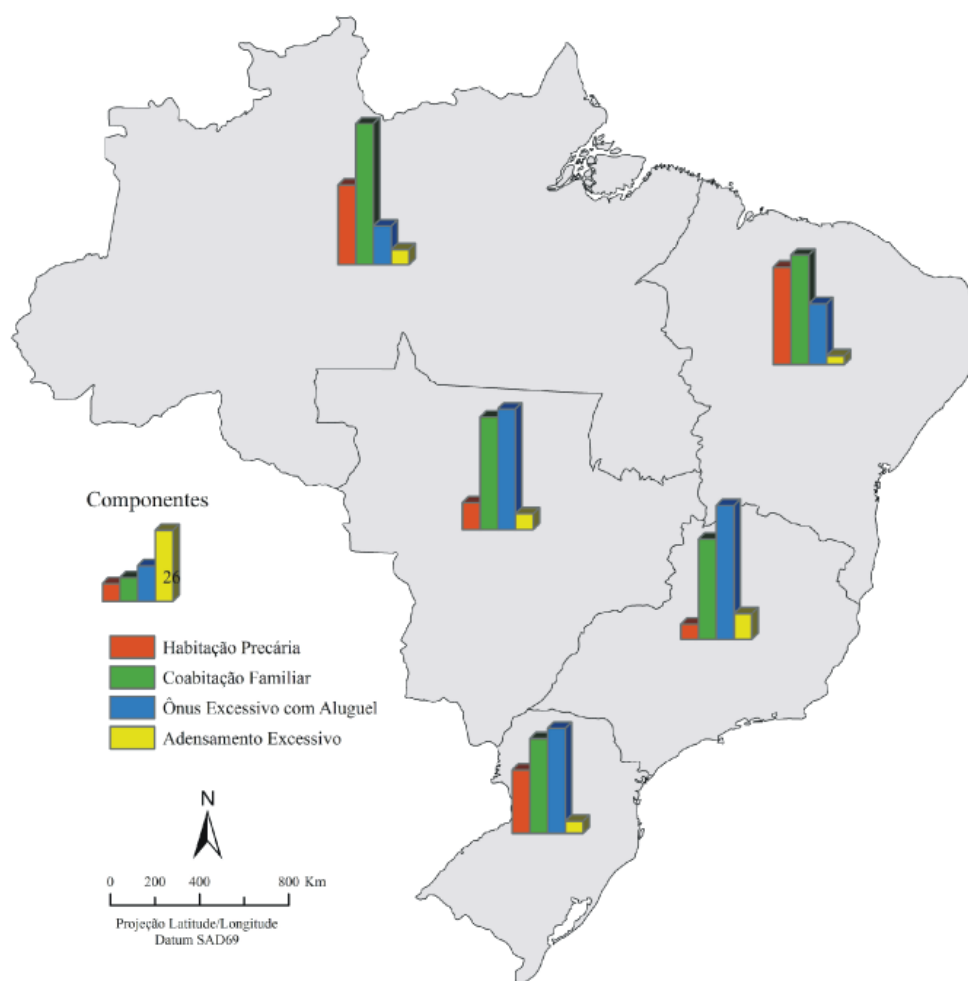


Figura 2.2 – Distribuição do déficit habitacional brasileiro por regiões.

(Fonte: Dados básicos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad), 2008. Elaboração: Centro de Estatística e Informações / Fundação João Pinheiro).

A evolução total e percentual do déficit habitacional por situação do domicílio desdobra esses totais em Unidades da Federação e regiões metropolitanas. Nota-se que, no cálculo por essa metodologia, deste estudo, primeiro há ascensão, de 2000 a 2005, quando o déficit no país passa de 7,222 milhões para 7,931 milhões. Garcia e Dias (2007) citam que a Fundação Getúlio Vargas (FGV) divulgou que o déficit habitacional em 2006 era de 7,96 milhões de moradias. A partir de então inicia-se um declínio contínuo que leva o total do déficit a 6,816 milhões em 2008. Entre 2000 e 2008 diminuem 406 mil domicílios, queda levemente maior do que a observada com a metodologia adotada. Em termos relativos à tendência foi de queda em todo o período, passando de 16,1% em 2000, para 11,8% em 2008 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2008).

Em virtude de diversas variáveis, deve-se considerar as necessidades habitacionais como um processo que se transforma ao longo do tempo, e como tal as políticas públicas precisam ser implementadas pelos três níveis de Governo. Neste contexto de escassez de recursos públicos e de recursos financeiros internacionais de custo reduzido, de crise energética, de problemas ambientais urbanos significativos, como por exemplo, a disposição final do lixo e reaproveitamento de produtos recicláveis, do encarecimento do custo da construção civil, em adquirir áreas urbanas para novos loteamentos, tornando cada vez mais onerosas as despesas relativas as obras de infra-estrutura (SOARES, 2006).

Na grande maioria das famílias afetadas, na questão das necessidades habitacionais, configura-se um quadro de pobreza quase que absoluta, pois esta população dispõe de uma renda familiar muito minguada, disponibilizando apenas de sua própria força de trabalho, que pode ser usada como forma de pagamento de benefícios obtidos, através de serviços comunitários prestados em regime de mutirão (ABIKO, 1996; BISILLIAT-GARDET, 1995; FELIPE, 1996; VALADARES, 1985).

A criatividade deve ser um instrumento permanente do planejador, para que o mesmo possa transpor os obstáculos dos entraves legais e burocráticos, viabilizando desta forma a redução dos custos das obras, principalmente as habitações de interesse social, através de inovações tecnológicas e de gestão viáveis (SAYEGH, 2002; SATLER, 2003; CÉSAR& OMAN, 2006; SOARES, 2006; SZÜCS, 2006; entre outros).

2.3 Edificação e meio ambiente

Uma edificação deve ser planejada considerando seu ciclo de vida, desde a pré-construção, a obra, e até a pós-construção, utilizando materiais e sistemas duráveis e de baixa manutenção, planejando de forma a minimizar o impacto da construção no ambiente. A possibilidade de classificação e reaproveitamento dos resíduos, com isso projetando “para o homem”, a partir da preservação das condições naturais, do planejamento e desenho urbano, e da busca pelo conforto térmico, visual, acústico e psicológico do morador, afirma Alvarenga (2002).

Para que um projeto seja ambientalmente adequado, é essencial que se considerem fatores convergentes em torno de seis vetores (ALVARENGA, 2002):

- 1 – Realidade
- 2 – Integração de Produção
- 3 – Qualidade Urbanística e Social
- 4 – Redução dos Custos
- 5 – Flexibilidade e Adequação das Soluções
- 6 – Regramento e Técnicas Claras e Adequadas.

2.3.1 Realidade

A escassez dos recursos financeiros e programas subsidiados a fundo perdido são alguns aspectos que dificultam a redução do déficit na área de habitação de interesse social.

Quando da existência de subsídios ou financiamentos devem ser direcionados para objetivos essenciais: obtenção da área, infra-estrutura, equipamentos urbanos e habitação mínima. Na construção da moradia deverá haver sempre a participação dos futuros moradores, seja em trabalho, seja em poupanças acumuladas, o que refletirá também em uma maior participação social nos empreendimentos.

Os promotores públicos e privados e as cooperativas devem introduzir na contabilidade dos empreendimentos os custos relativos a aquisição das áreas, mas sem as sobrecargas especulativas do mercado imobiliário, os encargos administrativos, taxas de serviço, das infra-estruturas próprias, o custo da construção da moradia, procurando que os empreendimentos, ou os programas, sejam solúveis, do ponto de vista financeiro, a prazo (ALVARENGA, 2002).

2.3.2 Integração urbanística e social

As Entidades afins deverão desenvolver e analisar, para que conduzam a definição correta para a escolha da tipologia habitacional mais adequada para atender tecnicamente às necessidades do público alvo. Contudo, a habitação escolhida deverá ser uma resultante do desenvolvimento e modernização do local onde será implantada, enquadrando-se nos planejamentos físico e econômico-social municipal, observando os seguintes fatores (ALVARENGA, 2002):

- Correta preservação e integração no meio ambiente;
- extensa articulação com a malha urbana existente;
- localização estratégica em face à existência de emprego;
- adequação aos meios de transporte e infra-estruturas;
- adequação às perspectivas de desenvolvimento local.

Dessa forma, os conjuntos habitacionais devem assegurar a continuidade da malha urbana, prevendo a implantação de outras atividades que irão se desenvolver economicamente e socialmente nas áreas da sua implantação, sem causar prejuízos de ordem ambiental e de segurança. A qualidade de vida dos cidadãos deverá ter um cuidado especial, no sentido de dar um tratamento especial aos respectivos espaços exteriores e equipamentos urbanos. As habitações deverão ter aspectos que satisfaçam níveis de qualidade e a presença de esquemas evolutivos e de autoconstrução assegurando a durabilidade às construções (ALVARENGA, 2002).

2.3.3 Redução dos custos de produção

Para poder assegurar resultados significativos em relação à redução dos custos de produção é necessário um estudo aprofundado com todas as variáveis que influenciam direta ou indiretamente no custo global do empreendimento.

A escolha da área a ser implantado o novo empreendimento deverá adequar-se a questões relativas à topografia, proximidade à malha urbana de forma a reduzir os custos de implantação da infra-estrutura básica, poupando, se possível a construção de novos equipamentos urbanos e serviços no caso dos municípios. Tal atitude aumenta a capacidade de gerir uma política de solos, nos apoios financeiros e legais que lhes forem dados, e posteriormente transmitir os terrenos, de forma fácil e barata às populações que estão envolvidas no processo habitacional (ALVARENGA, 2002).

Deve ser cada vez mais entendido que a redução dos custos de produção requer uma adequação dos recursos locais de equipamento, materiais e mão-de-obra, articulando-se a integração de trabalho dos próprios moradores, isolados ou em associação. Contribui também para a redução dos custos globais a produtividade obtida, através de:

- Redução de custos diretos;
- economia de tempo e maior rotação do capital;
- criação de uma indústria competitiva flexível visando o futuro;
- fabricando equipamentos componentes leves ou de pequena dimensão;
- formação de mão-de-obra;
- normatização de aspectos estratégicos;
- fácil relação entre investigação e indústria;
- boa articulação entre construção e infra-estrutura;
- redução da dimensão da construção.

2.3.4 Desempenho

A qualidade de uma habitação sem dúvida custa dinheiro, mas a falta de qualidade conduz, a prazo, a encargos ainda maiores e pode acarretar também outros prejuízos de ordem cultural, social, etc. Portanto, é necessário definir uma política de qualidade no domínio da habitação, visando impedir a rejeição das construções e a degradação acelerada das mesmas. Também é recomendável manter a qualidade, em determinados elementos fundamentais da construção, relacionados com a durabilidade de elementos de difícil ou onerosa conservação e com segurança.

Os projetos devem facilitar a integração arquitetônica dos diferentes prédios, assegurando a qualidade da mesma e do desenho urbano, adequando às necessidades locais dos moradores, deve-se procurar a realização de estratégias de compatibilização da maior qualidade com a maior economia, pelos técnicos melhor qualificados e mais experientes.

Apesar de existir uma crescente discussão referente às soluções para habitação de interesse social, a informação de caráter regulamentar e normativo ainda é muito insuficiente, pois são várias premissas e variáveis que precisam ser levadas em conta, devido à existência de um universo peculiar para se encontrar soluções otimizadas que despontam de novo ou mais recentes, no campo das habitações evolutivas e as autoconstruções (ALVARENGA, 2002).

Os aspectos relativos ao desempenho de um sistema construtivo são orientados pela norma NBR 15575, que diz:

A abordagem desta Norma explora conceitos que muitas vezes não são considerados em Normas prescritivas específicas como, por exemplo, a durabilidade dos sistemas, a manutenibilidade da edificação e o conforto tátil e antropodinâmico dos usuários. Objetivamente, esta parte da ABNT NBR 15575 visa alcançar tecnicamente a qualidade requerida e a oferta de moradias, ao estabelecer regras para avaliação do desempenho de imóveis habitacionais, auxiliando nas análises que definem o financiamento de imóveis e possibilitando adequações nos procedimentos de execução, uso e manutenção dos imóveis. Esta Parte da ABNT NBR 15575 trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas dos edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, que além da volumetria e da compartimentação dos espaços internos do imóvel, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho do edifício habitacional. As vedações verticais exercem ainda importantíssimas funções de estanqueidade à água, isolamento

térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas e compartimentação em casos de incêndio. (ABNT, 2008).

2.3.5 Flexibilidade e adequação das soluções

Os estudos que foram realizados durante anos sobre as necessidades das famílias de baixa renda eram essencialmente de famílias urbanas, em termos de habitação dita social, analisando os seus comportamentos perante as habitações que lhe eram cedidas com elevadas subvenções. Este quadro social mais amplo de habitação de interesse social mudou, e aponta-se para uma maior difusão do esforço financeiro do Estado e, conseqüentemente, para uma maior participação das famílias, nos quadros urbano e rural, na definição, na autoprodução e no autofinanciamento da moradia. Portanto, haverá sempre a necessidade de análises socioeconômicas e comportamentais diante de novas modalidades e metodologias que serão estudadas e praticadas.

Quando da realização de empreendimentos habitacionais, será necessário implementar soluções flexíveis à sua evolução e ao desenvolvimento no tempo, propiciando aos moradores condições reais de melhoria em seu habitat. Linhas de crédito devem ser condizentes com a capacidade de esforços das famílias tanto na aquisição dos lotes urbanizados como da moradia propriamente dita. Este processo terá que atender uma necessidade, crescente, de flexibilidade, também nas questões relativas às soluções de projeto, estas, que por sua vez, deverão ser projetos pilotos alternativos e evolutivos, tanto na área de habitações unifamiliares ou multifamiliares (ALVARENGA, 2002).

2.3.6 Regramento e técnicas claras e adequadas

A informação é primordial para um bom desenvolvimento em qualquer área de atuação. No campo da habitação de interesse social não foge à regra, pois é

conveniente se munir de inúmeros documentos de caráter regulamentar e normativo que estão em discussão na atualidade, além da pesquisa e estudos de outros fatores de ordem pragmática. Dever-se-á buscar clareza na qualidade não definida, estabelecer níveis de qualidade, definir critérios tanto quanto possível rigorosos para o controle da racionalidade das soluções, introduzir um tratamento recomendativo em matéria de solo edificável, forma de urbanização e seu uso. Definir quais os sistemas construtivos e tipologias mais indicadas para a população alvo (REZENDE, 2002).

A integração urbanística do núcleo habitacional deverá respeitar as normas do plano diretor, ou seja, os indicadores urbanísticos somados aos melhores indicadores técnico-econômicos, para a implantação do loteamento e as respectivas habitações no que tange o tratamento técnico dos aspectos particulares e característicos da tipologia construtiva.

Crítérios e metodologias são importantes para avaliação dos projetos, pois os mesmos trazem propostas fundamentais para o desenvolvimento do trabalho caracterizando as recomendações para a conservação e gestão dos prédios, conseqüentemente, normatizando os componentes estratégicos, definindo em termos de projeto parâmetros de referência para efeitos de avaliação, de estatísticas e de análise técnico-econômicas (ALVARENGA, 2002).

2.4 Propostas de projetos habitacionais no Brasil

2.4.1 Introdução

Segundo Cunha e Szücs (2003), atuar em pesquisa e desenvolvimento de soluções para o provimento habitacional voltado para as populações de menor poder aquisitivo é assumir um compromisso cidadão, é buscar o melhor em qualidade e em custo. É sobretudo buscar a fórmula da satisfação do próximo, de sua qualidade de vida familiar e de seu crescimento social.

Sabe-se que uma das necessidades básicas dos empreendedores e agentes promotores e financeiros da habitação, nos diferentes níveis de atuação (municipal, estadual e federal), sejam públicos ou privados, é a escolha da alternativa tecnológica (processo ou sistema construtivo) que atenda às suas demandas e necessidades (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1998).

2.4.2 Processo e sistema construtivo

a) Técnica construtiva

É um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção. Segundo Gama (1987) e Santos (2009), técnica é o conjunto de regras práticas para realizar determinadas atividades envolvendo a habilidade do executor.

b) Método construtivo

É um conjunto de técnicas construtivas independentes e adequadamente organizadas (noção de precedência e seqüência), empregadas na construção de uma parte (subsistemas ou elementos) de uma edificação (SABBATINI, 1989).

c) Processo construtivo

Um organizado e bem definido modo de se construir um edifício com um específico processo construtivo. Caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro), conforme Sabbatini (1989).

d) Sistema construtivo

Segundo Sabbatini (1989), sistema construtivo é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo. O sistema construtivo pode ser compreendido e utilizado como uma forma de macro identificar o tipo de estrutura. Assim, qualifica-se os sistemas construtivos em concreto armado, concreto protendido, metálico, madeira, alvenaria estrutural, etc.

A nomenclatura construtiva citada anteriormente obedece a uma hierarquia, de tal forma que o sistema construtivo depende dos processos empregados e cada

um destes depende dos métodos aplicados, sendo esses identificados pela técnica utilizada em cada atividade da construção.

2.4.3 Classificação dos processos e sistemas construtivos

Os processos e sistemas construtivos foram divididos em quatro categorias básicas: vernaculares (artesanais), tradicionais, racionalizadas e industrializadas (CONCILIO, 1998).

a) Processos e sistemas construtivos vernaculares

Os processos e sistemas construtivos vernaculares são os métodos construtivos utilizados empiricamente, com materiais locais e equipamentos de uso comum, onde o conhecimento é transferido de geração para geração. Em sua grande maioria são executados sem acompanhamento técnico específico. Como exemplos da utilização destes sistemas pode-se citar as construções rurais de taipa de pilão e as construções indígenas (CONCILIO, 1998).

b) Processos e sistemas construtivos tradicionais

São os que utilizam métodos e processos construtivos parcialmente normatizados e componentes padronizados como principal característica. Exemplo disso é alvenaria de tijolos maciços assentados com argamassa (CONCILIO, 1998). São aqueles processos que vêm se mantendo na prática, através de longos anos, estão incorporados culturalmente na história da construção de edificações, estão amplamente disseminados e arraigados na prática construtiva de pessoas, empresas e instituições em geral (MARTUCCI, 1990).

c) Processos e sistemas construtivos racionalizados

São aqueles que se apropriam dos princípios básicos da racionalização construtiva no seu desenvolvimento. A racionalização pode ser entendida como a otimização das atividades construtivas, eliminando desperdícios de mão-de-obra e de materiais, planejando a produção, aumentando a produtividade e melhorando a qualidade final (CARDOSO, 1993).

d) Processos e sistemas construtivos industrializados

São os que utilizam métodos e processos construtivos pré-fabricados e produzidos em série, utilizando equipamentos especiais, e que tem como objetivo a diminuição dos custos e tempo de produção e aumento da qualidade e a intercambialidade entre os diversos componentes do sistema construtivo (PICARELLI, 1986).

Os sistemas construtivos industrializados podem ser subdivididos em pré-moldados e pré-fabricados: No primeiro os componentes são moldados no próprio canteiro de obra onde será posteriormente montado. É o caso de peças de argamassa armada de pequeno peso como degraus de escada e soleiras. Os pré-fabricados são confeccionados em usinas especiais com o uso de equipamento e mão-de-obra específicos e posteriormente transportados e montados em seu local definitivo. São peças que necessitam de rigoroso controle de produção e montagem (CONCILIO, 1998).

2.4.4 Escolha do processo e sistema construtivo

A diversidade de processos e sistemas construtivos empregados na construção em geral, tem levantado questões importantes no meio acadêmico sobre a escolha correta dos mesmos.

A escolha pode ser encarada como uma opção tecnológica que abrange todo o processo produtivo da edificação, utilizando materiais, mão-de-obra e equipamentos durante as diversas fases da construção (CONCILIO, 1998).

Sobre a escolha correta de processo ou sistemas construtivos encontra-se a seguinte afirmação:

Não se pode deixar de considerar um fato que é relevante, não há processos construtivos universais, isto é, processos capazes de realizar qualquer tipo de obra. O que de fato ocorre é que cada processo construtivo corresponde uma faixa viável de atuação, e que esta limitação é estabelecida pela amplitude em que podem atuar cada um dos fatores (LEVISON, 1995).

a) Característica para seleção

São muitos fatores que deverão ser levados em conta para a escolha correta do sistema. Para Picarelli (1986), ao selecionar um processo ou sistema construtivo que corresponda da melhor maneira às necessidades de uma proposta de habitação deve-se ter todos os dados referentes a estes, assim como conhecer uma série de itens específicos sobre a edificação em questão como:

– Características físicas

Clima, temperatura, recursos naturais, índices pluviométricos, umidade relativa do ar, ventos, fenômenos ecológicos e naturais, disponibilidade de terra, estradas e acessos, tipo de solo, capacidade produtividade instalada, sistema construtivos e materiais de construção locais, mão-de-obra e equipamentos;

– Características sócio-culturais

População, faixa etária, faixa de renda, constituição da família, moradia, necessidades básicas, modos de vida, identidade cultural, processos históricos da região, tempo disponível, organização, tradição técnica;

– Características político-econômicas

Política de desenvolvimento, intervenção do poder público, infra-estrutura urbana, legislação, industrialização, mercado, tecnologia, distribuição e consumo de mercadorias;

– Características de projeto

Programa, recursos financeiros, padrões habitacionais da região, tempo disponível, financiamento, necessidade da população, produção, manutenção e ampliação, dimensionamento, segurança, higiene, transporte e armazenamento dos materiais.

b) Construtibilidade

O conceito de construtibilidade é baseado na simplificação técnica e no gerenciamento do processo produtivo de edificações em geral. Graffith (1986) destaca que a construtibilidade “é o campo de ações a partir do qual a concepção do edifício simplifica e facilita as atividades de execução”.

Princípios da construtibilidade enumerada por O’connor e Davies (1988):

a) Planejamento e programação orientados para a execução;

- b) simplificação dos projetos;
- c) padronização;
- d) modulação e pré-montagem;
- e) acessibilidade;
- f) projeto orientado a condições ambientais diversas;
- g) especificações.

2.4.5 Desenvolvimento de um processo e sistema construtivo

A pesquisa e desenvolvimento de processos e sistemas construtivos para a construção habitacional tem sido tema de muitos trabalhos técnicos. A partir da década de 70, com a crise financeira que atingiu o sistema financeiro da habitação e, a fim de baratear a produção de construções habitacionais, muitas construtoras empregaram processos e sistemas “inovadores”, ressalta Melhado (1994).

Entre as metodologias pesquisadas, a mais completa e importante de ser ressaltada é a proposta por Sabbatini (1989). Para este autor o desenvolvimento de um processo ou sistema construtivo deve englobar a “definição completa: dos materiais, componentes e elementos empregados, de suas inter-relações; de todas as operações construtivas a serem executadas (descrição do conjunto das técnicas construtivas) e do planejamento e controle das operações construtivas recomendados” para a sua correta utilização (CONCILIO, 1998).

2.4.6 Tipologias habitacionais aplicadas à habitação de interesse social

Em diferentes situações urbanas, a compatibilização do tipo do edifício com o tipo de implantação é questão estudada em relação ao tamanho do terreno, localização e porte da cidade que vão interferir na escolha da tipologia a ser dotada, afirma Peres (2003).

As diferentes tipologias e suas características específicas:

- Isolada;
- geminada;
- contínua;
- sobreposta;
- vertical.

a) Isolada

- Apresenta todas as suas faces livres (melhor posição do sol);
- liberdade maior na solução de planta (flexibilidade na ampliação);
- inexistência de áreas comuns e ônus condominiais;
- porção de terreno maior (pouco aproveitamento do solo, ou seja, maior custo);
- unidade vinculada ao lote, com acesso independente (Figura 2.3).

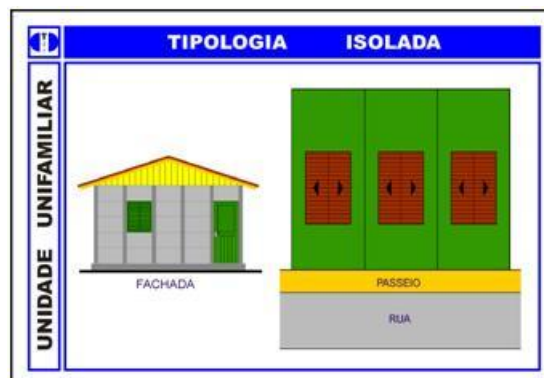


Figura 2.3 – Tipologia isolada.

b) Geminada

- Apresenta três faces livres;
- limitação na solução de planta;
- porção de terreno menor que a casa isolada, portanto representa maior economia;
- unidade vinculada ao lote, com acesso independente (Figura 2.4).



Figura 2.4 – Tipologia geminada.

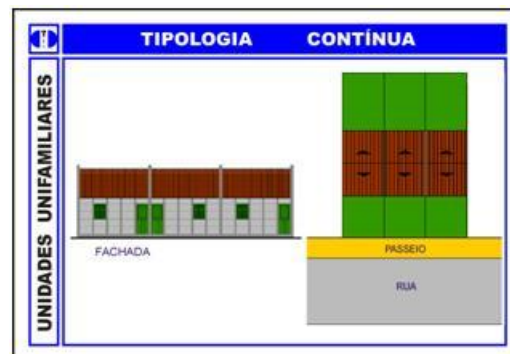


Figura 2.5 – Tipologia contínua.

c) Contínua ou fita

- Apresenta duas faces livres configuração uniforme e difícil variação na planta;
- tipo de habitação interessante do ponto de vista da densidade habitacional;
- se a habitação for de dois andares, a densidade aumenta e a ocupação com relação ao solo também diminui;
- unidade vinculada ao lote, com acesso independente (Figura 2.5).

d) Sobreposta

- Tipo de habitação interessante do ponto de vista da densidade habitacional, pela redução da fração do terreno;
- atinge as aspirações da casa jardim, e dependendo da solução arquitetônica, são possíveis que todas as unidades tenham uma porção relativa de solo urbano (jardim) e acesso independente;
- atende às necessidades de economia de solo urbano e de consumo da rede sanitária;
- apresenta variação visual da edificação e dos espaços urbanos;
- redução da testada, e conseqüentemente custo inferior de implantação de redes de água e esgoto (Figura 2.6).

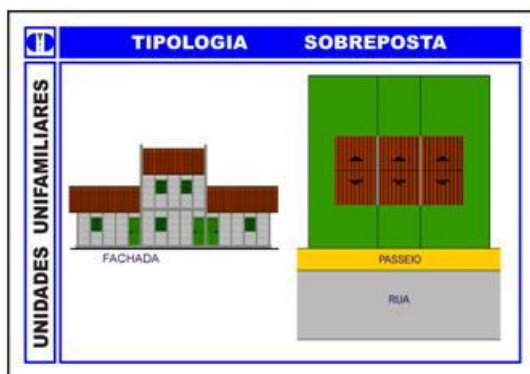


Figura 2.6 – Tipologia sobreposta.

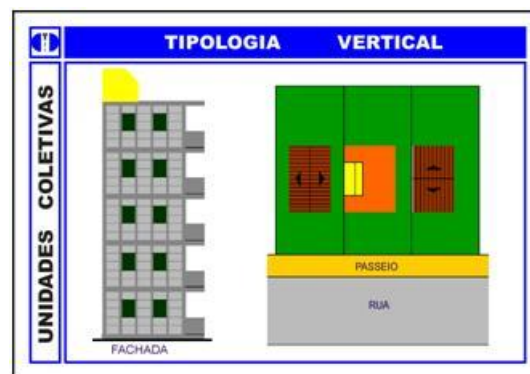


Figura 2.7 – Tipologia vertical.

e) Vertical

- Alta densidade, portanto, alta rentabilidade do solo urbano;
- economia nos custos de implantação de infra-estrutura urbana;
- acessos comuns, e áreas livres comuns (ônus condominial), (Figura 2.7).

2.4.7 Sistemas construtivos para habitações

A análise criteriosa dos sistemas construtivos destinados às habitações de interesse social também passa pelo conhecimento dos sistemas construtivos que estão sendo comercializados, pois o conhecimento destes sistemas permite detectar o grau de tecnologia a eles incorporado para poder ter uma visão mais completa. Construir rápido passou a ser o objetivo de muitas empresas e construtoras, ou seja, rapidez com baixo custo, principalmente no caso das construções populares, usando a mais variada gama de materiais como concreto celular, madeira, plástico, dry-wall, aço, solo-cimento, blocos cerâmicos, blocos e placas de concreto, argamassas, etc (MELLO, 2004).

O Programa “Minha Casa, Minha Vida” financia empreendimentos que oscilam entre 500 a 1000, ou mais, unidades habitacionais, através de concessão de crédito pelo cartão BNDES para a melhoria da qualidade da construção (com capacitação técnica de pessoal, implementação de sistemas de gestão de qualidade e melhoria da qualidade de processos e produtos), a fim de promover alternativas

construtivas de maior qualidade construtiva, menor custo, menor cronograma de execução e menor impacto ambiental (CAIXA, 2009).

a) Aço – Steel Framing

As casas da COSIPA foram desenvolvidas inicialmente para atender ao padrão CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo). São casas-padrão, com dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro e 36m² de área útil. A casa fica pronta entre seis e dez dias. A COSIPA fornece apenas o kit para a estrutura (Figura 2.8), composto por todas as peças do esqueleto, o que inclui a estrutura para o telhado, parafusos e chumbadores, além de um gabarito para locação dos chumbadores no radier com espessura de 10 cm. As paredes divisórias internas são executadas em alvenaria de vedação com blocos de concreto, mas também materiais alternativos são viáveis, como o Dry-Wall. As paredes externas são executadas com blocos de concreto (TÉCHNE 79/2003).

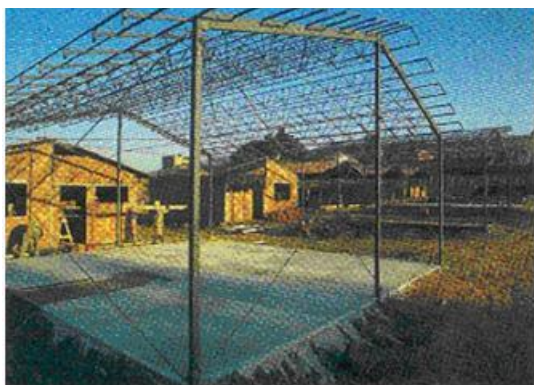


Figura 2.8 – Estrutura da casa de aço.
(Fonte: TÉCHNE, 79/2003).



Figura 2.9 – Vista frontal casa de aço.
(Fonte: TÉCHNE, 79/2003).

b) Blocos cerâmicos

A construção em alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, que dispensa o uso de formas para vigas e colunas, proporcionando velocidade de execução e redução de material e mão-de-obra. Modulada em dimensões-padrão, a alvenaria estrutural permite uma obra racionalizada, maior velocidade de execução e melhor rendimento dos revestimentos. O sistema utiliza peças especiais, como meio bloco,

canaleta, meia canaleta e canaleta jota, além de blocos compensadores para permitir o posicionamento das fiadas.

As etapas de construção são semelhantes às de uma construção convencional, excluindo as montagens de formas para vigas, vergas e pilares. Como se trata de uma construção racionalizada, a modulação dos panos de alvenaria sem corte de blocos permite uma produtividade média na execução de até 25 m²/dia por pedreiro (ABCI/PINI, 1993).

No sistema construtivo com blocos cerâmicos, observa-se uma menor diversidade de tipos especiais, e além destes serem utilizados em menor número em função de que suas dimensões são sub-módulos do bloco inteiro. Este fator contribui para a racionalização da construção e as dimensões do bloco, e sua leveza, contribuem para o aumento da produtividade no canteiro de obra (BARTH, 2003).

Segundo Soares (2001), alternativas tipológicas de habitação de caráter social com blocos cerâmicos, a partir de sistemas construtivos racionalizados, associando habitabilidade, rapidez de construção e baixos custos produtivos podem promover o acesso à moradia para as populações de baixa renda.

A busca de um projeto mais amplo e, de análises de características habitacionais de sete regiões do Rio Grande do Sul, permitiu a concepção e definição de padrões e estilos de construções com blocos cerâmicos (SANTOS, 1998).

A concretização desse projeto piloto aconteceu em 2003 na cidade de Santa Cruz do Sul-RS, onde foram construídas quatro tipologias com blocos cerâmicos, possuindo uma variação tanto na forma como nas áreas das casas: 45,11 m² (2 dormitórios), 46,50 m² (2 dormitórios), 46,57 m² (2 dormitórios), 66,75 m² (4 dormitórios), Figura 2.10 a 2.14 (SOARES, 2004).



Figura 2.10 – Casa de 45,11 m² (2 dormitórios)



Figura 2.11 – Casa de 46,50 m² (2 dormitórios)



Figura 2.12 – Casa de 46,57 m² (2 dormitórios)



Figura 2.13 – Casa de 66,75 m² (4 dormitórios)



Figura 2.14 – Habitação de bloco cerâmico

c) Blocos de concreto

A alvenaria estrutural em bloco de concreto necessita de uma grande quantidade de diferentes blocos especiais, devido à perda da coordenação modular em suas dimensões. Como consequência, os benefícios que poderiam ser obtidos através de um projeto racionalizado não são alcançados no projeto com blocos de concreto devido à quantidade de blocos especiais utilizados, que superou as repetições do bloco inteiro. Estes blocos especiais exigem maior detalhamento de cuidados especiais para comprar, arma: 2003).

O Sistema Construtivo Trava-Bloco da empresa PORTOFINO Engenharia e Empreendimentos Ltda., de Curitiba-PR, é um sistema em alvenaria intertravada de blocos de concreto vazados (tipologia dos blocos: normais, de canto, de encontro, de oitões e canaletas) sem argamassa de assentamento, sendo o travamento através de peça rígida de concreto, de forma tronco-cônica (TARUGO, IPT/1998).



Figura 2.15 – Casa com bloco de concreto.

(Fonte: BARTH, 2003).



Figura 2.16 – Técnica com bloco de concreto.

(Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1998).

d) Concreto celular

O concreto celular foi desenvolvido no final do século XIX, e é um composto formado por agregados inertes, cimento, água, fibras de polipropileno e micro células de ar dispersas na massa. No Brasil, desde a década de 1980, têm sido usados para a construção de casas populares. Alguns sistemas utilizam paredes monolíticas de 10 cm de espessura armadas com tela eletrossoldada, moldadas “in loco” por meio de um conjunto de formas modulares. Um exemplo é o projeto desenvolvido pela GETHAL, em que uma residência de 40 m² pode ser construída entre dez e doze dias.

Em prédios de dois pavimentos, adota-se vigas de baldrame de concreto convencional com blocos e brocas ou sapatas corridas. As paredes são apoiadas sobre o radier no qual as mesmas podem ser engastadas, sendo que para executar as paredes usam-se formas de madeira compensada plastificada de 12 mm de espessura; parafusadas a um quadro metálico. Antes da concretagem, as instalações elétricas e hidráulicas são posicionadas nas formas, para que fiquem embutidas nas paredes. A desforma é feita após 12 horas do lançamento do concreto (TÉCHNE 79/2003).

Através de um convênio com a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo - CDHU, a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP desenvolveu um sistema construtivo de concreto celular para a execução de casas populares. O método emprega formas moduladas, preenchidas com concreto e espuma especial que produz bolhas de ar no concreto (Figuras 2.17 e 2.18).

O projeto piloto conta com 21 casas de 45 m² cada, todas construídas em cunha (SP) por mutirão assistido (TÉCHNE 89/2004).



Figura 2.17 – Forma casa monolítica
(Fonte: ABCP, 2004).



Figura 2.18 – Casa concreto celular
(Fonte: TÉCHNE, 89/2004).

e) Madeira – Wood Framing

Historicamente, a abundância de madeira, a facilidade de manipulação e o relativo baixo preço de comercialização fizeram com que a casa de madeira fosse sinônimo de sub-habitação, com poucos recursos e escasso conforto (SZÜCS, 2003).

A madeira de reflorestamento pode e deve ser associada à imagem de um produto arquitetônico sustentável e ecologicamente correto.

As inovações tecnológicas, o tratamento, a imunização e as melhoras compositivas impressas nos elementos construtivos da casa de madeira contribuem para estabelecer a competitividade da mesma no mercado da construção civil, fazendo com que a madeira se coloque como material de boa qualidade, estética e boa durabilidade (BARTH, 2003).

No caso de espécie Pinus, a madeira é tratada com aplicação do CCA (Cobre – Cromo – Arsênio) através do processo feito em autoclave por vácuo-pressão, que penetra e fixa-se profundamente na madeira, tornando-a resistente a lixiviação, insolúvel na água e deixando a madeira imune à ação de fungos e de insetos xilófagos, como cupins.

O Sistema Construtivo STELLA (Figuras 2.19 e 2.20) tem a produção de casas de madeira, espécie Pinus, direcionadas no sentido de buscar o aumento da durabilidade e reduzir os gastos com sua manutenção, de forma a garantir as

qualidades inerentes à madeira: resistência, isolamento térmico e acústico, facilitando a construção e reduzindo o gasto de energia no processamento (SZÜCS, 2003).

Outro sistema é da construtora “ITA” que fabrica e monta, desde 1980, estruturas industrializadas de madeira. Em 2003, eles apostaram em um novo sistema, que integra, além da estrutura de madeira, lajes, fechamentos e coberturas leves, com tempo aproximado de montagem de 100 m²/mês (TÉCHNE 79/2003).



Figura 2.19 – Desenho eletrônico.
(Fonte Projeto Casa Stella – UFSC)



Figura 2.20 - Casa pronta.
(Fonte: Projeto Casa Stella - UFSC)

f) Placas de concreto

O Sistema Construtivo ITAKITS é uma forma de construção utilizando-se componentes pré-fabricados de concreto armado (placas e colunas), de encaixe e superposição. As fundações são executadas através de sapata isolada sob cada coluna de concreto e viga de travamento de concreto, moldada “in loco”, para todas as colunas.

As paredes são constituídas pela superposição de placas de concreto armado nas dimensões de 0,90 m x 0,52 m x 0,032 m, encaixadas em colunas de concreto armado com 0,09 m x 0,09 m x 3,20 m dotado de ranhuras longitudinais. Sarrafos de travamento nos topos das colunas e placas de concreto, fixados por meio de parafusos e porcas, como cinta de amarração (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1998).



Figura 2.21 – Detalhe das placas de concreto
(Fonte: IPT, 1998).



Figura 2.22 – Casa com placas de concreto
(Fonte: TÉCHNE, 79/2003).

g) Plástico

A MVC componentes plásticos investiu no projeto da casa prática (Figura 2.24). O sistema começou em 2002 e promete uma casa completa de 36 m² em quatro dias. Os painéis de fechamento são de plástico, tecnologia chamada WALL SYSTEM, que é composta por um sanduíche de lâminas de plástico reforçadas com fibra de vidro e com núcleo especial. As casas padrão podem ser construídas com 36, 42 ou 63 m², mas há possibilidades de projetos e dimensões especiais.

A fundação é composta por um radier de concreto, a estrutura metálica é fixada no radier por meio de chumbadores, mas também poderá ser utilizado outro sistema de fundação, dependendo as características dos solos. As paredes divisórias internas, são constituídas por um sanduíche de duas placas de plástico reforçado com fibras de vidro estruturadas. O recheio é um núcleo estrutural composto por materiais especiais, que proporciona resistência mecânica, acústica, térmica e ao fogo. Todos esses componentes são unidos por um adesivo estrutural, com fechamento a vácuo e prensamento (TÉCHNE 79/2003).

O sistema da MEDABIL é feito com paredes portantes compostas, formadas por perfis de PVC preenchidos com concreto. Uma casa de 70 m², com acabamento, é construída em 20 dias. Todas as peças são cortadas, etiquetadas e embaladas conforme projeto específico de montagem (Figura 2.23).

A “CASAFORTE” (Figura 2.23) é executada com uma fundação de radier de concreto, sendo que as paredes portantes compostas são formadas por perfis de PVC preenchidos de concreto leve e de baixa densidade (1 mil kg/m³). O concreto

possui um slump bastante elevado (entre 20 e 28 cm), é auto adensável, o que facilita o preenchimento das paredes e dispensa o uso de vibradores para homogeneizar a massa.



Figura 2.23 - Casa de PVC da MEDABIL
(Fonte: TÉCHNE, 79/2003).



Figura 2.24 - Casa de plástico MVC
(Fonte: TÉCHNE, 79/2003).

h) Solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é constituído de solo pré-selecionado, peneirado, cimento (5 a 10%) e água. É considerado ecológico por não consumir energia em seu processo de fabricação, uma vez que as peças são prensadas a frio. Podem ser reciclados e diminuem o custo da construção de uma casa em até 50% (SOARES, 2002).

O engenheiro e professor da POLI-USP Alex Abiko, que durante 13 anos foi pesquisador da tecnologia no IPT, acredita que a durabilidade dos sistemas construtivos com solo-cimento depende de rigorosas análises de laboratório que avaliem a retração do composto e a expansibilidade do solo usadas na mistura.

Em princípio, o solo de qualquer jazida pode ser utilizado para a confecção de paredes monolíticas, blocos e tijolos de solo-cimento. Os mais indicados, no entanto, são aqueles que possuem de 50% a 70% de teor de areia no composto. “O solo com a granulometria ideal para a mistura deve ser predominantemente arenoso, com argila em menor percentagem para que haja coesão entre os grãos”, diz Aurinilce Nascimento, da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (TÉCHNE 85/2004).

Criado pelo engenheiro João de Assis, professor da PUC-MG, e desenvolvido pelo engenheiro Francisco Chagas, o “tijolito” é o principal componente do sistema Andrade Gutierrez de construção industrializada. O projeto consiste em uma casa de

28 m², com sala, cozinha e banheiro. É importante ressaltar que o projeto permite ampliações, podendo chegar a 70 m² com até quatro quartos, sem que haja necessidades da demolição das partes já construídas.



Figura 2.25 – Montagem da casa de solo-cimento
(Fonte: TÉCHNE, 85/2004).



Figura 2.26 – Detalhe tijolo de solo-cimento
(Fonte: TÉCHNE, 85/2004).

2.5 Pneus

2.5.1 Breve histórico

O pneu tem um papel fundamental e insubstituível para a humanidade, pois no transporte de passageiros, a borracha além de ser mais resistente e durável, absorve melhor o impacto, tornando o deslocamento mais confortável e funcional. O crescimento industrial automobilístico no século XX propiciou um consumo significativo de pneus, tornando-se primordial e insubstituível na nossa vida cotidiana, tanto no transporte de pessoas quanto no de cargas (PETROFLEX, 2001).

2.5.2 Componentes dos pneus

O pneu é formado por diversos materiais como: estrutura de aço, náilon, fibra de aramid, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster; borracha natural e sintética,

incorporando aí centenas de tipos diferentes de polímeros; reforçadores químicos como carbono preto, sílica e resinas; antidegradantes (ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio); promotores de adesão (sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas); agentes da cura (aceleradores de cura, ativadores, enxofre) e produtos auxiliares, no processamento dos pneus, como óleos (PIRELLI BRAZIL, 2000).

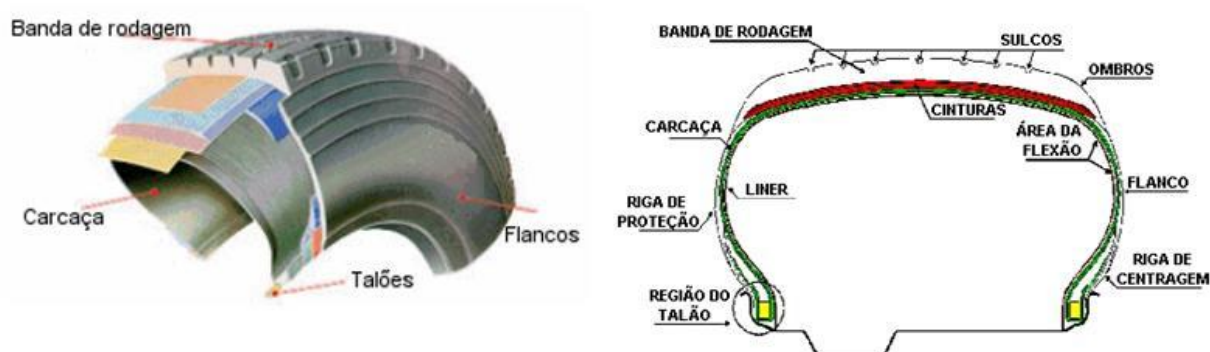


Figura 2.27 – Estrutura do pneu de automóvel.
(Fonte: KAMIMURA, 2002).

A borracha de pneu, em sua totalidade, representa aproximadamente 85% do peso do pneu, uma vez que os produtos químicos (entre eles o enxofre), o negro de fumo e o óleo (extenderoil) são incorporados à borracha durante seu processamento (ALBUQUERQUE, 2009; RUTH et al., 1997).

Segundo Souza (2000), os pneus tipo passeio e tipo transporte pesam, respectivamente, 8 Kg e 60 Kg, aproximadamente. O rendimento de que está vinculado no tamanho das partículas. De que podem ser de 5% para pneus cortados em pedaços de 50 mm a 300 mm, de 30% para a redução em partículas de 7 mm a 12 mm, e de até 60% para grânulos menores que 1 mm (LA SAPIENZA, 2007).

Segundo Kamimura (2002), os compostos de borracha possuem vários aditivos adicionados durante a detenção e o processamento do material. O negro de fumo é incorporado à borracha para aumentar a resistência mecânica dos pneus. Segundo Firestone, cerca de 25% do peso total de um pneu, é negro de fumo, e é

responsável pelos maiores problemas ambientais enfrentados pela indústria de pneumáticos, pois dificulta a reciclagem dos pneus usados (BNDES, 1998).

A Tabela 2.1 apresenta os componentes que constituem percentualmente os pneus de automóveis como de caminhões.

Tabela 2.1 – Composição de pneus de automóveis e caminhões.

Componentes	Automóvel (%)	Caminhão (%)
Borracha	48	45
Negro de fumo	22	22
Aço	15	25
Material têxtil	5	-
Óxido de Zinco	1,2	2 - 2,2
Enxofre	1	1
Outros produtos	8	6

(Fonte: BRESSI, 1993).

2.5.3 Resíduos de pneus inservíveis

Segundo Albuquerque (2009), a degradação ambiental e as conseqüências danosas à saúde pública são derivados da disposição inadequada de pneus inservíveis. Acarretando uma série de problemas devido a sua lenta degradação, constituindo um dos grandes problemas ambientais da atualidade (AQUINO, 2011).

Com a baixa dos preços do petróleo na década de 70, e por conseqüência, dos preços da borracha sintética (produto oriundo do petróleo), quase a totalidade dos pneus eram jogados fora, no final de seu uso, sendo que apenas 15% eram recauchutados (GOBBI, 2002).

Em 2007, foi criada a Reciclanip, uma iniciativa dos fabricantes de pneus novos Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli, que atua exclusivamente para coletar e destinar os pneus inservíveis. No Programa já foram investidos mais de US\$ 175 milhões (até maio de 2012) pelos fabricantes de pneus novos, e conta com 740 pontos de coleta no país (RECICLANIP, 2012).

2.5.4 Descarte de pneus inservíveis

O pneu se torna inservível, devido o rompimento da lona, tornando-se fisicamente inaproveitável, também não podendo ser recauchutado (NOVICK e MARTIGNONI, 2000).

O acúmulo de pneus inservíveis causa apreensão à sociedade. Desse modo, devido à grande proporção alcançada por essa problemática se faz imperativo o desenvolvimento de técnicas que visem contribuir, das mais variadas formas, com a diminuição do acúmulo de pneus descartados (MARTINS, 2005).

Em 1999, foi aprovada a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 258/99 que institui a responsabilidade do fabricante e do importador, sendo a mesma revogada em 2009 para resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009.

Contudo, calcula-se que são descartados mais de 35 milhões de pneus por ano, sendo estimado que cerca de 100 milhões de pneus já se encontram abandonados no meio ambiente (ARAÚJO NETO et. Al., 2006).

Estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT para a ANIP revela que, 22 milhões de pneus trocados anualmente no Brasil, 53,2% são inservíveis e 46,8% podem ser reformados mediante avaliação (GARCIA E FURTADO, 2008).

Segundo Galvão (2010), o aumento da produção de pneus, assim como dos resíduos provenientes dos pneus fora de uso tem causado preocupações quanto à sua disposição final. Reforça-se que a quantidade de pneus produzidos tem aumentado a cada ano. De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP a indústria brasileira de pneus produziu, em 2009, o total de 61,3 milhões de unidades, avaliadas em R\$ 9 bilhões (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS, 2010).

O CONAMA considera que os pneus usados devem ser preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação final adequada. Os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública (BRASIL, 2009).

A cada ano são descartadas no Brasil, 330 mil toneladas de pneus. Somente no município de São Paulo, todo dia são recolhidos das ruas 300 pneus velhos, que somam cerca de 1,5 toneladas (SILVA, 2008). Até maio de 2012, mais de dois milhões de toneladas de pneus inservíveis já foram coletados e destinados adequadamente, equivalente a 400 milhões de pneus de automóveis (RECICLANIP, 2012).

O Brasil ocupa o 2º lugar no ranking mundial de recauchutagem de pneus. Este processo também é gerador de resíduos, pois a banda de rodagem é raspada para a retirada da borracha velha e preparação para o recebimento de nova camada de borracha (GALVÃO, 2010).

2.5.5 Possíveis destinações ambientalmente adequadas para os pneumáticos inservíveis

A borracha provinda de pneu inservível tem sido objeto de estudo de inúmeras pesquisas, dentro das mais diferentes áreas de interesse, onde cada setor visa aproveitar parte desse enorme potencial em inúmeras aplicações.

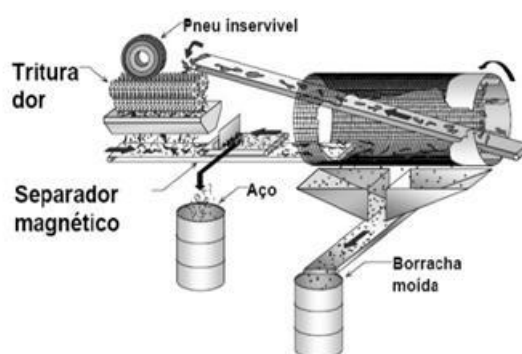


Figura 2.28 – Processo de trituração.
(Fonte: SIX, 2011).

De maneira geral, a seguir apresenta-se um resumo das principais alternativas de utilização dos pneus inservíveis encontradas na bibliografia e/ou já

aplicadas na prática (KAMIMURA, 2002; CIMINO, 2004; NENDI e KHAN, 2004; SPECHT, 2004; SANTOS, 2005; SILVA, 2005; TORTUM et al., 2005; ALBUQUERQUE NETO et al., 2006; ALBUQUERQUE et al., 2007; LA SAPIENZA, 2007; SOARES, 2007; ALBUQUERQUE, 2009; KÖEHLER, 2010; AQUINO, 2011):

- a) Pavimentos para estradas;
- b) drenagem e contenção de erosão do solo;
- c) combustível para produção de cimento, cal, papel e celulose;
- d) processamento de xisto;
- e) regeneração;
- f) equipamentos para playground;
- g) esportes;
- h) sinalização rodoviária e pára-choques de carros;
- i) compostagem;
- j) reprodução de animais marinhos;
- k) construção civil.

2.5.6 Aplicações na construção civil

Na Engenharia Civil diversos pesquisadores, nos últimos anos, vêm estudando uma nova alternativa de aproveitamento deste material, incluir alguns (ELDIN e SENOUCI, 1992; TOPÇU, 1995; LIMA et al., 2000; AKAZAKI et al., 2001; ALBUQUERQUE et al., 2002; SOUZA et al., 2004; MACEDO, 2005; SANTOS, 2005; SOARES, 2009). Exemplos:

- Pavimentos de concreto;
- utilização como paredes e coberturas, telhas de concreto, blocos de alvenaria e painéis para fins de isolamento térmico e acústico;
- emprego no envelopamento de dutos ou valas, confecção de passeio público, rodovias, pisos, revestimentos e concretos de baixa exigência estrutural;
- concreto para utilização em estacas de fundação tipo broca;

- locais onde são exigidas maior resistência ao impacto e alta absorção de energia, como barreiras de proteção, quebra mar, recifes, postes, elementos de sinalização de trânsito e outras aplicações;
- aplicação em concretos de paredes de eclusas, visando maior absorção de impacto;
- artefatos de concreto, como fossas sépticas, filtros anaeróbios, canos para esgoto pluvial, bloquetes, meio-fio, tabelas para lajes pré-moldadas.

As inúmeras aplicações citadas na construção civil proporcionam as seguintes vantagens:

- a) Economia do consumo das fontes finitas dos recursos naturais;
- b) prolongando a vida útil dos aterros sanitários;
- c) redução de emissão de poluentes na atmosfera;
- d) redução dos vetores de doença;
- e) redução de sobrecarga em edificações;
- f) preservação do meio ambiente;
- g) economia no transporte e otimização na produção.

2.5.6.1 Características dos compósitos de matriz cimentícia com borracha de pneu

Muito se deve avançar nesta área, principalmente, nas determinações quanto à durabilidade do concreto e argamassa com adição de borracha de pneu, considerando que os teores de sulfatos são elevados devido ao processo de vulcanização da borracha (GALVÃO, 2010).

Segundo Rocha e John (2003), todos os bens que nos cercam um dia serão resíduos, devendo ser somado a isso todos os resíduos produzidos durante os processos de extração das matérias-primas e produção desses bens.

O emprego de Concreto com Adição de Borracha (CAB) é um caso típico de compósito com desempenho melhorado em algumas das propriedades originais, como no aumento da capacidade de deformação sem o aparecimento de fissuras (FREITAS et al., 2009).

As misturas de concreto com adição de pneu apresentaram menor resistência à compressão e à tração se comparados com o concreto de Portland sem adição (ELDIN E SENOUCI, 1993).

2.6 Ensaios complementares do Sistema Construtivo BOM-PLAC

Este trabalho de pesquisa está concomitantemente fundamentado no projeto intitulado “Aprimoramento Tecnológico de Habitações Populares Construídas com Materiais Alternativos” com o desenvolvimento e as participações da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, com o suporte financeiro da Financiadora de Estudos e Pesquisas – FINEP e Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul - RS. No contexto deste projeto estão inseridos também os estudos de Poll (2009) e Köhler (2010).

2.6.1 Ensaios de Impacto

Uma bateria de ensaios foi realizada em laboratório, o qual reproduziu as reais condições da parede, cinco placas empilhadas entre dois pilares com perfil transversal em “T” formando um painel de parede. As placas foram fixadas nos pilares de 265 cm de altura com uma peça de madeira que recobre a face interna do pilar e fixadas com parafusos sextavados. A outra seqüência de ensaios foi realizada no protótipo construído no Loteamento Vale do Nazaré, bairro Faxinal, em Santa Cruz do Sul-RS. (KÖHLER, 2010).

2.6.1.1 Ensaio de impacto de corpo mole

Ensaio realizado para verificação de ações de impactos de corpo mole, no conforme a norma MB 3256 da ABNT. Os impactos são aplicados por meio de um saco cilíndrico de couro preenchido com areia seca com massa total de 40 kg, conforme Figura 2.29. O impacto deve ser aplicado no centro geométrico da placa

em queda livre, de acordo com o procedimento da norma a partir das seguintes alturas (Tabela 2,2).

Tabela 2.2 – Energias e altura de queda.

Energia de Impacto (J)	60	120	180	240	360	480	720
Altura da queda (cm)	15	30	45	60	90	120	180

(Fonte: Köhler, 2010)



Figura 2.29 – Saco cilíndrico de couro preenchido com areia, 40 kg.

(Fonte: Köhler, 2010)

No ensaio de impacto de corpo mole, para a placa de dimensões 53 (altura) x 90 (largura) x 3 (espessura) cm, obteve-se resultado satisfatório até altura de queda de 120 cm, já com a altura de 180 cm, percebeu-se que a madeira do montante de (pinus) a qual foi fixada a placa, não resistiu a carga e rompeu. Foi substituído o montante por outro tipo de madeira, cedrinho, de melhor qualidade, e foi dado um melhor aprimoramento a fixação das placas nos montantes, através de arruelas que evitavam a concentração de tensões na região do furo/parafuso.

A Tabela 2.3 mostra resultados de ensaios de impacto do corpo mole para placas de 5 cm de espessura.

Tabela 2.3 – Impacto de corpo mole.

IMPACTO CORPO MOLE								DATA: 30/11/2006
DESCRIÇÃO: Placa de 5 cm								
CIMENTO: CPV					TRAÇO:			
ALTURA cm	DESLOCAMENTO Máx. cm			RESIDUAL	*LF GUIA 15.6	*CT GUIA 16.2	*LD GUIA 16.4	CONSIDERAÇÕES
15	0,3	0,6	0,8	0,2	15,7	16,2	16,4	
30	0,8	0,9	0,9	0,1	15,6	16,3	16,3	
45	0,9	0,9	1,0	0	15,7	16,2	16,3	
60	1,0	4,0	1,0	0	15,7	16,2	16,3	sem fissura
90	1,3	1,5	1,8	0	15,7	16,2	16,3	deformou a arruela no 3º impacto
120	1,6	2,5	2,9	0	15,7	16,1	16,4	deformou o montante no 2º impacto e aparecimento de fissura no mesmo
180								

*LE = Lado esquerdo - *CT = Centro - *LD = Lado direito

(Fonte: Köhler, 2010)

2.6.1.2 Ensaio de impacto de corpo duro

Ensaio de impacto de corpo duro foram realizados conforme recomendações da norma MB-3256, da ABNT. Os impactos são aplicados por meio de esfera maciça de aço abandonada em movimento pendular, aplicando-se 10 impactos de cada modalidade (utilização ou segurança) regularmente distribuídos pela superfície do corpo-de-prova, conforme Figuras 2.30 e 2.31. Os impactos devem ser aplicados de acordo com as indicações da Tabela 2.4.

CrITÉRIOS de avaliação sob ação de impactos de corpo duro, elementos e componentes da edificação não devem:

- a) sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano sob ação dos impactos de utilização indicados na tabela abaixo:

Tabela 2.4 – Indicações de impacto.

Energia de impacto (J)	1	2,5	3,75	5	10	20	25
Massa da esfera (g)	50		500			1000	
Altura de queda (cm)	200	50	75	100	100	200	250

(Fonte: Köhler, 2010)



Figura 2.30 – Esfera maciça de aço utilizada no ensaio.



Figura 2.31 – Impacto de corpo duro.
(Fonte: Köhler, 2010)

Os resultados de ensaios de corpo duro são apresentados na Tabela 2.5. Verifica-se nessa tabela que as placas não sofreram fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano sob ação dos impactos de utilização e de segurança.

Tabela 2.5 – Impacto de corpo duro.

IMPACTO DE CORPO DURO		DATA: 30/11/2006
DESCRIÇÃO: Placa de 5 cm		
CIMENTO: CPV		TRAÇO: 1:2:2:0,5
ALTURA cm	CONSIDERAÇÕES	
75	Marcas superficiais quase imperceptíveis	
500	0,1 de deformidade na placa	

(Fonte: Köhler, 2010)

2.6.2 Ensaio Acústicos

Para determinação das propriedades acústicas da construção foram realizados 10 ensaios de isolamento acústica em paredes constituídas de placas de 3 e

5 cm de espessura, observando-se todas as recomendações da ISO-140, sendo os ensaios executados no Laboratório de Termo-Acústica da UFSM (POLL, 2009).

Foram realizados dez ensaios sequenciais, cinco painéis constituídos com placas de 30mm e cinco painéis de 50mm.

2.6.2.1 Ensaios E1 a E5 com placas de 30 mm

Os resultados dos ensaios demonstraram claramente a deficiência da isolamento sonora do sistema construtivo com relação a estanqueidade ao ar, uma vez que a simples vedação das juntas dos painéis com fita crepe, proporcionou um ganho de 6,0 dB, conforme demonstrado no comparativo entre os Ensaios 1 e 2.

O aumento do isolamento torna-se mais significativo a partir da completa vedação e estanqueidade do conjunto pela utilização de argamassa de assentamento e rejunte dos painéis, conforme verificado no Ensaio 3. Observa-se que houve um ganho na isolamento de 15 dB, em relação a situação original testada no Ensaio 1.

A adoção do revestimento interno com lambris de pinus melhorou ainda mais o isolamento, adicionando uma melhoria de 4 dB com relação ao Ensaio 3, porém, a simples colocação de uma janela, comprometeu novamente o isolamento do conjunto, confirmando que a falta de estanqueidade constitui-se no principal fator de influência negativa para obtenção de níveis aceitáveis de isolamento sonoro.

2.6.2.2 Ensaios E6 a E10 com placas de 50 mm

Da mesma forma que os ensaios realizados com painéis de 30mm, os resultados dos ensaios com painéis de 50mm de espessura, apresentaram similaridade entre as situações, também demonstrando a deficiência da isolamento sonora devido a falta de estanqueidade ao ar.

No gráfico da Figura 2.32, é apresentado um comparativo entre os cinco ensaios onde ficam bem definidos os níveis de isolamento sonoro nas diversas situações amostradas.

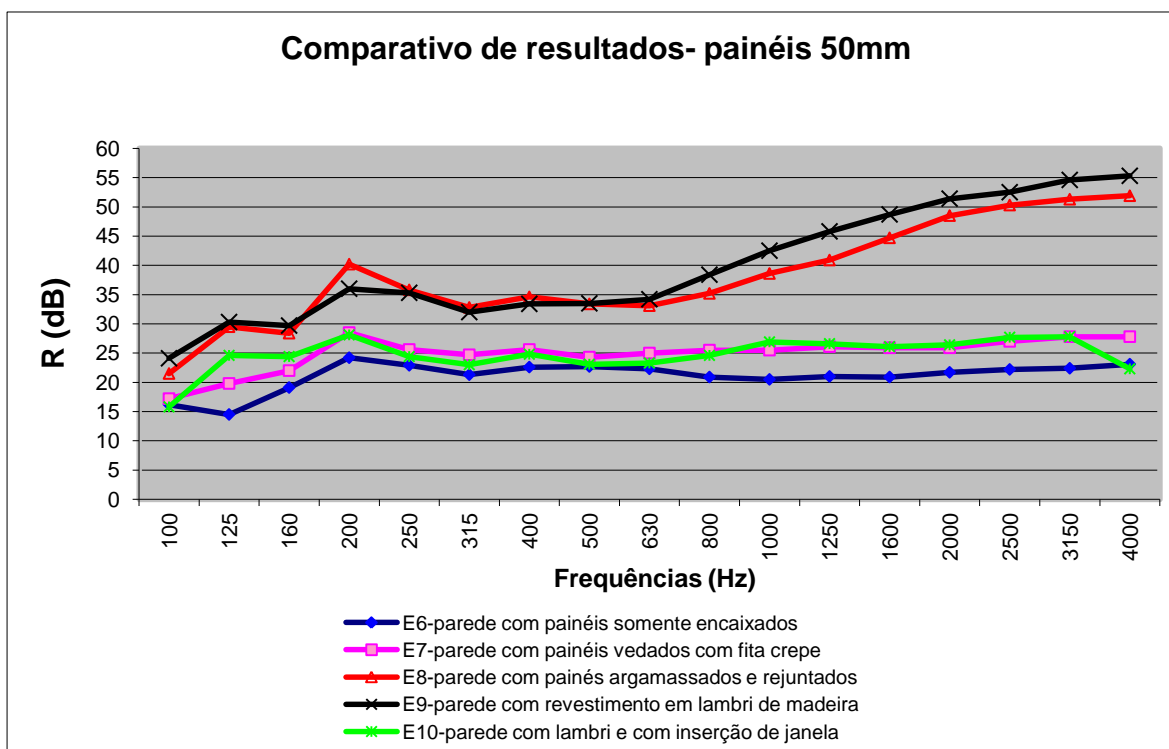


Figura 2.32 – Gráfico comparativo entre os ensaios E6 a E10.
(Fonte: Poll, 2009)

2.6.3 Ensaio de Resistência ao Fogo

A avaliação da exposição de painéis a altas temperaturas visa analisar o comportamento frente a fortes fluxos de calor provenientes de incêndios em edificações. A capacidade dos elementos construtivos resistirem à ação de altas temperaturas é denominada de resistência ao fogo (KÖHLER, 2010).

Os testes foram realizados submetendo-se as placas à aplicação de calor através de forno elétrico com controle automático de temperatura em que a placa é colocada fazendo o fechamento da abertura do forno. A medição das temperaturas nas faces interna e externa da placa e do centro da placa foi feita através de termopares acoplados a um sistema de aquisição de dados, com duas medidas para cada ponto.

Para a realização dos ensaios utilizou-se a metodologia segundo a norma NBR – 5628 (pré-moldados), tendo em vista que a ABNT NBR 15575-4 define a NBR 15575 - 1 como referencial para a “segurança de incêndio”.

Nas repetições dos testes com placas de 3 cm e 5 cm, deixou-se o forno ligado, mesmo atingindo valores superiores ao solicitado pela ABNT, para verificar a ocorrência de fissuras e deformações nas placas em temperaturas até 800 °C conforme programa do forno.

Tabela 2.6 – Valores máximos dos ensaios de resistência ao fogo das placas de 5 cm

Placa de 5 cm	Temp. Máxima (°C)	Tempo (min.)	Temp. Máxima (°C)	Tempo (mín.)
Face Interna 1	421,0	165	647,9	185
Face Interna 2	423,5	155	626,4	195
Metade 1	309,0	175	435,3	205
Metade 2	293,1	175	450,7	205
Face Externa 1	192,0	185	230,0	200
Face Externa 2	178,0	185	22,0	200
Interno termopar	682,3	160	740,8	195
Interno Forno*	729,0	155	800,0	185

*Termostato do Forno

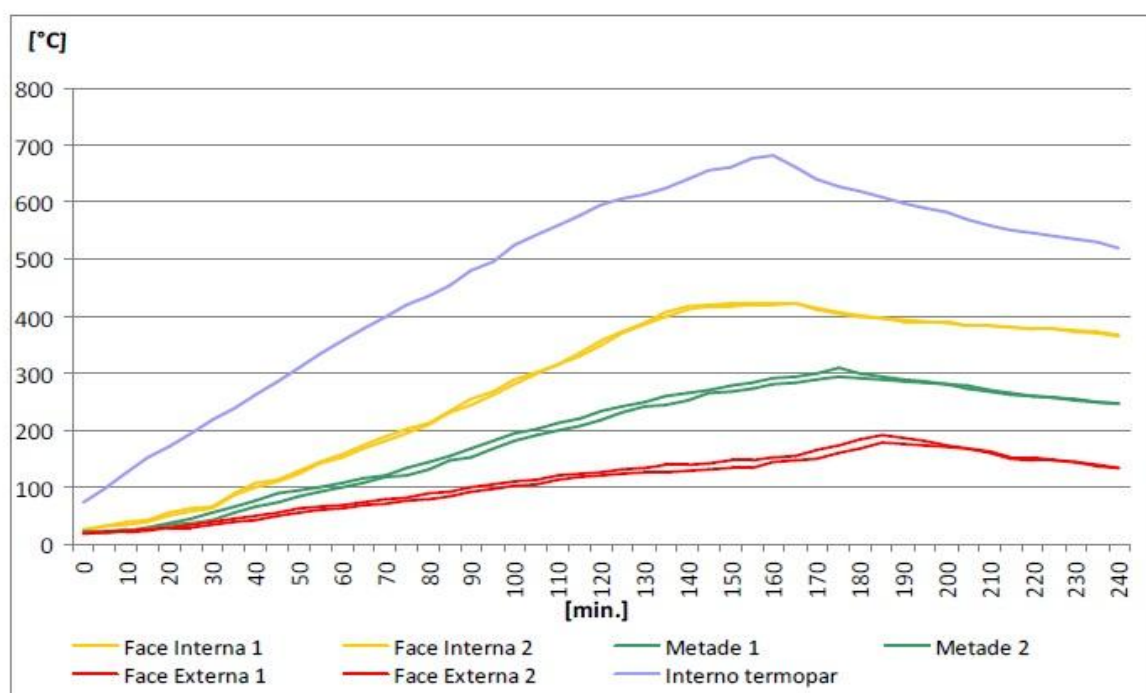


Figura 2.33 – Testes de transmissão de calor com placa de 5 cm.
(Fonte: Köhler, 2010).

As peças estruturais pré-moldadas foram consideradas “satisfatórias como isolantes térmicos se não sofreram um aumento de temperatura, na face não exposta, acima da temperatura inicial, superior em média a 140 °C, e em qualquer ponto superior a 180 °C.

No teste do “chumaço de algodão”, durante os ensaios de fogo, para a avaliação da estanqueidade, segundo a NBR- 5628. Observou-se que em nenhum momento houve a formação de fumaça ou fogo junto do chumaço de algodão, exposta a 3 cm distante da superfície externa da placa, sendo que a temperatura chegou perto de 200 °C, ocorrendo uma leve mudança na coloração do algodão, mas não mostrando vestígios de uma carbonização.

2.6.4 Medição das Temperaturas Interna e Externa

Foram ainda feitos testes para conferir o desempenho térmico da habitação. Esse teste foi feito com ajuda de sensores para aquisição e registro de temperatura “Dataloggers” e contaram com medições internas e externas tanto no protótipo com placas de 5 cm quanto nas moradias já existentes com a mesma tecnologia construtiva, mas 3 cm de espessura. (KÖHLER, 2010).

Foi notável a melhora no conforto térmico da moradia, sobretudo em períodos de temperaturas mais elevadas, onde a placa de 5 cm teve melhor desempenho do que as placas de 3 cm de anteriormente.

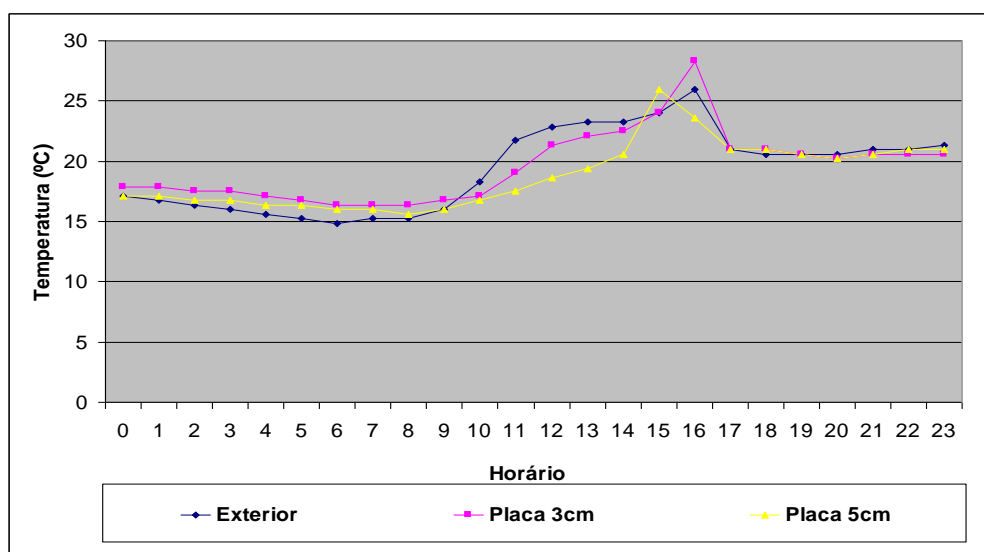


Figura 2.35 – Gráfico de temperaturas – 06 de dezembro de 2007.
(Fonte: Köhler, 2010)

3 SISTEMA CONSTRUTIVO BOM-PLAC

3.1 Introdução

A denominação “BOM-PLAC” é a aglutinação, ou seja, a soma de algumas letras de palavras de materiais que integram o sistema construtivo – BOrracha, Madeira, PLÁstico e Cimento.

O Sistema Construtivo BOM-PLAC é um sistema pré-moldado criado pelo autor na década de 90, que é de fácil concepção e apresenta na execução das placas semelhanças com o concreto celular e com a argamassa armada, em relação às características físicas. As demais propriedades são pertinentes ao produto, caracterizando-se peculiaridades próprias do mesmo.

A diferença básica em relação aos outros sistemas construtivos é a utilização dos resíduos de borracha de pneus inservíveis, na confecção das placas que compõem o sistema. Nesse sistema, os resíduos (raspas) originários de recauchutagem de pneus são incorporados à produção da argamassa de cimento, areia e água, ou no concreto onde soma-se a brita nº 1.

Essa argamassa era usada para confeccionar placas de 53 (altura) x 90 (largura) x 3 (espessura) cm e pilares com 2,85 m de comprimento. Nas placas utiliza-se uma malha de aço CA-60 no diâmetro igual ou superior \varnothing 4.2 mm; podendo a espessura da placa variar conforme a necessidade ou as exigências técnicas da ABNT. Usam-se formas metálicas especialmente produzidas para esse fim, que são utilizadas para moldar tais peças, que serão destinadas para a montagem das paredes externas e internas das edificações. Cinco placas empilhadas entre dois pilares com o perfil transversal em forma de “T” integram um painel padrão de parede. As placas são fixadas entre os pilares com uma peça de madeira que recobre a face interna do pilar.

Pilar “modelo 1” possui seção transversal em forma de “T” (12 x 7,8 cm) sem encaixe. Os pilares tem 2,85 m de comprimento e são confeccionados em quatro modelos diferentes com concreto de fck superior a 15 MPa e armadura longitudinal de aço CA-50 com diâmetro igual ou superior a \varnothing 6.0 mm.

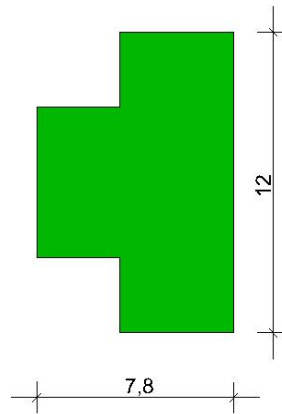


Figura 3.1 – Pilar “modelo 1”.

Pilar “modelo 2” possui seção transversal em forma de “T” (12 x 7,8 cm) com encaixe (3,4 cm).

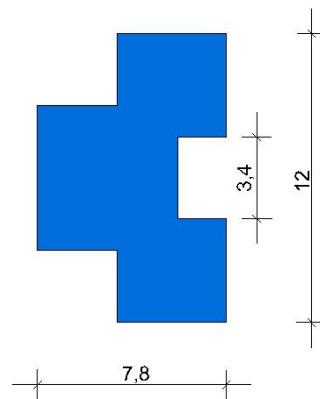


Figura 3.2 – Pilar “modelo 2”.

Pilar “modelo 3” possui seção transversal em forma de “cantoneira” (13 x 13 cm).

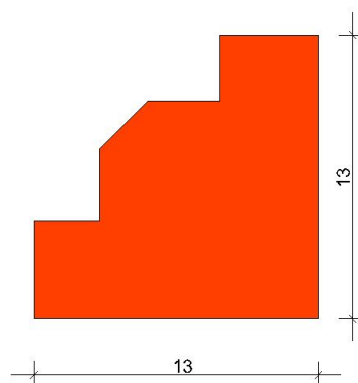


Figura 3.3 – Pilar “modelo 3”.

Pilar “modelo 4” possui seção transversal em forma de “cantoneira” (13 x 13 cm) com encaixe (3,4 cm).

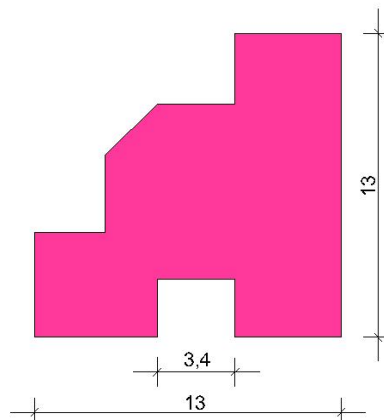


Figura 3.4 – Pilar “modelo 4”.

3.2 Fundações

A fundação do sistema é dimensionada de acordo com o tipo de solo do local da instalação da edificação. Conforme as características do solo, adota-se fundação rasa, do tipo sapata corrida ou isolada em solos firmes e, em não resistentes, adota-se fundações profundas do tipo estaca.

No caso da fundação ser direta, executa-se os seguintes procedimentos:

Após a limpeza do terreno, faz-se a marcação e a execução do quadro de locação da edificação, conforme indicação do projeto arquitetônico.

Escavação das valas conforme quadro de locação, com profundidade de 60 cm e largura aproximada de 40 cm. Nesta vala, deve-se colocar uma camada de areia grossa com uma espessura de 4 cm.

Acima da camada de areia, executa-se a fundação constituída de pedras de arenito (grês), basalto, granito ou outro tipo de rocha resistente compatível com a carga da edificação. As pedras apresentam dimensões 15 cm x 30 cm x 50 cm, deixando-se a última camada de pedra perfeitamente nivelada.

Sobre a última camada de pedra é executada uma viga de concreto armado com reentrâncias para receberem os pilares pré-moldados.

3.3 Estrutura portante

Conforme resistência característica a tipologia construtiva executa-se a colocação dos pilares em locais específicos nas reentrâncias da viga de concreto. O local indicado de cada tipo de pilar é definido no projeto arquitetônico. O Sistema Construtivo BOM-PLAC é um sistema modular que permite a construção de qualquer tamanho e forma para a edificação de prédios residenciais ou comerciais. A fixação dos pilares é realizada através de cunhas de madeira no espaço (folga) entre o pilar e a face da reentrância na viga. Após a perfeita colocação de todos os pilares no “prumo”, coloca-se argamassa fluida de cimento e areia no traço 1:3, no vazio existente entre os pilares e a viga de fundação para ocorrer a ancoragem dos mesmos.

Na seqüência, os pilares estando perfeitamente fixos, executa-se a colocação de uma guia (2,5 x 15 cm) de madeira do tipo cedrinho na face superior (topo) dos pilares, na qual a mesma é fixada através de arruelas e porcas nos parafusos ancorados nos próprios pilares.

3.4 Cobertura

Após o contraventamento horizontal concluído na parte superior dos pilares, executa-se a colocação das tesouras de madeira do tipo cedrinho com guias 2,5 x 15 cm, utilizando-se duas linhas no banzo inferior e uma linha no banzo superior, sendo que os montantes verticais ficam eqüidistantes no máximo 1,0 m um dos outros. As diagonais são executadas com as mesmas características.

A estrutura do telhado se dará por tesouras dispostas paralelamente aos oitões da edificação. Imediatamente após o oitão, não se colocará uma tesoura na linha dos pilares, ou seja, coloca-se uma linha, outra não, sucessivamente até chegar no outro oitão do prédio. As tesouras serão fixadas naquele contraventamento horizontal de madeira.

3.5 Paredes

A cobertura concluída, passa-se para a etapa da execução do fechamento das paredes com a colocação das placas pré-moldadas entre os pilares, e também as aberturas padronizadas nos tamanhos pré-dimensionados.

Para a colocação das placas, deve-se seguir os seguintes passos:

A argamassa para a fixação entre as placas e pilares, é executada no traço de cimento-cola e areia na proporção 1:3, e relação água/cimento = 0,48.

As janelas possuem as mesmas medidas de distância entre os pilares. Após a colocação de duas placas, insere-se a janela, concluindo-se o painel adicionado uma placa acima da janela, pois a altura da janela é 106 cm, a mesma medida da altura de duas placas. Enquanto nas portas executa-se uma placa na parte superior da mesma, com 53 cm de altura para o fechamento do módulo da parede.

Esse sistema de fixação foi desenvolvido a partir dos resultados dos testes de impacto (corpo mole e corpo duro) realizados em julho de 1999, janeiro de 2000 e maio de 2000, pela Fundação da Ciência e Tecnologia – CIENTEC, na cidade de Porto Alegre – RS.

3.6 Instalações elétricas

As instalações elétricas são aparentes nas paredes e são fixadas nas guias de madeiras que estão justapostas e fixadas aos pilares. Os eletrodutos poderão ser embutidos nos pilares de concreto armado que é parte integrante da estrutura da casa. Os interruptores e tomadas elétricas estão parafusadas nestas madeiras, bem como também poderão ser parafusadas nas caixas embutidas nos pilares de concreto. No caso de instalação elétrica aparente, as mesmas serão interligadas através de condutores elétricos do tipo plastichumbo isolados duplamente, interligados a rede elétrica executada acima do forro.

3.7 Instalações hidrossanitárias

Todas as instalações hidráulicas são aparentes, para reduzir o custo e conseqüentemente uma maior rapidez na execução e para facilitar uma posterior manutenção, sem afetar o sistema estrutural da mesma. A tubulação é em PVC e do tipo soldável para água nos diâmetros Ø 25 mm e Ø 32 mm. As instalações sanitárias são de PVC em algumas partes são aparentes, em outras, principalmente no solo, são enterradas (diâmetros de Ø 40 mm, Ø 50 mm e Ø 100 mm). Este último diâmetro irá conduzir o esgoto cloacal até a fossa séptica e após ao filtro anaeróbio e sumidouro, conforme normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

3.8 Pisos

O piso interno da edificação será executado, após realizar um aterro com material adequado e compatível, com uma compactação em camadas sucessivas não mais do que 20 cm de altura. O contrapiso será executado em concreto magro com fck 11 MPa, desempenado antes que ocorra a conclusão da pega do mesmo. Junto à água de amassamento, deve ser adicionado um impermeabilizante, conforme orientação do fabricante, cita-se Sika1 como exemplo que poderá ser adotado. O concreto para a execução do piso da edificação poderá ser composto no seu traço com borracha de pneu inservível.

3.9 Acabamento

Os painéis na face externa, após a correção de alguma imperfeição que possa ocorrer, durante a execução poderão receber uma pintura com selador acrílico e após receber duas demãos de tinta a base acrílica, não necessitando de reboco.

Na parte interna, poderá ser revestida com lambri de pinus ou outra espécie de madeira do tipo macho-fêmea, como compensado, chapas de MDF, Eucatex, lambri de PVC, etc., como também poderá ser rebocada, ou simplesmente pintada com tinta do tipo PVA exceto nas áreas molhadas (cozinha e banheiro), onde poderá ser usada uma textura com cobertura de tinta acrílica.

3.10 Seqüência de construção de uma casa BOM-PLAC

A seguir é apresentada, de forma didática, a seqüência de construção de uma casa BOM-PLAC.

1. Limpa-se o terreno, locando, nivelando e esquadrejando a casa (Figuras 3.5 e 3.6);

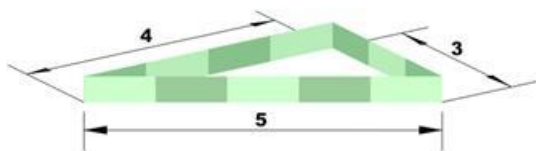


Figura 3.5 – Detalhe do esquadro.

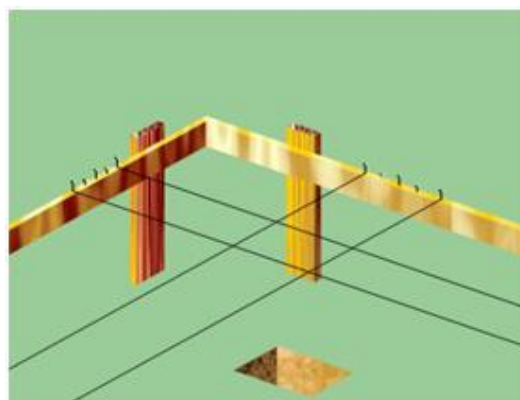


Figura 3.6 – Gabarito e marcação no terreno.

2. O tipo de fundação é condicionado às características geológicas do perfil dos solos, podendo ser fundações rasas ou profundas. No caso de fundação superficial executa-se uma base de pedra para as paredes externas, definindo o perímetro da casa. A altura dessa base varia entre 40 e 60 cm, dependendo da declividade do terreno (Figuras 3.7 a 3.9);

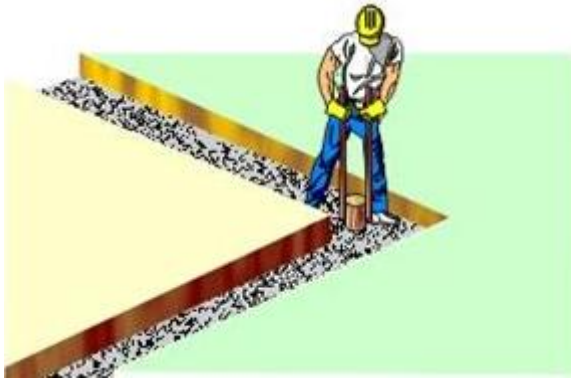


Figura 3.7 – Execução da vala de fundação

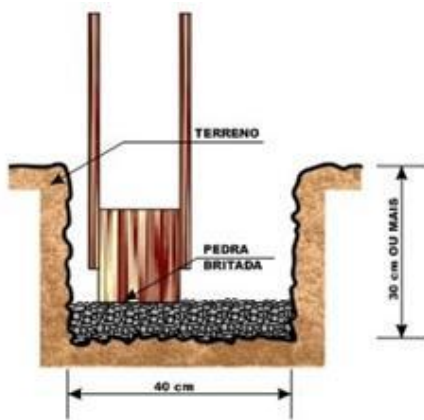


Figura 3.8 – Corte transversal da vala.

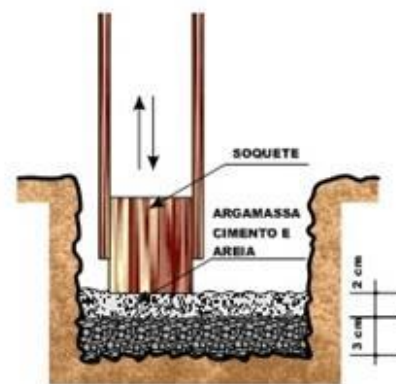


Figura 3.9 – Orientação das camadas na vala.

- Molda-se uma viga de baldrame sobre essa base de pedra, usando formas metálicas do sistema construtivo. Nessa viga encontram-se os encaixes para a fixação dos pilares pré-moldados, espaçados em 90 cm (Figuras 3.10 e 3.11);

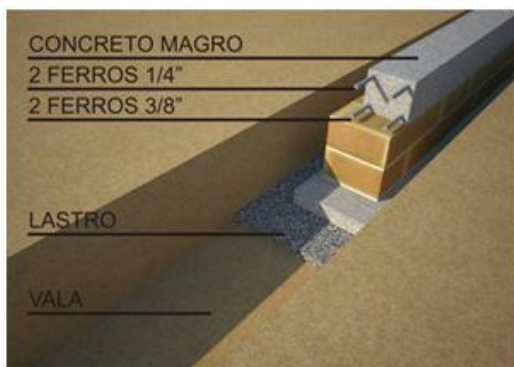


Figura 3.10 – Detalhamento da fundação.

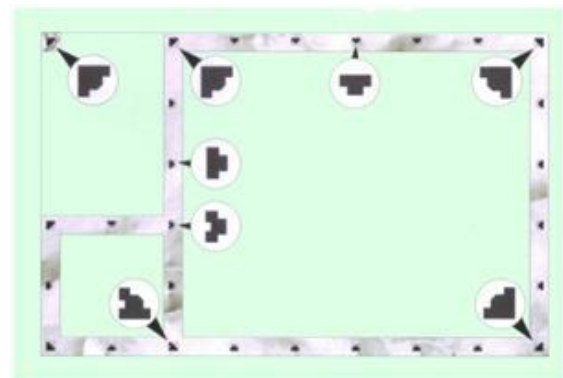


Figura 3.11 – Locação e tipologia dos pilares.

4. Aterra-se em camadas sucessivas e adensadas a área interna da habitação até altura máxima que fique faltando 6 cm para atingir a face superior da viga de baldrame, compactado bem o solo, executa-se o contrapiso em concreto desempenado (Figura 3.12).

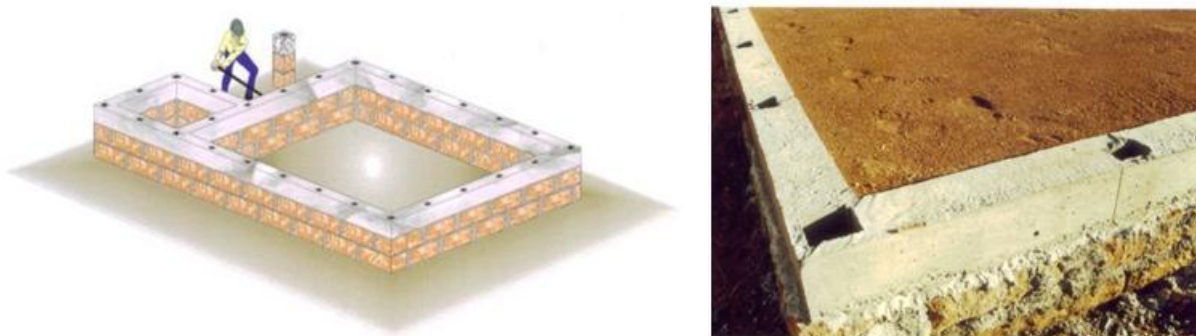


Figura 3.12 – Espaço interno a ser aterrado.

5. Executa-se o contrapiso com uma espessura média de 6 cm em concreto desempenado (Figura 3.13);



Figura 3.13 – Vista superior do contrapiso executado.

6. Fixam-se os pilares pré-fabricados na viga baldrame a cada 90 cm (Figura 3.14);

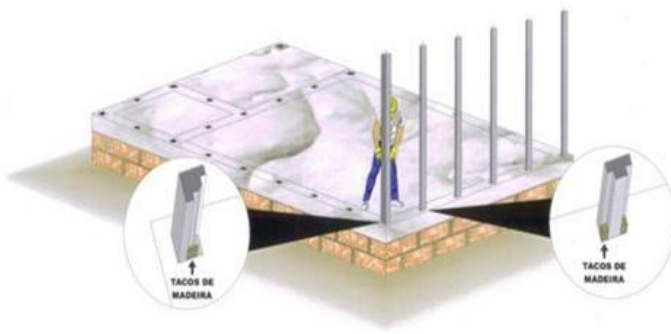


Figura 3.14 – Ancoragem detalhada dos pilares.

7. Executa-se o oitão de madeira (Figura 3.15);



Figura 3.15 – Fechamento do oitão.

8. Fixa-se uma cinta de madeira (inicialmente era metálica) no topo das paredes externas, para apoiar a estrutura do telhado (Figura 3.16);

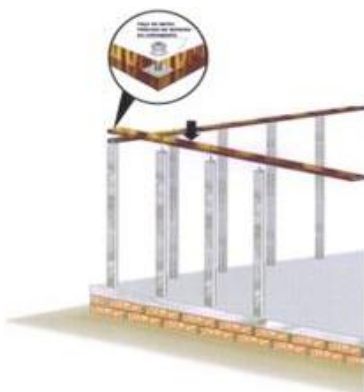


Figura 3.16 – Cintamento no topo dos pilares.

9. Fixam-se as placas pré-moldadas entre os pilares, parafusando as peças de madeira na face interna dos pilares (Figura 3.17).

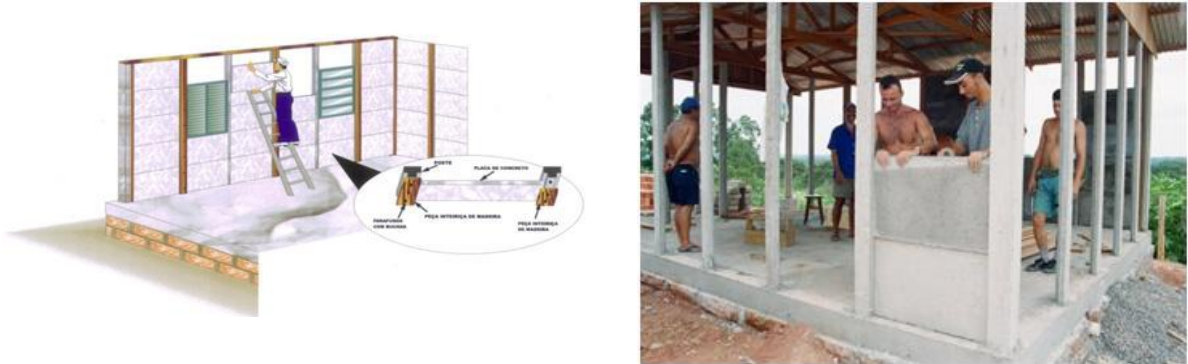


Figura 3.17 – Colocação esquemática das placas.

10. Executa-se a estrutura do telhado com tesouras de madeira do tipo cedrinho (Figura 3.18);



Figura 3.18 – Corte transversal do telhado.

11. Cobre-se a casa com telhas onduladas de zinco, de fibrocimento ou de material reciclado, dispostas em duas águas (Figura 3.19);

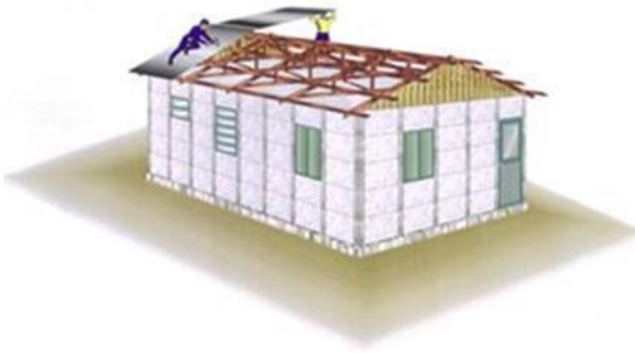


Figura 3.19 – Colocação das telhas.

12. Coloca-se o forro de isopor, de madeira ou de PVC, na estrutura de madeira do telhado (Figura 3.20);

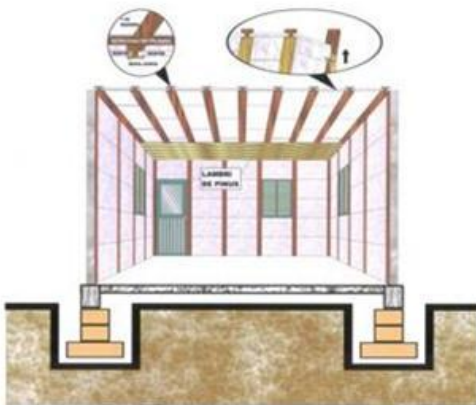


Figura 3.20 – Detalhamento da execução do forro.

13. Executam-se as instalações elétricas, que ficam aparentes (Figura 3.21);

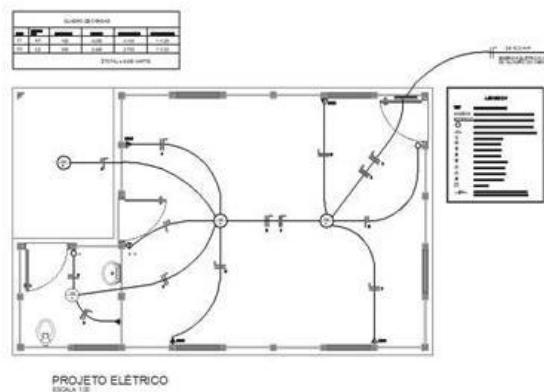


Figura 3.21 – Projeto elétrico.

14. Executa-se a ligação da casa a rede de água, a fossa séptica e filtro anaeróbio (Figura 3.22);

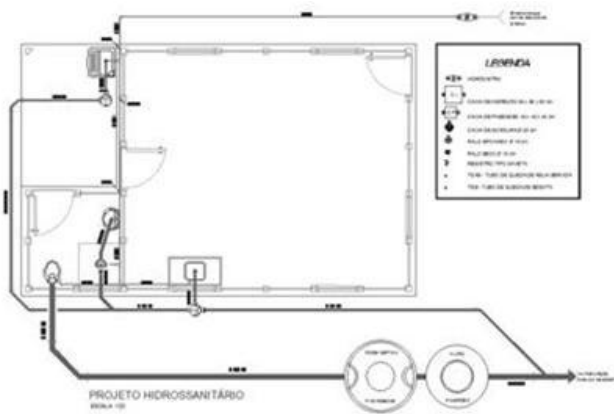


Figura 3.22 – Projeto hidrossanitário.

15. Fixam-se entre os pilares as esquadrias metálicas nos vãos das janelas e portas (Figuras 3.23 a 3.25);

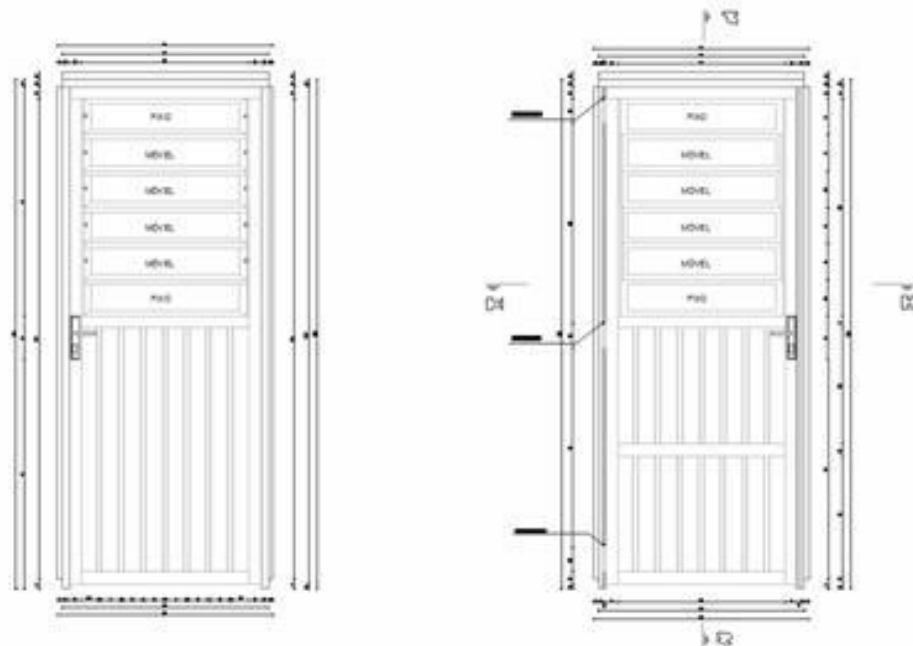


Figura 3.23 – Dimensionamento da porta padrão.

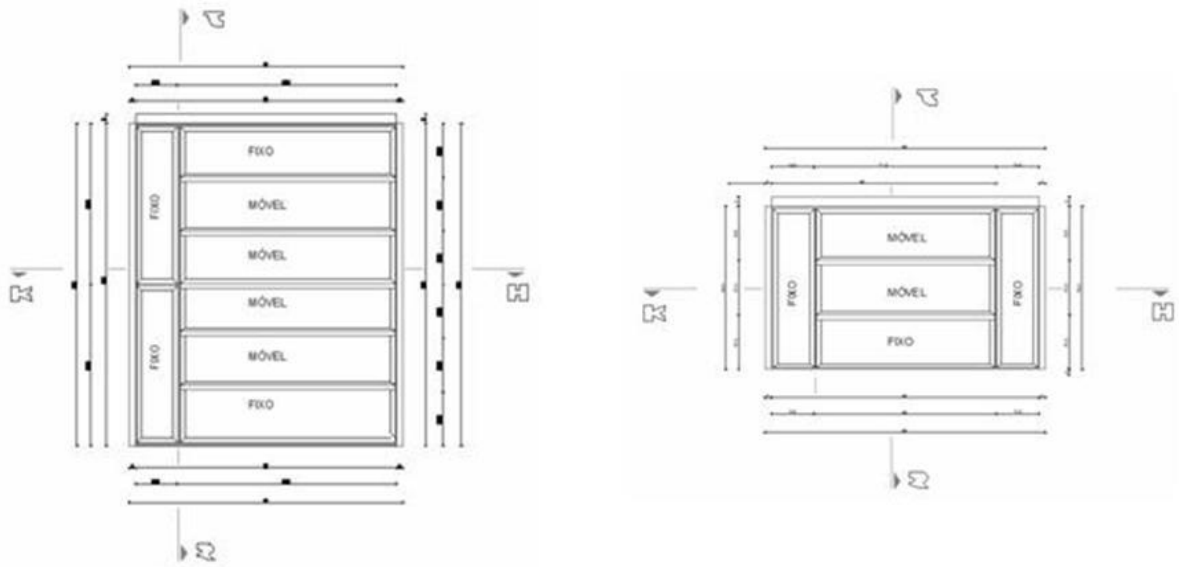


Figura 3.24 – Formatação da janela padrão tipo veneziana.

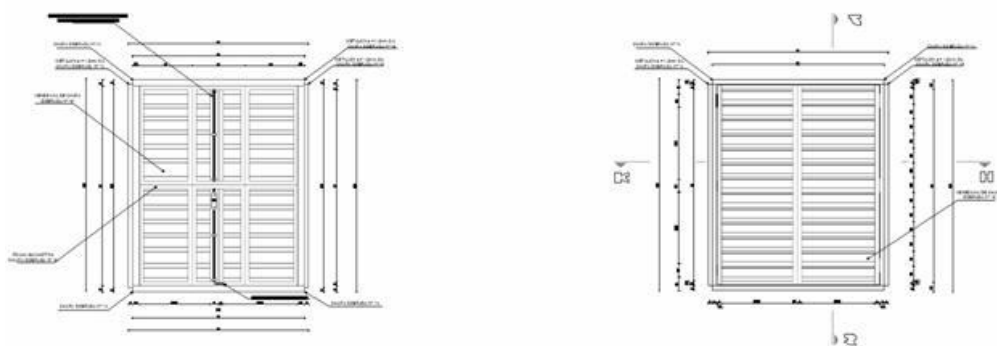


Figura 3.25 – Configurações das janelas basculantes da cozinha e do banheiro.

16. Recobre-se o forro e as paredes com lambris de madeira, de aproximadamente 15 cm de largura, com encaixe tipo macho-fêmea (Figura 3.26).

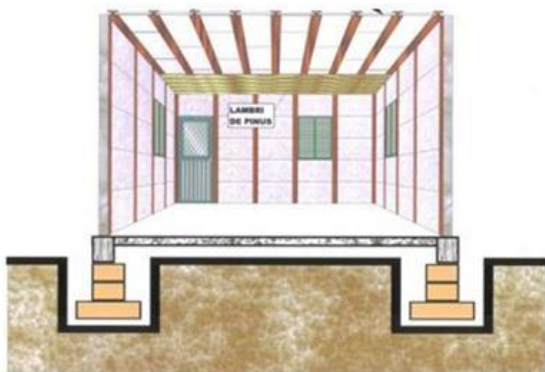


Figura 3.26 – Exemplificação de revestimento.

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas na pesquisa, a metodologia utilizada e detalhes de equipamentos e ensaios. Os materiais selecionados para o estudo foram caracterizados segundo normas da ABNT e utilizados em diferentes dosagens e adições de resíduo de borracha de pneu. O capítulo na seqüência apresentará os resultados obtidos dos diferentes ensaios.

4.1 Medição da umidade da areia

Para determinar a umidade da areia, antes da realização de cada traço, foram coletadas amostras de areia de procedência da dragagem do Rio Jacuí no município de Rio Pardo-RS, utilizando-se cápsulas de alumínio (Figura 4.1). Os ensaios foram realizados respeitando-se os procedimentos normatizados.



Figura 4.1 – Amostras de areia para medição do percentual de umidade da areia.

4.2 Ensaio de massa unitária da areia e da borracha

Para a realização do ensaio de massa unitária, segundo a NBR NM 45:2006 da ABNT, foi utilizado um recipiente metálico com capacidade de 15,4 dm³. Tal recipiente foi preenchido primeiramente com 15,4 litros de água para comprovar seu volume. Posteriormente, após esvaziado e seco, o recipiente foi preenchido com uma amostragem da areia seca, utilizada na confecção das placas do sistema construtivo. O preenchimento se deu de forma homogênea, ocupando todos os espaços livres, mas com a preocupação de não compactar o material. Os ensaios foram realizados com uma amostragem de areia e uma amostragem de borracha.

4.3 Ensaio de granulometria da areia e da borracha

A análise granulométrica de partículas sólidas compreende a determinação do tamanho das mesmas, bem como da frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho.

A areia e o resíduo de borracha foram submetidos ao ensaio, onde foram determinadas as suas granulometrias, utilizando-se de um jogo de peneiras com abertura determinada pela norma brasileira NBR NM ISO 3310-1:1997 e 3310-2:1997, sendo que foi retirada uma amostra de 1000 g de borracha e 1000 g de areia para a realização do teste. As Figuras 4.2 e 4.3 mostram o ensaio de granulometria.



Figura 4.2 – Ensaio de granulometria da areia.



Figura 4.3 – Ensaio de granulometria da borracha.

4.4 Moldagem de corpos-de-prova de argamassa com adição de resíduo de borracha

Para o estudo sem adição de brita e adequação dos traços, foram utilizados, areia, raspas de borracha e cimento, respectivamente, conforme Figura 4.4, e moldados 5 traços, com as proporções dos materiais apresentados na Tabela 4.1. As moldagens dos corpos-de-prova foram realizados utilizando-se moldes metálicos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, segundo a NBR 5738:2003, para cada traço foram moldados 14 corpos-de-prova.



Figura 4.4 – Material utilizado na composição dos traços: areia, borracha e cimento, respectivamente.

Tabela 4.1 – Traços utilizados com seus respectivos percentuais de borracha.

Identificação da amostra	Traço (em volume)			Porcentagem de borracha
	Cimento	Areia	Borracha	
1	1	1	1	33,33%
2	1	1	0,5	20,00
3	1	2	1	25,00
4	1	2	0,5	14,30%
5	1	2	2	40,00

Com o objetivo de avaliar o desempenho das amostras dos diferentes traços estudados, sem que houvesse prejuízos nas avaliações, foi adotado um procedimento padrão para a realização da mistura da argamassa utilizada nos corpos-de-prova. O padrão estabelecido seguiu os seguintes procedimentos:

- 1) Inicialmente os elementos da mistura foram colocados em betoneira na seguinte ordem: areia, borracha e cimento. Logo após, iniciava-se a mistura;
- 2) Após um minuto de batimento, adicionou-se água à mistura, conforme Figura 4.5;



Figura 4.5 – Adição de água a mistura.

- 3) Manteve-se a betoneira em funcionamento durante 10 minutos. No final desse período realizou-se o *slump test* (*ensaio de abatimento*) com uma amostragem da mistura, seguindo a NBR NM 67:1998, buscando um valor de abatimento entre 8 a 12 cm para determinar a consistência ótima da mistura. Alcançando esse resultado, a amostra que foi retirada da betoneira era repostada para que fosse misturada por mais 2 minutos. Caso o valor encontrado não ficasse entre os 8 a 12 cm, o *slump test* era novamente realizado após a mistura total de 12 minutos. O tempo máximo estabelecido de mistura foi de 12 minutos.
Caso o valor do *slump* fosse superior a 12 cm, a amostra era descartada. Se o valor fosse inferior a 8 cm era adicionado água, misturado por mais 2

minutos e realizado novamente o *slump test*. As Figuras 4.6 e 4.7 mostram o *slump test*.



Figura 4.6 – Procedimentos para realização do *slump test*.



Figura 4.7 – Medição do *Slump test*.

- 4) Realizada a mistura da argamassa, foram moldados 14 corpos-de-prova para cada traço, sendo que seis eram destinados a ensaios de compressão axial, quatro para ensaios químicos e quatro para ensaios térmicos. A Figura 4.8 mostra alguns corpos-de-prova após a moldagem.



Figura 4.8 – Corpos-de-prova após moldagem.



Figura 4.9 – Corpos-de-prova curados em água.

- 5) No terceiro dia, após a moldagem dos corpos-de-prova, os mesmos eram desformados e curados imersos em água, em local protegido da ação do sol, do vento, da água em movimento e dos agentes mecânicos, conforme Figura 4.9.

4.5 Realização de testes de resistência à compressão dos traços aos 7 e 28 dias

Após 7 dias da sua moldagem, 3 corpos-de-prova de cada traço foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão em uma prensa hidráulica marca Skay, fabricada em São José do Rio Preto – SP, com capacidade de 150 kN, conforme Figura 4.10, sendo este mesmo ensaio também repetido para 3 corpos-de-prova aos 28 dias de idade para cada traço.



Figura 4.10 – Detalhe do rompimento do corpo-de-prova.

4.6 Análise química e mecânica do resíduo e dos compósitos

Para estudar o comportamento das placas de concreto com resíduos de borracha como material agregado, dois tipos de placas foram confeccionados a partir de traços mais adequados definidos nos estudos de dosagens.

O primeiro tipo compreendeu a fabricação de placas contendo cimento, areia e borracha no traço 1:2:0,5. O segundo tipo consistiu na fabricação de placas de cimento, areia, borracha e brita nº 1, de acordo com o traço 1:2:0,5:2. A adição de brita nº 1 se fez necessária já que o material produzido na primeira parte (sem brita)

não apresentou características mecânicas apropriadas, além de exigir um consumo elevado de cimento, o que tornaria sua produção muito cara.

As caracterizações físico-químicas e mecânicas dos materiais produzidos foram realizadas em corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

A caracterização do resíduo utilizado na pesquisa foi baseada nas normas técnicas:

- NBR 10004:2004 – Classificação de Resíduos Sólidos
- NBR 10005:2004 – Procedimento para Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduo Sólido
- NBR 10006:2004 – Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos
- NBR 10007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos
- NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova Cilíndricos

4.6.1 Análise de lixiviação e solubilização de corpos-de-prova de argamassa com incorporação de borracha

Para a realização dos ensaios de caracterização mecânica foram preparados 4 corpos-de-prova, sendo que três deles foram destinados aos ensaios de compressão e o quarto corpo-de-prova foi destinado aos ensaios de lixiviação e solubilidade.

Para pesquisar os efeitos da borracha (e da sua hidrofobicidade) sobre o comportamento das placas de concreto, foi estudada a adição de borracha com e sem tratamento superficial. O tratamento superficial foi realizado com soluções de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) e Soda Cáustica (NaOH) em diferentes concentrações. A Tabela 4.2 apresenta um resumo das características dos corpos-de-prova utilizados para estes ensaios, utilizando o traço 1:2:0,5 (cimento, areia e borracha).

Tabela 4.2 - Características dos corpos-de-prova utilizados

Corpo-De-Prova	Tratamento da Borracha	Traço Utilizado (cimento, areia e borracha)
C	Borracha sem tratamento	1:2:0,5
X	Borracha tratada com Ácido Sulfúrico 1 Molar	1:2:0,5
Y	Borracha tratada com Soda Cáustica 1 Molar	1:2:0,5
Z	Borracha tratada com Soda Cáustica 2 Molar	1:2:0,5
W	Borracha tratada com Soda Cáustica Saturada	1:2:0,5

A caracterização mecânica do material produzido foi realizada por meio de ensaios de compressão axial segundo a norma NBR 5739, utilizando corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, confeccionados com traço 1: 2: 0,5. A ruptura dos corpos-de-prova foi realizada após 7 e 28 dias de cura.

Para realizar os tratamentos superficiais da borracha usada na fabricação dos corpos-de-prova foram preparadas soluções com ácido sulfúrico e soda cáustica nas concentrações acima detalhadas, diluindo uma determinada massa do produto químico em água destilada.

A borracha foi colocada posteriormente dentro da solução por 20 minutos após a mesma foi retirada e lavada com água destilada e deixada secar a temperatura ambiente por 72 horas. Após esse tempo ela foi misturada com os materiais para a fabricação dos corpos-de-prova.

Na execução dos ensaios de lixiviação e solubilização utilizou-se os corpos-de-prova que primeiramente foram fragmentados com um martelo. O material fragmentado foi então britado com um britador de mandíbula (Figura 4.11), para se obter uma amostra com granulometria < 9,5 mm de acordo com o exigido na norma.

Após a britagem, o material foi submetido a um quarteamento por meio de quarteadores mecânicos, de modo a separar uma amostra homogênea e representativa do material britado (Figura 4.12). O quarteamento foi realizado até se obter uma amostra de 100 g, necessária para os ensaios de lixiviação. Para os ensaios de solubilização foi utilizada uma massa de 250 g.



Figura 4.11 – Britagem do material fragmentado.

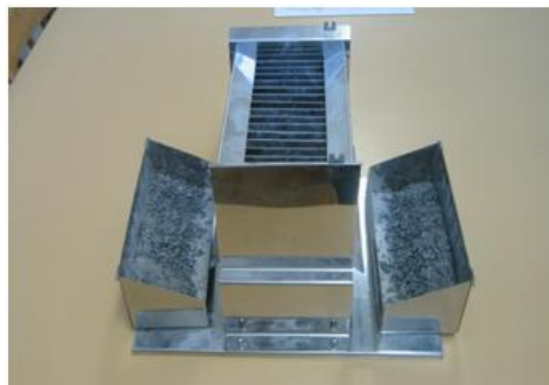


Figura 4.12 – Obtenção de amostras para lixiviação e solubilização por meio de quarteamento mecânico.

O objetivo do ensaio de solubilização de resíduos, conforme a NBR 10006, é para fixar as condições exigíveis para diferenciar os resíduos da classe II A e II B. Aplica-se somente para resíduos no estado físico sólido.

A realização do teste de solubilidade seguiu as seguintes etapas:

- a) Uma amostra representativa de 250g (base seca) do concreto foi colocada num frasco de vidro de 1500 ml, juntamente com 1000 ml de água destilada. A mistura foi agitada em baixa velocidade (1 rpm) por 5 min;
- b) Após a agitação, o frasco foi deixado em repouso por 7 dias;
- c) Posteriormente aos 7 dias, a mistura foi filtrada sob vácuo com aparelho de filtração utilizando uma membrana filtrante com $0,45\mu\text{m}$ de porosidade. Na Figura 4.13 se observa o aparelho de filtração utilizado.
- d) O filtrado assim obtido foi preservado para futura análise química por meio de acidificação com ácido nítrico a $\text{pH}<3$ e sob refrigeração em garrafas de vidros cor âmbar.

As análises foram realizadas segundo o WPCI ou USEPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY) TEST METHODS FOR EVALUATING SOLID WASTE; PHISICAL/CHEMICAL METHODS SW 846.



Figura 4.13 – Sistema de filtração sob vácuo utilizado.

A agitação dos frascos foi realizada com o uso de um agitador mecânico tipo “Rollover” (Figura 4.14) numa frequência de 1 rpm. O aparelho foi utilizado para evitar a estratificação da amostra por ocasião da agitação e assim submeter todas as partículas da amostra ao contato com a água e garantir a agitação homogênea durante o seu período de funcionamento.



Figura 4.14 – Agitador de frascos tipo “Rollover”.

Os ensaios de lixiviação foram realizados segundo a NBR 10005. O objetivo da lixiviação de resíduos é separar certas substâncias contidas nos resíduos industriais por meio de lavagem ou percolação.

Os testes de lixiviação seguiram as seguintes etapas:

- a) Foram pesadas 100 g da amostra e colocadas em um recipiente de vidro de 2000 ml, juntamente com 1600 ml de água deionizada.
- b) A polpa assim formada foi agitada no agitador tipo “Rollover”. Durante a agitação o pH da polpa era mantido em $\text{pH } 5,0 \pm 0,2$ mediante adição de ácido acético 0,5 N. O ácido acético foi utilizado para simular as condições inadequadas mais comuns de deposição onde resíduos são colocados em conjunto com resíduos orgânicos domiciliares em lixões. Essa forma de deposição é uma condição de periculosidade de resíduo conforme NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Iniciada a agitação, o pH deve ser medido em três etapas. A primeira após 15 min, a segunda após 30 min e a terceira após 60 minutos contados a partir do final da etapa anterior. Se houver variação do pH em qualquer uma das etapas, deve-se corrigir para $(5,0 \pm 0,2)$ e repetir essa etapa até que a variação do pH seja igual ou inferior a 0,5 unidades. Se não houver variações, são desnecessárias novas medições até o final da agitação.

A quantidade máxima de ácido acético a ser utilizado durante a operação deve ser de 4,0 mL/g do material sólido da amostra, mesmo que as condições de pH não sejam atingidas.

- c) Após 24 h de agitação, se a quantidade de ácido utilizada for inferior a 4 mL/g da massa de sólido e o pH da solução for superior a 5,2; este pH deve ajustado para $(5,0 \pm 0,2)$, e a agitação deve ser prolongada por mais quatro horas, fazendo-se controle e correção de pH de hora em hora. Se a quantidade de ácido acético já utilizada for de 4,0 mL/g da massa de sólido, ou seja, o máximo permitido, o procedimento mencionado acima não deve ser realizado.
- d) Após a lixiviação da amostra, a mesma era filtrada a vácuo no sistema de filtração, sobre um filtro de membrana de 0,45 μm de abertura de poros. O material filtrado foi conservado segundo o esquema detalhado anteriormente e analisado segundo a norma WPCI ou USEPA TEST METHODS FOR EVALUATING SOLID WASTE; PHYSICAL/CHEMICAL METHODS SW 846.

4.6.2 Análise de corpos-de-prova de concreto com resíduo de borracha

A adição da brita nº 1 foi realizada devido o baixo desempenho com as propriedades mecânicas do primeiro tipo de placa (conforme mostra capítulo dos resultados) e ao custo que a mesma teria em consequência do consumo de cimento.

Os corpos-de-prova aqui utilizados foram confeccionados segundo o traço 1:2:0,5:2 , cimento, areia, borracha e brita nº 1. Em função dos resultados observados na etapa anterior, nesta parte do trabalho foi utilizado apenas o tratamento superficial para a borracha que apresentou os melhores resultados. Para isso, a borracha foi tratada apenas com uma solução de Soda Cáustica (NaOH) de 1M, segundo o procedimento detalhado no item anterior. Para efeitos de comparação também foram confeccionados corpos-de-prova com o traço anteriormente citado com borracha sem tratamento. A identificação das amostras preparadas foi realizada segundo as seguintes descrições da Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Características dos corpos-de-prova utilizados com brita nº 1.

Corpo-de-prova	Tratamento da Borracha	Traço utilizado
M	Borracha tratada com Soda Cáustica 1 Molar.	1: 2: 0,5: 2
N	Borracha sem tratamento.	1: 2: 0,5: 2

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada segundo o traço detalhado anteriormente. Estes corpos-de-prova de concreto foram submetidos a testes de compressão após 7 e 28 dias de secagem. Os ensaios de compressão foram realizados segundo a norma NBR 5739.

Amostras de cada tipo de corpo-de-prova e a da brita nº 1 foram submetidas aos ensaios de lixiviação e solubilização, visando avaliar a mobilidade dos compostos químicos de acordo com a NBR 10005 e NBR 10006. Para avaliar a presença de micro-organismos um teste microbiológico foi realizado na amostra sem tratamento.

Para analisar o efeito da água utilizada, o tratamento e a lavagem da borracha foram realizados com água da torneira no lugar da água destilada.

O efluente gerado no processo de tratamento da borracha com Soda Cáustica (NaOH) 1M possui propriedades alcalinas. A quantidade obtida durante o ensaio foi de 2 litros na fase de ativação e de 2 litros no processo de lavagem, totalizando 4 litros de efluentes para o tratamento do resíduo de borracha. A neutralização deste efluente foi realizada com uma solução de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).

As amostras de concreto foram analisadas sob um microscópio ótico e com o microscópio eletrônico de varredura, buscando avaliar as interações dos materiais contidos no compósito.

Os corpos-de-prova utilizados para a análise no microscópio ótico e no microscópio eletrônico de varredura foram confeccionados no Laboratório de Metalografia da UNISC. Para isso, pedaços das amostras dos concretos foram colocados em suporte de cobre com diâmetro de 1,5 cm, e 0,5 cm de altura, sendo que o espaço entre a amostra e o cobre foi preenchido com epóxi. As amostras assim confeccionadas foram secas em estufas a 60°C por 4 horas. Após este tempo, a amostra foi retirada e colocada num dissecador.

As amostras secas foram lixadas com lixas N° 200, 600 e 1000. Após o lixamento, as amostras eram polidas com pó de alumínio de 1 μm .

Posteriormente, os corpos-de-prova foram submetidos ao teste com microscópio ótico, no Laboratório de Metalografia da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. Os testes com microscópio eletrônico de varredura foram realizados no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, sendo que o aparelho utilizado foi o Scanning Electron Microscope, marca JEOL – JSM – 6060.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

A pesquisa seguiu o organograma apresentado na Figura 5.1, visando um melhor acompanhamento dos ensaios realizados.

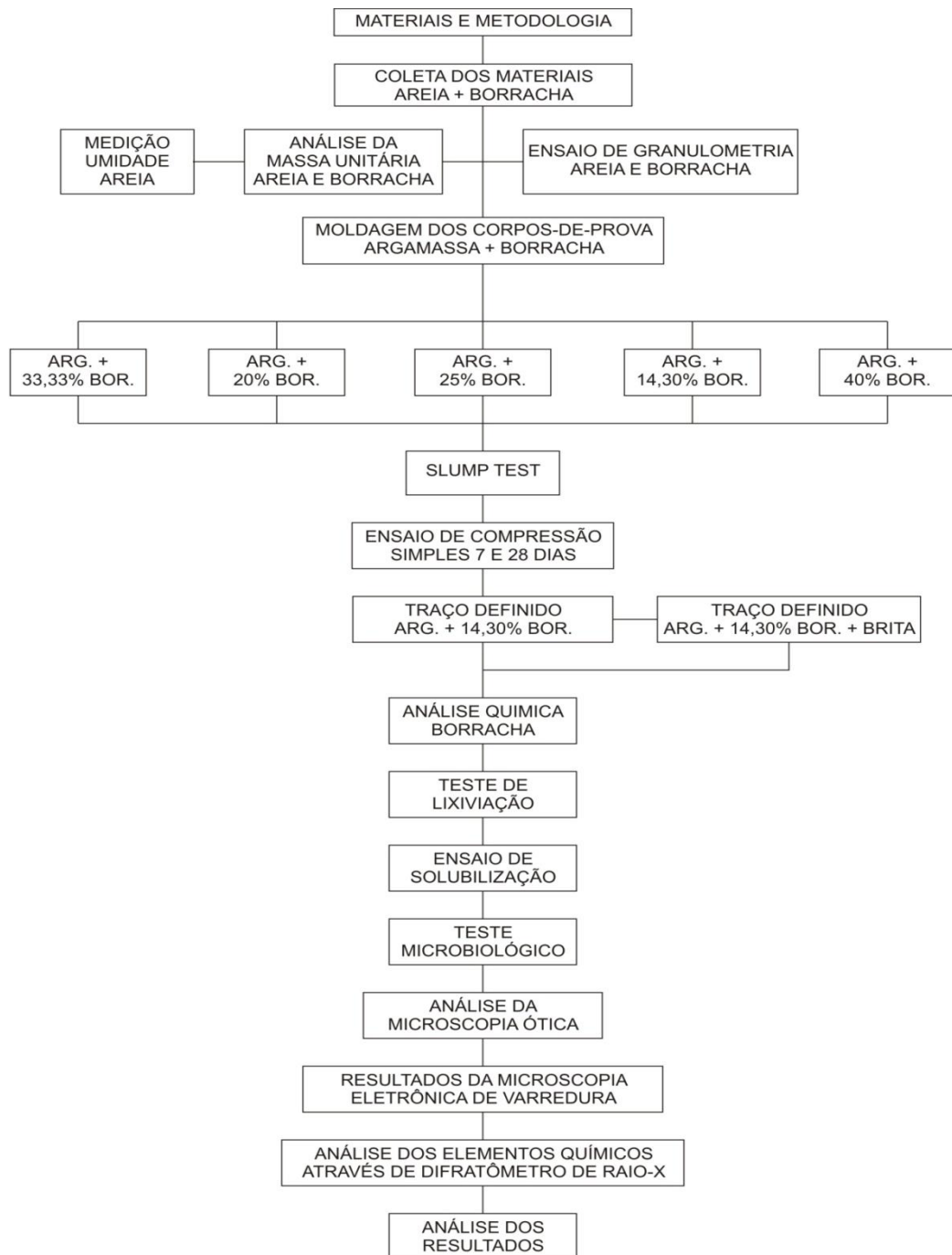


Figura 5.1 – Organograma.

5.1 Estudos da aplicação do resíduo de borracha

5.1.1 Umidade de areia

A verificação do percentual da umidade da areia mostrou os resultados apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Umidade higroscópica da areia.

Umidade Higroscópica da Areia	
Traço	
1:1:1	3,34
1:2:1	1,98
1:2:2	2,01
1:1:0,5	3,36
1:2:0,5	1,62

5.1.2 Massa unitária

A determinação da massa unitária da areia, bem como da borracha, resultou nos seguintes dados apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Massa unitária da areia e da borracha.

Massa Unitária			
Material	Peso Líquido (kg)	Volume (dm ³)	Massa Específica
Areia	24,194	15,400	1,570
Borracha	5,652	15,400	0,367

5.1.3 Granulometria da areia e da borracha

As Tabelas 5.3 e 5.4 mostram as distribuições granulométricas da borracha e da areia, respectivamente. Verifica-se que as peneiras de 1,18 mm e 600 μm possuem a maior quantidade de borracha retida, demonstrando que as partículas de resíduo de pneu são bastante irregulares, possibilitando futuramente o estudo de se obter uma granulometria mais homogênea, facilitando assim a sua aderência ao cimento.

Tabela 5.3 – Ensaio de granulometria da borracha

Peneira	Peso (g)	Percentual (%)	Massa Retida	Percentual que passa (%)
5/8" (16 mm)	0,0	0,00	0,0	100
1/2" (12,5 mm)	13,8	1,38	13,8	98,6
(9,5 mm)	13,1	1,31	26,9	97,3
4 (4,75 mm)	64,4	6,44	91,3	90,9
8 (2,36 mm)	147,0	14,70	238,3	76,2
16 (1,18 mm)	286,7	28,67	525	47,5
30 (600 μm)	306,1	30,61	831,1	16,9
50 (300 μm)	105,2	10,52	936,3	6,4
100 (150 μm)	52,0	5,20	988,7	1,1
200 (75 μm)	11,7	1,17	1000	0
Total	1000	100		

Tabela 5.4 – Ensaio de granulometria da areia

Peneira	Peso (g)	Percentual (%)	Massa Retida	Percentual que passa (%)
1/2" (12,5 mm)	4,4	0,44	4,4	99,6
4 (4,75 mm)	52,9	5,29	57,3	94,3
8 (2,36 mm)	129,7	12,97	187,0	81,3
16 (1,18 mm)	198,6	19,86	385,6	61,4
30 (600 μm)	245,9	24,59	631,5	36,8
50 (300 μm)	295,7	29,57	927,2	7,2
100 (150 μm)	60,8	6,08	988,0	1,1
200 (75 μm)	10,4	1,04	998,4	0,1
<75 μm	1,6	0,16	1000	0,0
Total	1000	100		

Na Figura 5.2 está traçada a curva granulométrica do resíduo de pneu. O gráfico mostra que 80% da massa da borracha se concentra na faixa granulométrica >3,0 mm. Isso confere ao material uma característica de granulometria média. O d50 da amostra foi de 5,0 mm e d80= 9,0 mm.

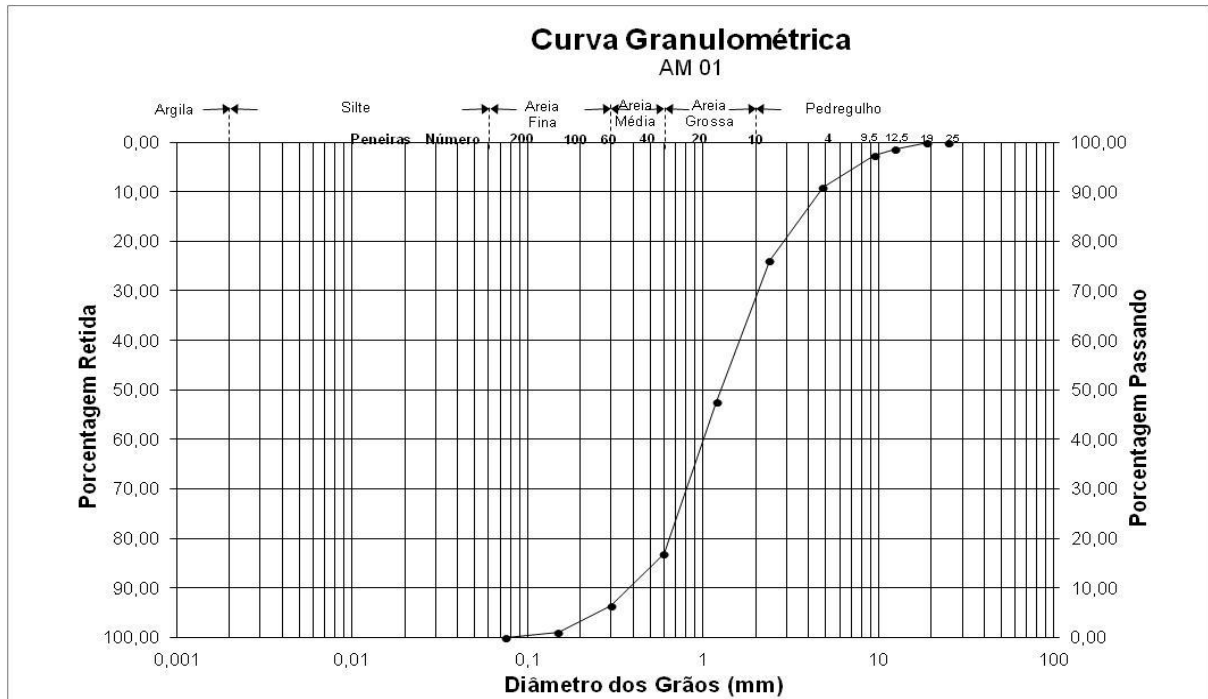


Figura 5.2 – Curva da distribuição granulométrica do resíduo de pneu.

5.1.4 Resistência à compressão das argamassas aos 7 e 28 dias

Na Figura 5.3 apresenta os resultados à compressão das argamassas, observa-se nessa figura que os traços que possuem maior resistência são respectivamente 1:1:0,5, 1:2:0,5 e 1:1:1. O critério da escolha do melhor traço a ser empregado nas placas pré-moldadas deve levar em consideração, além da resistência à compressão, aspectos como o baixo custo com pouca utilização do cimento, o maior consumo possível de borracha e a trabalhabilidade.

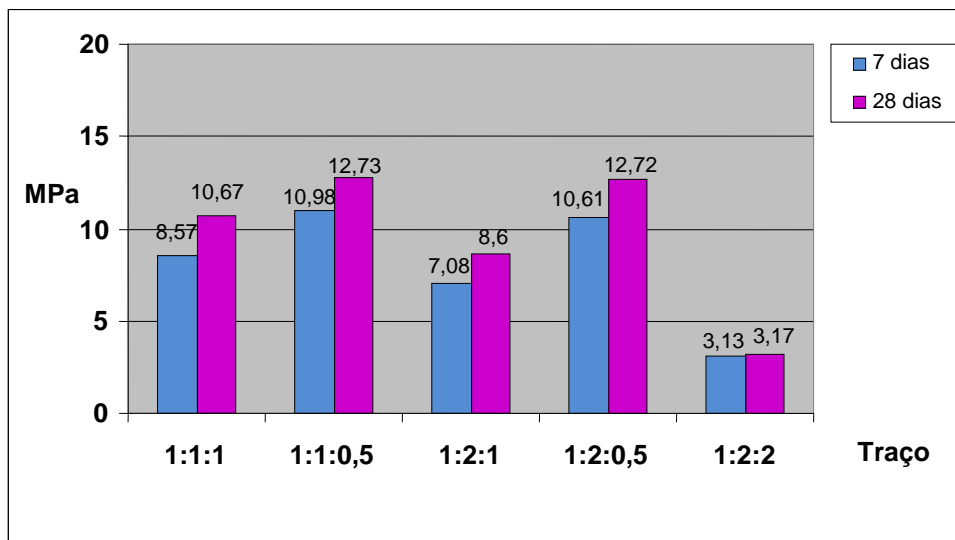


Figura 5.3 – Teste de resistência à compressão das argamassas.

O traço 1:2:0,5, se comparado aos demais, apresenta um bom equilíbrio entre resistência à compressão e baixo consumo de cimento e, por este motivo, foi o traço escolhido para ser utilizado nas placas. Este traço possui além de uma boa resistência, um bom acabamento na superfície da placa pré-moldada devido à quantidade de areia adicionada na mistura. Os ensaios de impacto, especialmente de corpo mole, é que vão avaliar a adequação da placa com 3 cm de espessura com relação à segurança.

5.1.5 Influência da quantidade de borracha no traço e adição de brita nº 1

As Figuras 5.4 e 5.5 apresentam os resultados nos ensaios de resistência à compressão com adição de brita nº 1 no traço. Nessas figuras verifica-se que a quantidade de borracha utilizada na composição dos traços do concreto exerce grande influência na resistência à compressão dos mesmos.

Comparando o traço 1:1:0,5 com o 1:1:1 e o traço 1:2:1 com 1:2:0,5, observa-se que a simples redução do uso da borracha na composição do traço, sem alterar os demais componentes, aumenta a resistência consideravelmente. Quanto maior o percentual de borracha utilizado, menor será a resistência ou maior será o consumo de cimento na composição do traço.

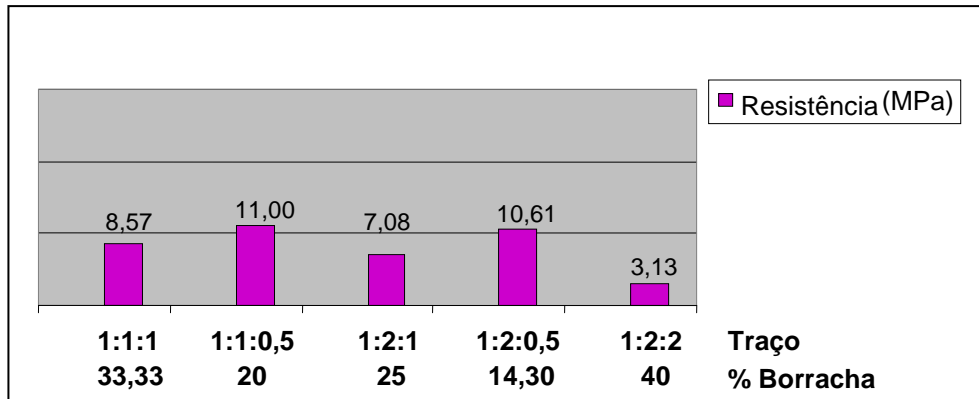


Figura 5.4 – Influência da utilização da borracha na resistência aos 7 dias.

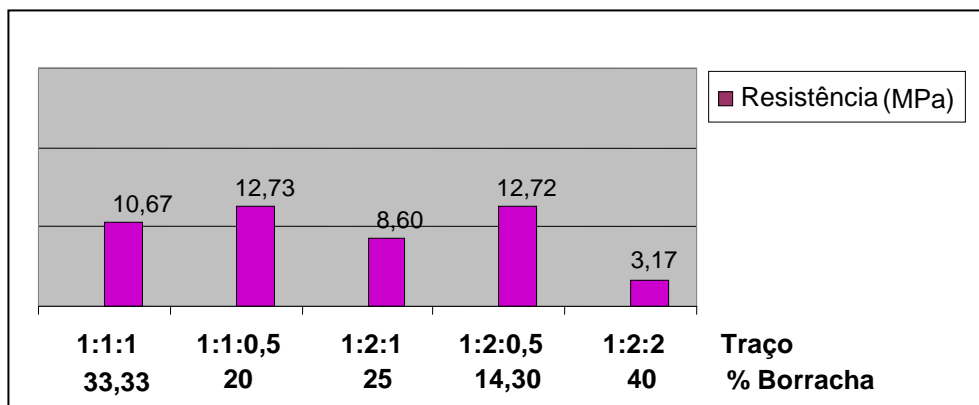


Figura 5.5 - Influência da utilização da borracha na resistência aos 28 dias.

Os primeiros resultados mostraram uma resistência adequada para a utilização do traço 1:2:0,5 (cimento CP-V, areia e borracha), tendo em vista que a resistência obteve valores superiores aos outros traços.

Baseando-se na avaliação pós-ocupação (tipologias existentes e a satisfação dos moradores) realizada em 58 casas construídas com o traço citado acima e com placas de 3 cm de espessura, bem como os resultados de ensaios de impacto de corpo mole, térmicos e acústicos, a espessura das chapas foi modificada, utilizando-se placas com espessura de 5 cm.

A definição de placas de 5 cm de espessura permitiu a inclusão de mais um material no traço, a brita nº 1. Os resultados de ensaios de corpos-de-prova para

dosagens com inclusão de brita nº 1 (Figura 5.6) indicaram valores de resistência à compressão superiores àqueles obtidos anteriormente (argamassas), conforme Figura 5.5. Tendo em vista o custo da construção, o traço para 1: 2: 0,5: 2 (cimento CP-V, areia, borracha e brita nº 1) foi definido para a fabricação das novas placas.

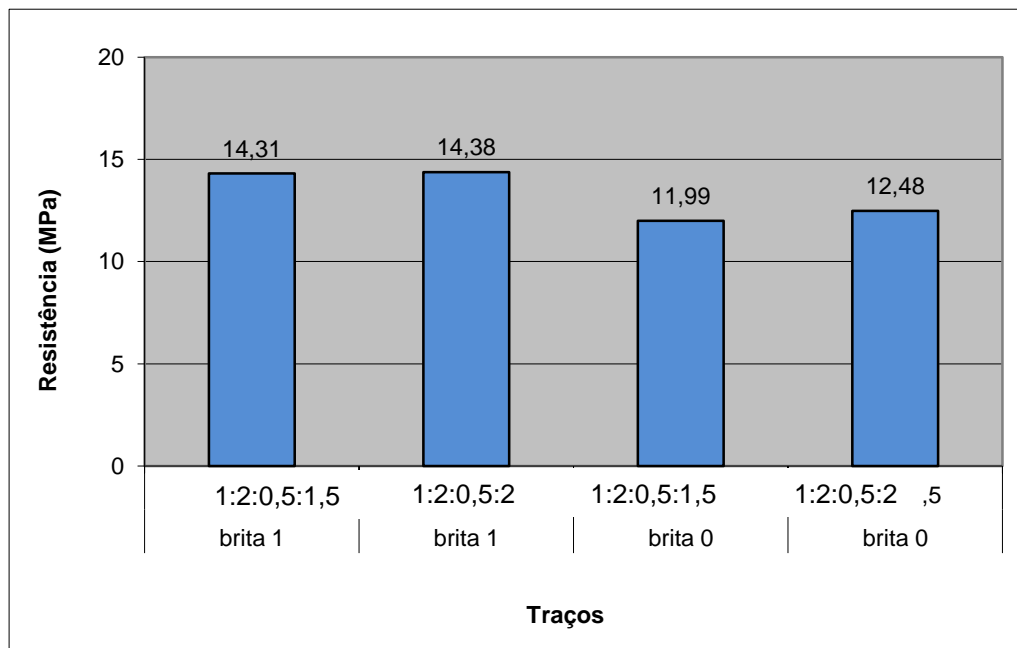


Figura 5.6 – Teste de compressão aos 28 dias.

5.2 Análise química do resíduo de borracha

5.2.1 Ensaio de lixiviação e solubilização - traço 1:2:0,5

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam os resultados dos ensaios de lixiviação e de solubilidade, respectivamente, para o traço 1:2:0,5 (sem brita nº 1). Observa-se na Tabela 5.5 que a mobilização dos metais pesados é menor que os limites máximos estabelecidos na NBR 10006.

Tabela 5.5 – Resultados dos testes de lixiviação segundo NBR 10006.

Parâmetro	Limite $\mu\text{g.L}^{-1}$	Amostra C $\mu\text{g.L}^{-1}$	Amostra X $\mu\text{g.L}^{-1}$	Amostra Y $\mu\text{g.L}^{-1}$	Amostra Z $\mu\text{g.L}^{-1}$	Amostra W $\mu\text{g.L}^{-1}$
Arsênio	1000	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cádmio	500	0,47	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Chumbo	1000	9,02	<1,0	<1,0	<1,0	1,95
Cr total	5000	182,4	361,4	170,3	155,8	207,0
Selênio	1000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Os resultados dos testes de solubilidade mostram que todos os elementos de todas as amostras, com exceção do Al, se encontram abaixo dos limites estabelecidos na NBR 10006. O Alumínio é um dos componentes do cimento, dessa forma, as concentrações de alumínio aqui analisadas podem estar relacionadas ao comportamento deste elemento no pH deste ensaio. Neste teste, o pH do mesmo não é controlado, o que faz com que ele atinja um valor de pH=12. Nestas condições, o alumínio pode ser mobilizado, pois a sua solubilidade aumenta em pH alcalino.

Tabela 5.6 – Resultados do teste de solubilidade.

Parâmetro	Limite $\mu\text{g L}^{-1}$	Amostra C $\mu\text{g L}^{-1}$	Amostra X $\mu\text{g L}^{-1}$	Amostra Y $\mu\text{g L}^{-1}$	Amostra Z $\mu\text{g L}^{-1}$	Amostra W $\mu\text{g L}^{-1}$
Arsênio	10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Alumínio	200	267,2	379,5	337,6	521,3	303,8
Cádmio	5	0,8	0,1	0,3	<0,1	<0,1
Chumbo	10	3,4	1,8	2,3	1,0	4,2
Cloreto	250000	1200	700	1000	700	1000
Cobre	2000	<20	<20	20	<20	30
Cr total	50	47,0	43,8	40,0	45,5	49,4
Ferro	300	100	50	<20	<20	70
Mercúrio	1,0	<0,05	<0,05	<0,05	<50	<50
Nitrato	10000	<100	<100	<100	<100	<100
Sódio	200000	80000	64200	84500	134100	161100
Sulfato	250000	3700	4100	3200	4100	5000
Zinco	5000	<20	<20	<20	<20	<20

Porém, as concentrações aqui analisadas não impediriam o uso do material para os fins aqui propostos.

5.2.2 Ensaio de lixiviação e solubilidade – traço 1:2:0,5:2 (com brita nº 1)

Os testes de lixiviação e solubilidade foram realizados na amostra com borracha sem tratamento, visto que esta foi a condição escolhida para a fabricação das placas. Esta escolha se baseou nos resultados anteriores que mostraram que a adição de borracha tratada não acrescentava nenhuma melhoria nas propriedades mecânicas dos concretos produzidos com borracha como agregado fino.

Os resultados, apresentados na Tabela 5.7, mostram que todos os elementos têm suas concentrações abaixo do limite máximo estabelecido pela norma, demonstrando assim que o compósito não lixívia nenhum contaminante para o meio ambiente.

Comparando as Tabelas 5.5 e 5.7 pode-se observar a presença de metais como Ba e outros, cuja presença não foi notada no primeiro teste. A presença destes elementos está associada à brita nº 1 utilizada nestes últimos ensaios.

Tabela 5.7 – Resultado do teste de lixiviação.

Parâmetro	Limite Máximo no Lixiviado mg/L	Resultado da Análise mg/L
Arsênio	1,0	<0,003
Bário	70,0	3,9
Cádmio	0,5	0,010
Chumbo	1,0	<0,001
Cromo total	5,0	0,19
Fluoreto	150,0	0,9
Mercúrio	50,1	<0,0001
Prata	5,0	0,006
Selênio	1,0	<0,0001

Os resultados dos testes de solubilidade, apresentados na Tabela 5.8, mostram que apenas o elemento Bário ficou acima do limite estabelecido, com 0,9 mg/L⁻¹. A maior concentração de Ba analisada nestes ensaios é menor do que a analisada nos ensaios de lixiviação. Isto se deve ao fato de que as condições de pH dos ensaios de solubilização (pH=11,5) diminuem a solubilidade deste elemento. Já

nos ensaios de lixiviação o pH é mantido em 5, o que facilita a extração dos elementos da matriz.

Embora tenha sido analisado numa concentração maior do que a permitida pela norma, esta situação não compromete o uso deste material no concreto.

Tabela 5.8 – Resultado do teste de solubilidade.

Parâmetro	Limite Máximo mg/L	Resultado da Análise mg/L
Alumínio	0,2	<0,01
Arsênio	0,01	<0,003
Bário	0,7	<0,9
Cádmio	0,005	0,005
Chumbo	0,01	<0,001
Cianeto	0,07	<0,002
Cloreto	250,0	0,8
Cobre	2,0	<0,02
Cromo total	0,05	<0,05
Fenóis totais	0,01	<0,1
Ferro	0,3	<0,02
Fluoreto	1,5	0,3
Manganês	0,1	<0,02
Mercúrio	0,001	<0,0001
Nitrato (expresso em N)	10,0	0,1
Prata	0,05	0,03
Selênio	0,01	0,0001
Sódio	200,0	29,3
Sulfato (expresso em SO₄)	250,0	6,1
Surfactantes	0,5	0,04
Zinco	5,0	<0,02

A presença do Ba nestes testes está associada à brita nº 1 utilizada, como foi citado anteriormente. Para confirmar esta observação, apenas a brita nº 1 foi submetida a um ensaio de solubilidade. Os resultados deste teste estão apresentados na Tabela 5.8. Deste resultado pode se concluir que a contribuição do Ba é proveniente da brita nº 1 utilizada.

Tabela 5.9 – Resultados dos ensaios de solubilidade da brita nº 1.

Parâmetro	Limite Máximo mg/L	Resultado da Análise mg/L
Alumínio	0,2	<0,01
Arsênio	0,01	<0,003
Bário	0,7	0,2
Cádmio	0,005	<0,0001
Chumbo	0,01	<0,001
Cianeto	0,07	<0,002
Cloreto	250,0	1,3
Cobre	2,0	<0,02
Cromo total	0,05	<0,05
Fenóis totais	0,01	<0,1
Ferro	0,3	<0,02
Fluoreto	1,5	<0,2
Manganês	0,1	<0,02
Mercúrio	0,001	<0,0001
Nitrato (expresso em N)	10,0	0,2
Prata	0,05	0,001
Selênio	0,01	<0,0001
Sódio	200,0	8,7
Sulfato (expresso em SO₄)	250,0	<1.0
Surfactantes	0,5	0,07
Zinco	5,0	<0,02

5.2.3 Teste microbiológico

O teste microbiológico realizado na amostra sem tratamento apresentou a presença de NMP de coliformes termotolerantes < 20 mg/l⁻¹, e NMP de coliformes totais < 20 mg/l⁻¹, demonstrando assim que o compósito não apresenta nenhuma contaminação microbiológica.

5.2.4 Resultados da microscopia ótica

As Figuras 5.7 e 5.8 mostram a interação da borracha com a matriz de cimento, observados nos corpos-de-prova de concreto sem brita, contendo borracha não tratada. As figuras mostram claramente que a borracha se encontra

encapsulada na matriz de concreto. Os resultados foram obtidos com um microscópio ótico, com aumento de 4 vezes.



Figura 5.8 – Interação com o resíduo de borracha.

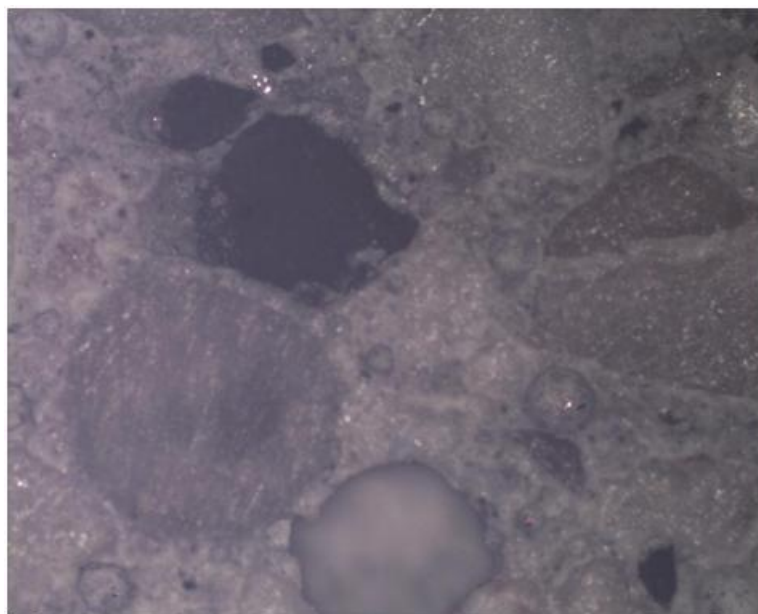


Figura 5.8 – Interação com o resíduo de borracha.

A mesma observação pode ser feita quando se analisa as imagens das Figuras 5.9 e 5.10, onde se utilizou borracha tratada.



Figura 5.9 – Interação com o resíduo de borracha tratada.

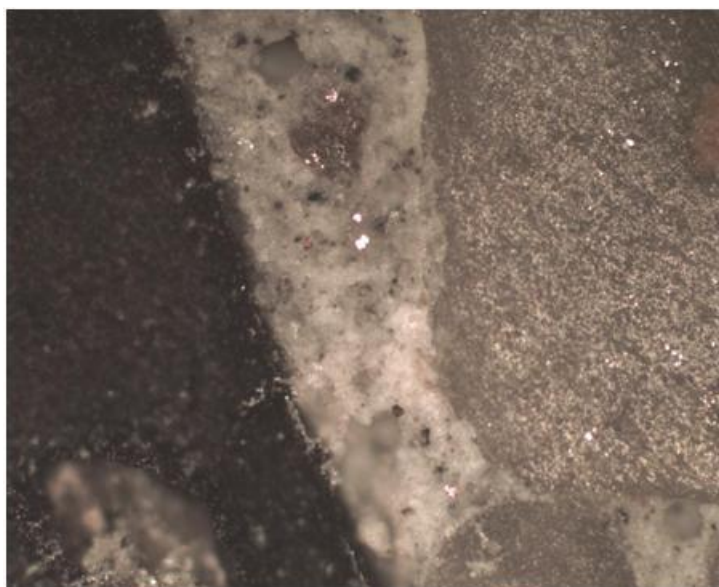


Figura 5.10 – Interação com o resíduo de borracha tratada.

5.2.5 Resultados da microscopia eletrônica de varredura

A microestrutura do compósito foi analisada com auxílio do microscópio eletrônico de varredura Scanning Electron Microscope, marca JEOL – JSM – 6060. A Figura 5.11 mostra os resultados com uma amostra contendo cimento, areia e resíduo de borracha sem tratamento. Desta figura pode ser observado que não

existe uma interação entre a borracha e a matriz de concreto. A mesma se encontra apenas encapsulada na matriz, sem formar nenhuma mineralização secundária com os componentes da matriz.

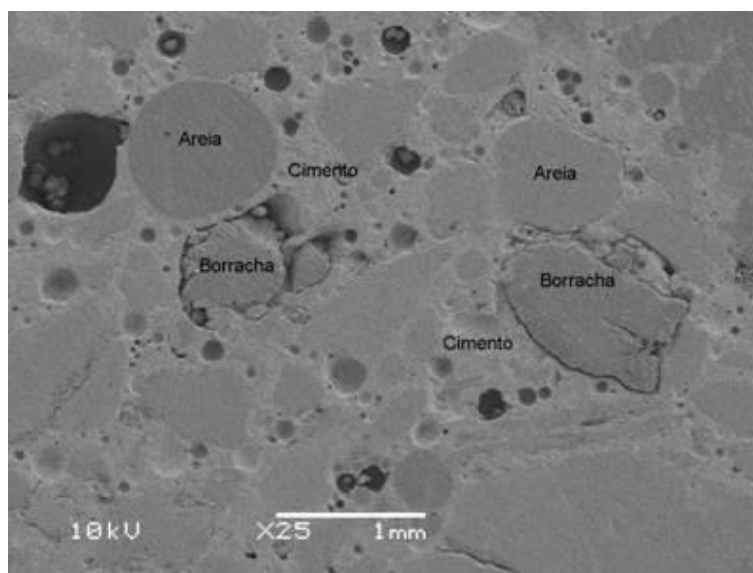


Figura 5.11 – Microfotografia da Amostra C contendo cimento, areia e resíduo de borracha sem tratamento.

As Figuras 5.12 a 5.14 apresentam com maior nitidez o resíduo de borracha apenas encapsulado, não sofrendo interação com o cimento e a areia.

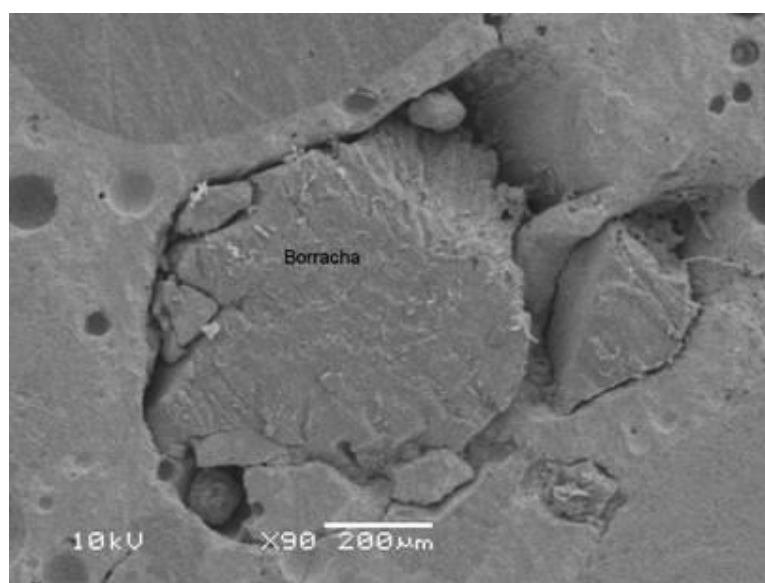


Figura 5.12 – Encapsulamento do resíduo de borracha sem tratamento.

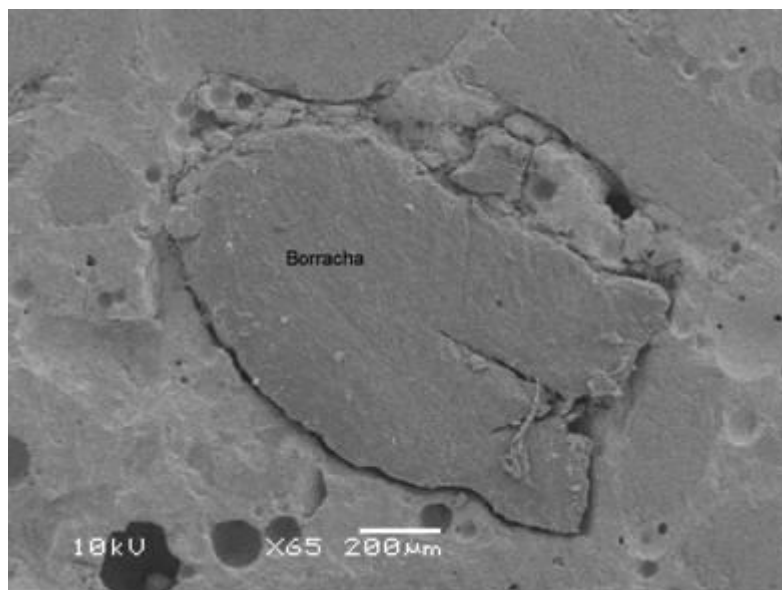


Figura 5.13 – Resíduo de borracha sem tratamento encapsulado em matriz de cimento e areia.

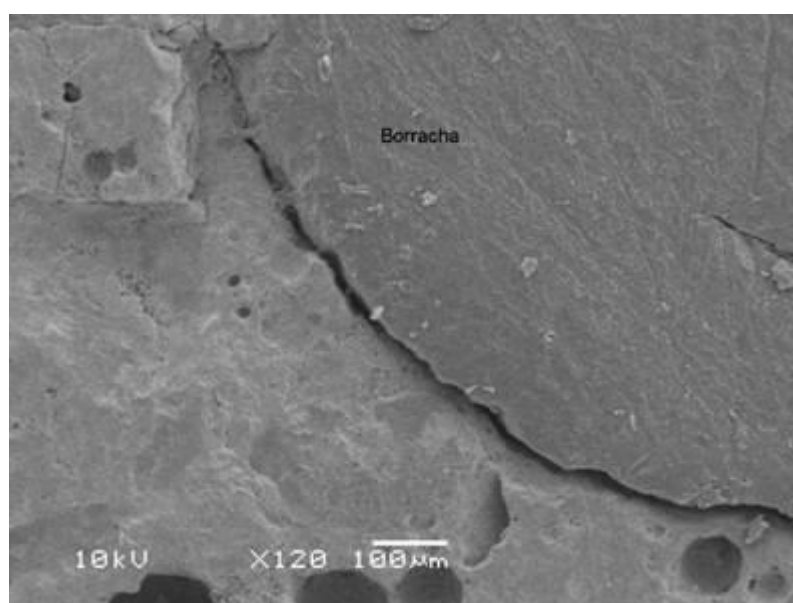


Figura 5.14 – Resíduo de borracha sem tratamento encapsulado em matriz de cimento e areia.

As análises realizadas na amostra Y demonstram que o compósito formado por cimento, areia e resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1M apresenta uma maior aderência entre a borracha e a matriz de cimento. As Figuras 5.15 e 5.16 mostram o detalhe da microscopia eletrônica da superfície da borracha em contato com a matriz de cimento.

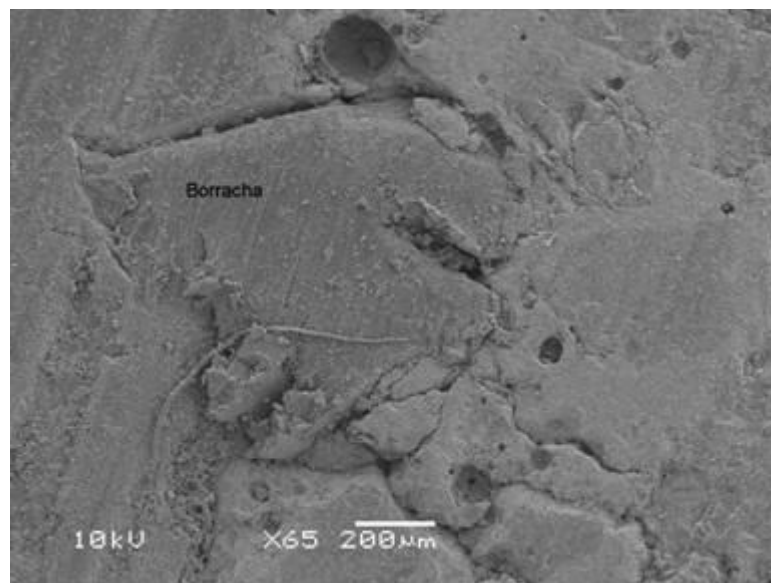


Figura 5.15 – Resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1 M em matriz de cimento e areia.

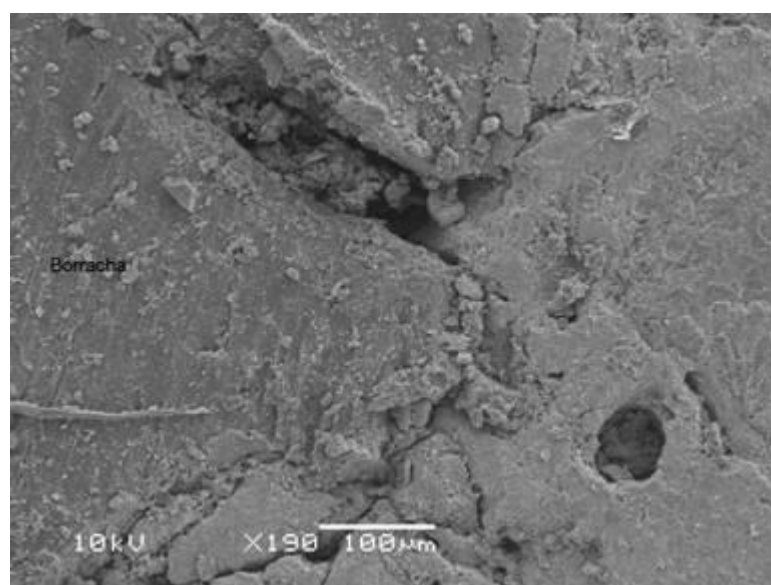


Figura 5.16 – Resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1 M em matriz de cimento e areia.

A análise da amostra M, composta por cimento, areia, brita nº 1 e resíduo de borracha tratada com 1M de soda cáustica, mostrada na Figura 5.17 mostra novamente a interação da borracha com a matriz de concreto. Cabe destacar neste ponto que as fissuras observadas nas amostras são decorrentes do processo de preparação de amostras.

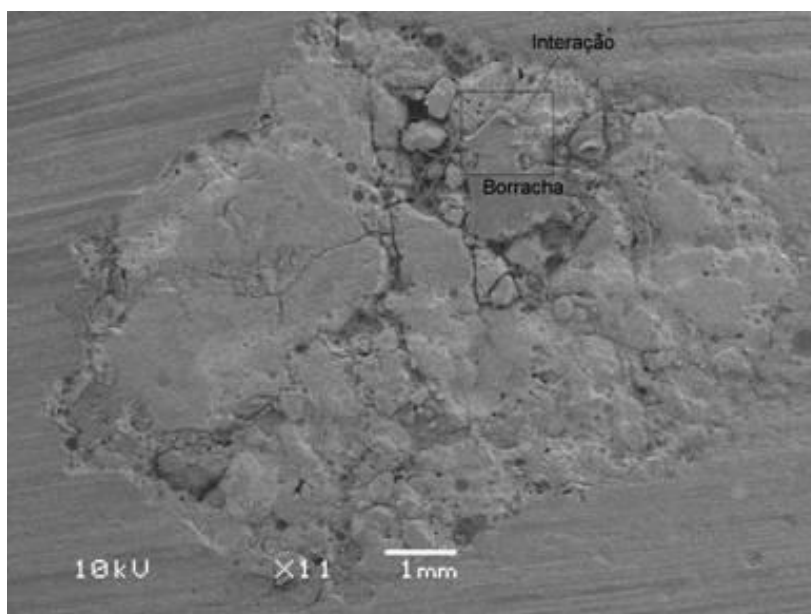


Figura 5.17 – Interação do resíduo de borracha e a matriz de concreto.

Nas Figuras 5.18 e 5.19 se apresentam também microfotografias que demonstram a melhor interação entre a borracha tratada e o concreto. Isso pode se verificar pela ausência de espaços vazios entre os mesmos, justificando assim que o tratamento aplicado ao resíduo de borracha auxilia a aderência entre os materiais do compósito.

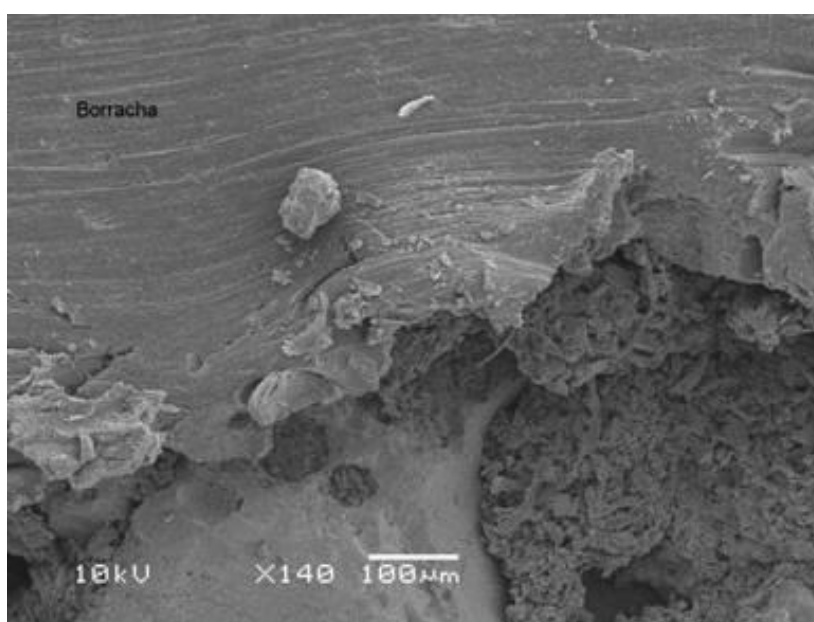


Figura 5.18 – Interação entre a borracha tratada e a matriz de cimento.

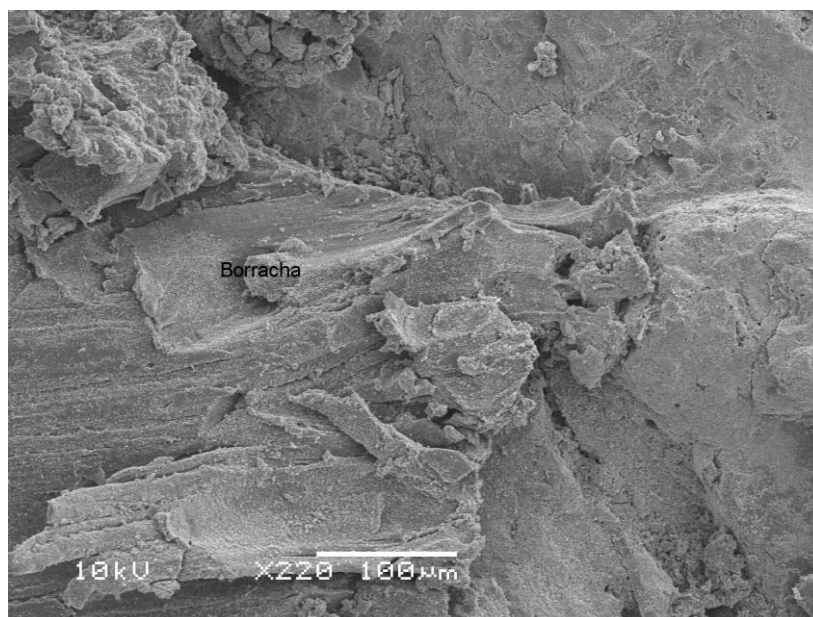


Figura 5.19 – Aderência da borracha à matriz de cimento.

A amostra N contendo cimento, areia, resíduo de borracha e brita nº 1 foi analisada no difratrômetro de raio-X, buscando identificar sua composição, sendo que os resultados conforme Figuras 5.20 a 5.23 e Tabela 5.10 demonstram o ponto 1 sendo borracha e o ponto 3 a matriz do cimento.

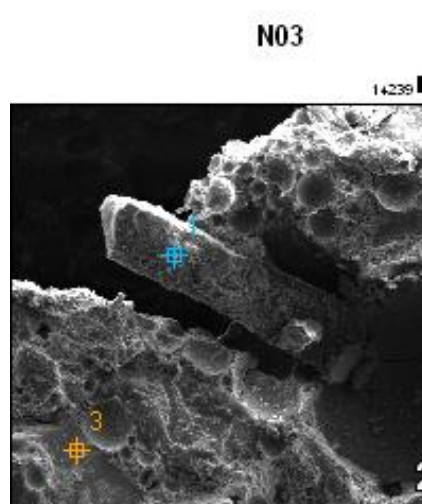


Image Name: N

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Figura 5.20 – Detalhamento dos pontos da amostra N com borracha sem tratamento.

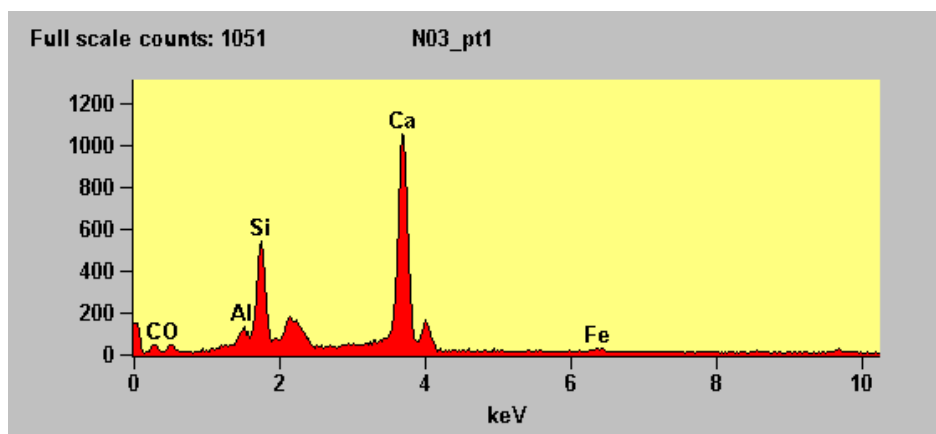


Figura 5.21 – Gráfico analítico dos elementos químicos através difração de Raio-X no ponto 1.

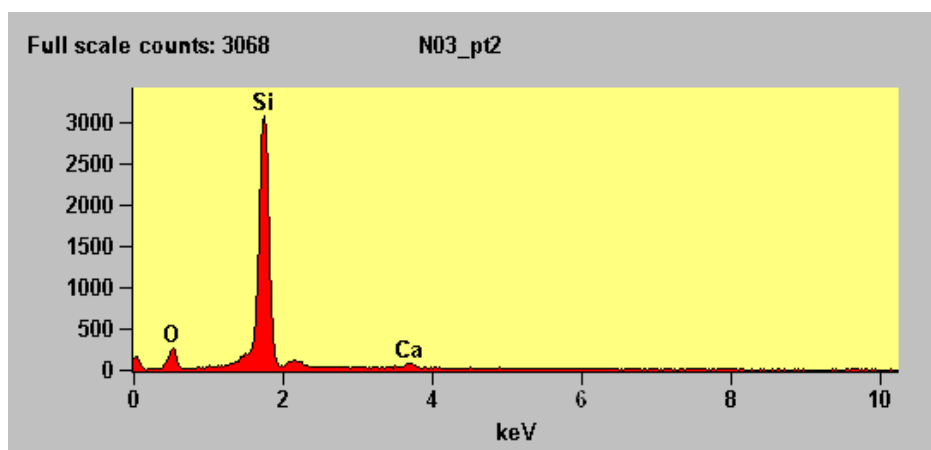


Figura 5.22 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração Raio-X no ponto 2.

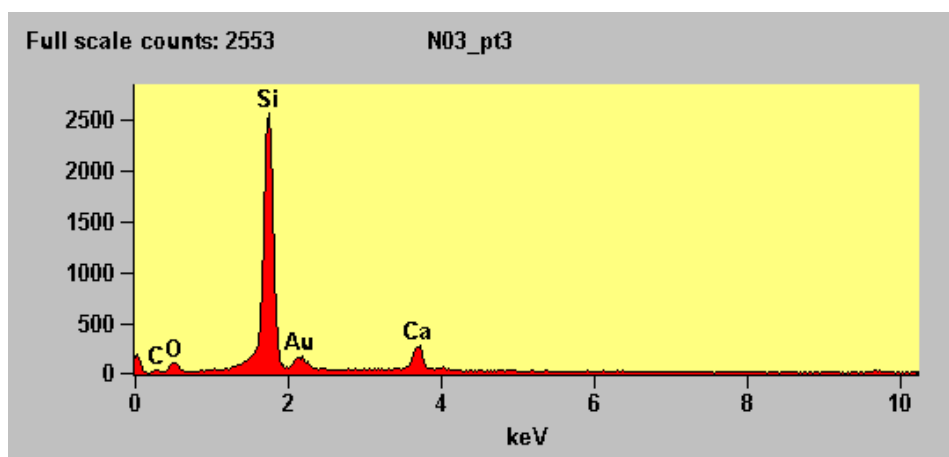


Figura 5.23 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração Raio-X no ponto 3.

Tabela 5.10 – Análise da amostra N sem tratamento, através de difratômetro de raio-X.

Weight Concentration %							
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>N03_pt1</i>	26.68	19.35	1.36	10.61	40.30	1.70	
<i>N03_pt3</i>	18.66	25.18		38.06	7.90		10.20
Weight % Error							
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>N03_pt1</i>	+/-2.02	+/-1.90	+/-0.19	+/-0.26	+/-0.59	+/-0.24	
<i>N03_pt3</i>	+/-2.78	+/-1.08		+/-0.31	+/-0.29		+/-1.52
Atom Concentration %							
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>N03_pt1</i>	45.38	24.71	1.03	7.71	20.54	0.62	
<i>N03_pt3</i>	32.83	33.26		28.64	4.17		1.10
Atom % Error							
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>N03_pt1</i>	+/-3.43	+/-2.43	+/-0.15	+/-0.19	+/-0.30	+/-0.09	
<i>N03_pt3</i>	+/-4.89	+/-1.42		+/-0.23	+/-0.15		+/-0.16
Compound Concentration %							
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>Au</i>
<i>N03_pt1</i>	26.68	19.35	1.36	10.61	40.30	1.70	
<i>N03_pt3</i>	18.66	25.18		38.06	7.90		10.20

A amostra M, contendo cimento, areia, brita nº 1 e resíduo de borracha tratada com soda cáustica 1M foi analisada no difratômetro de raio-X, sendo verificada sua composição. Os pontos identificados na Figura 5.24 demonstram a composição do resíduo de borracha. As Figuras 5.25 a 5.29 e a Tabela 5.11 mostram os gráficos analíticos dos elementos químicos e suas concentrações em peso, respectivamente.

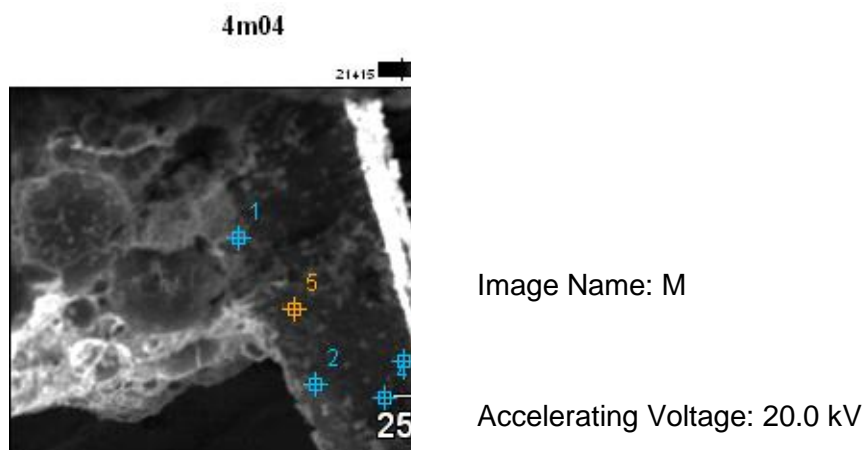


Figura 5.24 – Detalhamento dos pontos da amostra M com borracha tratada com NaOH.

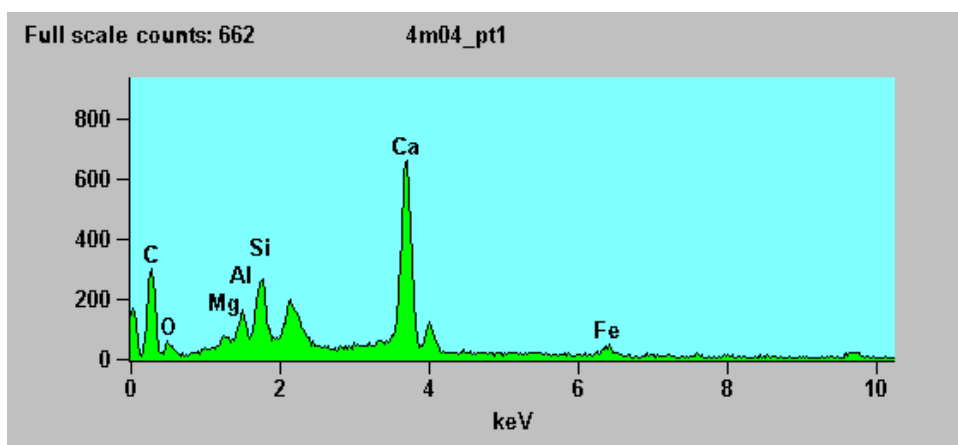


Figura 5.25 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração de Raio-X no ponto 1.

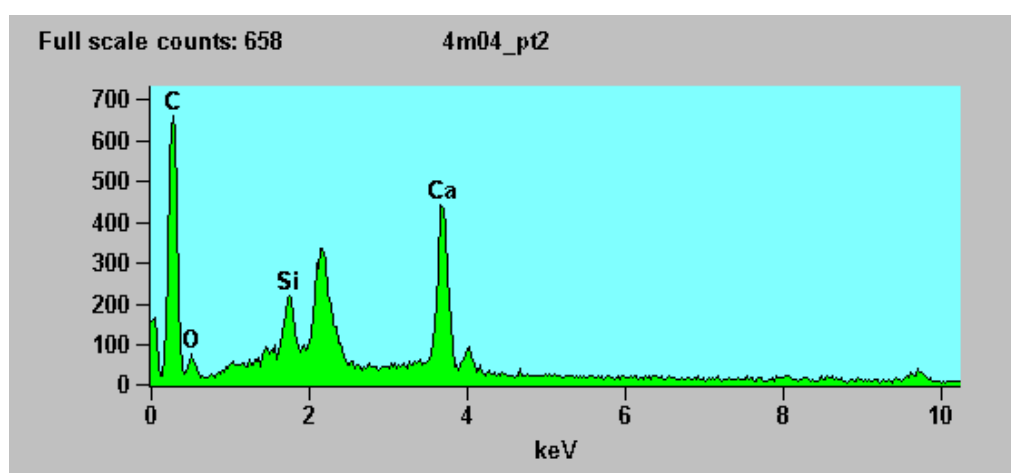


Figura 5.26 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração de Raio-X no ponto 2.

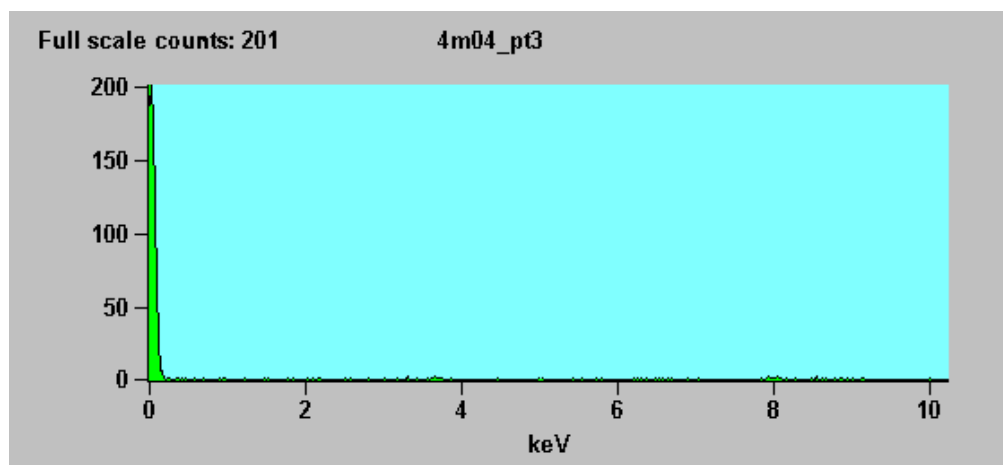


Figura 5.27 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração de Raio-X no ponto 3.

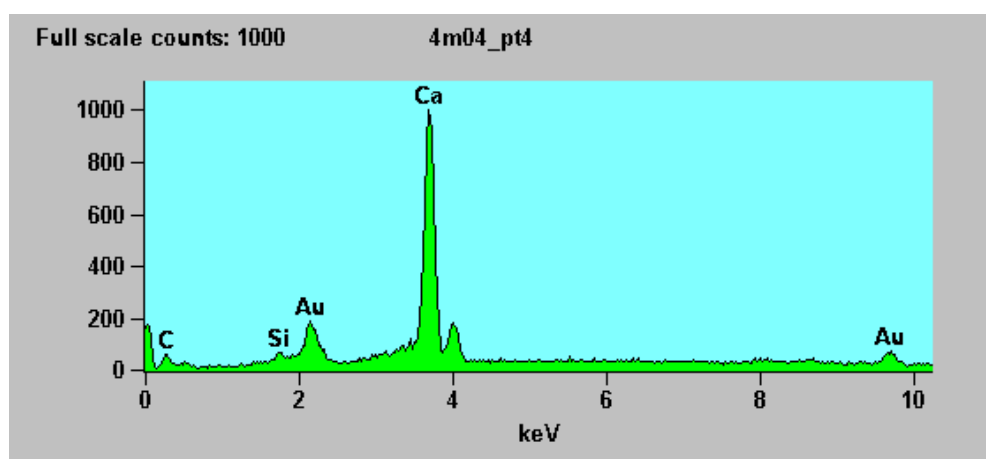


Figura 5.28 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração de Raio-X no ponto 4.

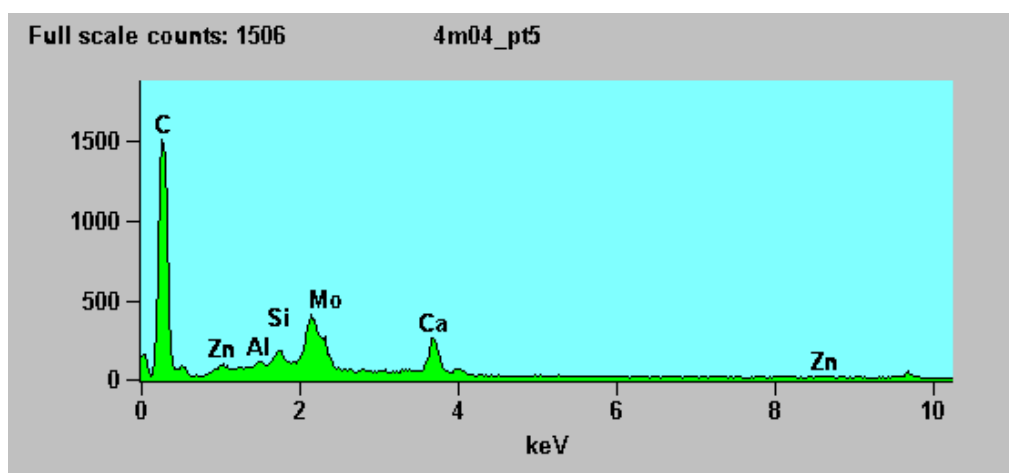


Figura 5.29 – Gráfico analítico dos elementos químicos através de difração de Raio-X no ponto 5.

Tabela 5.11 – Análise da amostra M com tratamento, difratrômetro de raio-X.

Weight Concentration %										
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Mo	Au
4m04_pt1	66.25	11.21	0.52	1.35	3.07	16.07	1.53			
4m04_pt2	84.56	5.17			1.63	8.64				
4m04_pt4	21.98				0.38	38.74				38.90
4m04_pt5	95.77			0.13	0.69	2.64		0.77	0.00	
Weight % Error										
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Mo	Au
4m04_pt1	±1.33	±1.26	±0.06	±0.12	±0.13	±0.30	±0.16			
4m04_pt2	±1.09	±0.77			±0.09	±0.22				
4m04_pt4	±1.57				±0.06	±0.62				±4.42
4m04_pt5	±0.84			±0.03	±0.05	±0.11		±0.16	±0.00	
Atom Concentration %										
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Mo	Au
4m04_pt1	80.81	10.27	0.31	0.73	1.60	5.87	0.40			
4m04_pt2	92.19	4.23			0.76	2.82				
4m04_pt4	60.85				0.45	32.13				6.57
4m04_pt5	98.68			0.06	0.31	0.81		0.15	0.00	
Atom % Error										
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Mo	Au
4m04_pt1	±1.62	±1.16	±0.04	±0.06	±0.07	±0.11	±0.04			
4m04_pt2	±1.19	±0.63			±0.04	±0.07				
4m04_pt4	±4.34				±0.07	±0.52				±0.75
4m04_pt5	±0.87			±0.01	±0.02	±0.03		±0.03	±0.00	
Compound Concentration %										
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Mo	Au
4m04_pt1	66.25	11.21	0.52	1.35	3.07	16.07	1.53			
4m04_pt2	84.56	5.17			1.63	8.64				
4m04_pt4	21.98				0.38	38.74				38.90
4m04_pt5	95.77			0.13	0.69	2.64		0.77	0.00	

5.3 Propostas de novas tipologias e materiais

O Sistema Construtivo BOM-PLAC, é aplicado para habitações de interesse social e reduz o impacto ambiental dando destino ao pneu inservível, e ao mesmo tempo propondo uma alternativa de material para construção civil.

5.3.1 Tipologia para placa

O estudo em desenvolvimento, busca propor novas tipologias de placas vazadas, com dimensões (53 x 90 x 10 cm) e que poderão apresentar as mais variadas formas de furos, conforme as Figuras 5.30 e 5.31.

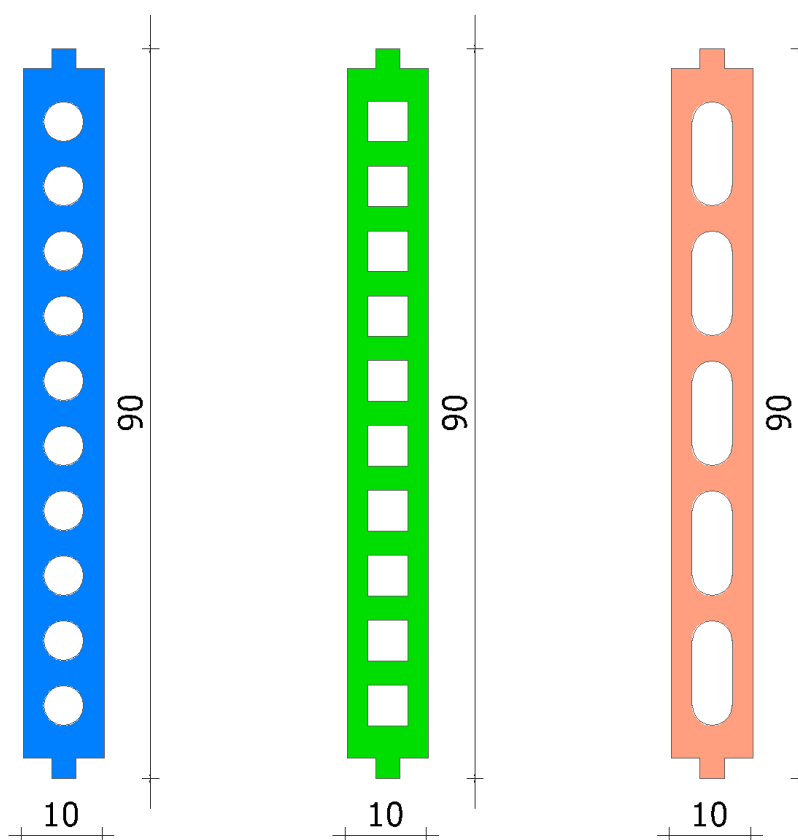


Figura 5.30 – Tipologias de placas vazadas.

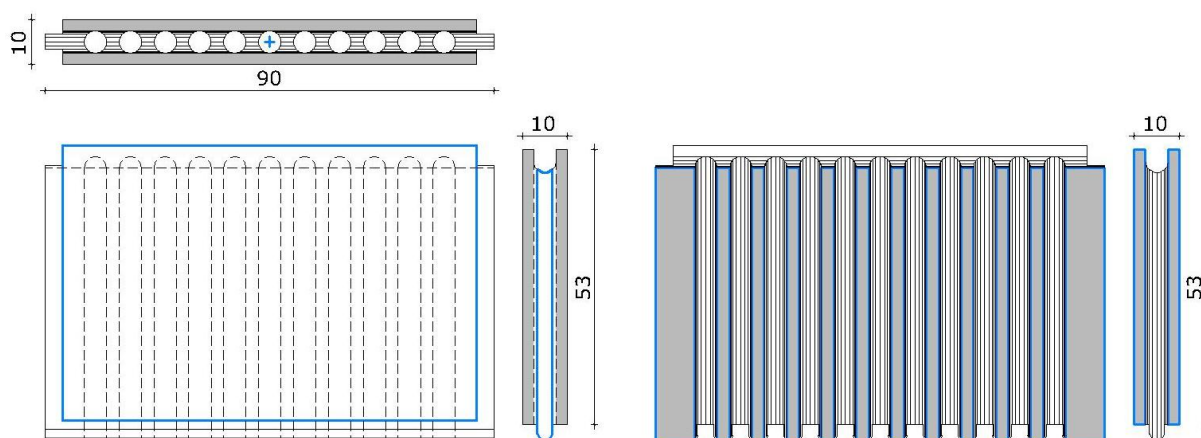


Figura 5.31 – Planta baixa e cortes da tipologia de placa vazada.

5.3.2 Tipologia habitacional

Outra tipologia habitacional desenvolvida para uma maior diversificação do sistema construtivo BOM-PAC aprimorado é a proposta de manter a mesma modulação original, onde contempla o mesmo tamanho do sanitário do projeto piloto, integrando com outros compartimentos, conforme ilustram as Figuras 5.32 a 5.39.



Figura 5.32 – Planta Baixa.

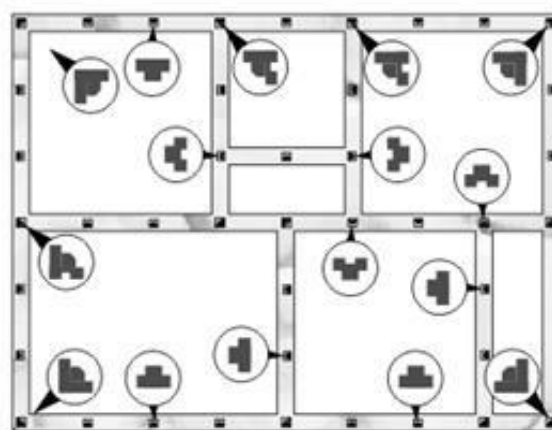


Figura 5.33 – Detalhamento dos pilares.



Figura 5.34 – Fachada e vista lateral esquerda



Figura 5.35 – Fachada e vista lateral direita



Figura 5.36 – Fundos e vista lateral direita



Figura 5.37 – Fundos e vista lateral esquerda



Figura 5.38 – Vista superior-fundos.



Figura 5.39 – Vista superior-frente.

5.3.3 Fossa séptica multifuncional

O material composto de concreto com adição de resíduos de borracha de pneus inservíveis pode ter aplicações para outros produtos como: tubos, fossas sépticas, filtros anaeróbios, etc.

Neste trabalho é proposta a utilização do concreto com resíduo de borracha de pneu inservível no projeto de fossa multifuncional, ou seja, a forma que confecciona a fossa é a mesma que é utilizada para produzir o filtro anaeróbio. Pode-se verificar através das Figuras 5.40 a 5.43, como exemplos eficazes de contribuição no tratamento do esgoto cloacal residencial.

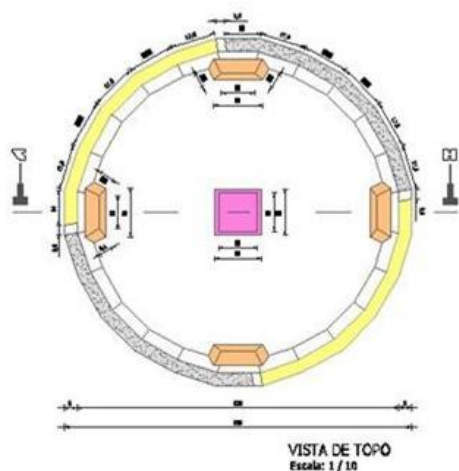


Figura 5.40 – Planta baixa da fossa séptica

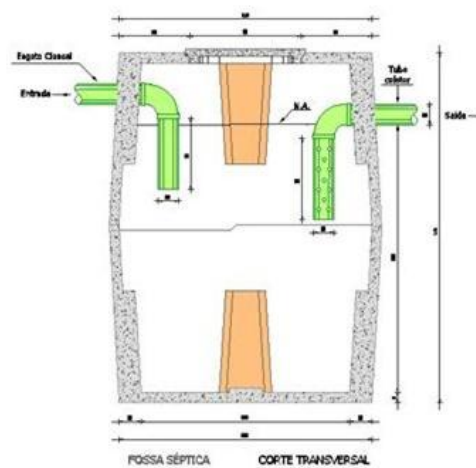


Figura 5.41 – Corte da fossa séptica

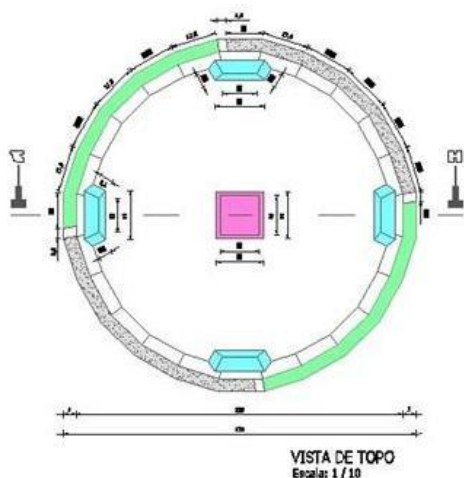


Figura 5.42 – Planta baixa do filtro anaeróbio

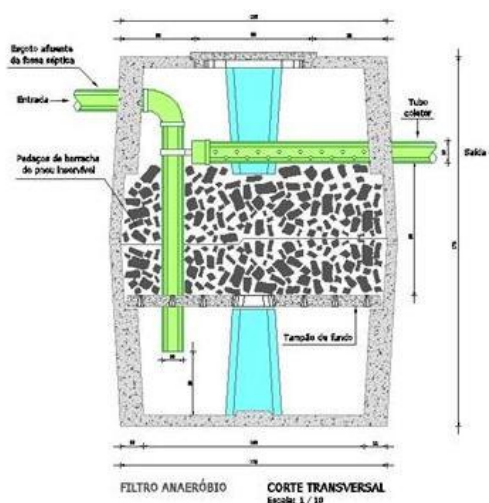


Figura 5.43 – Corte do filtro anaeróbio

5.3.4 Sumidouro

Outro destino para os pneumáticos inservíveis inteiros poderá ser o uso dos mesmos como sumidouros, conforme ilustra a Figura 5.44.

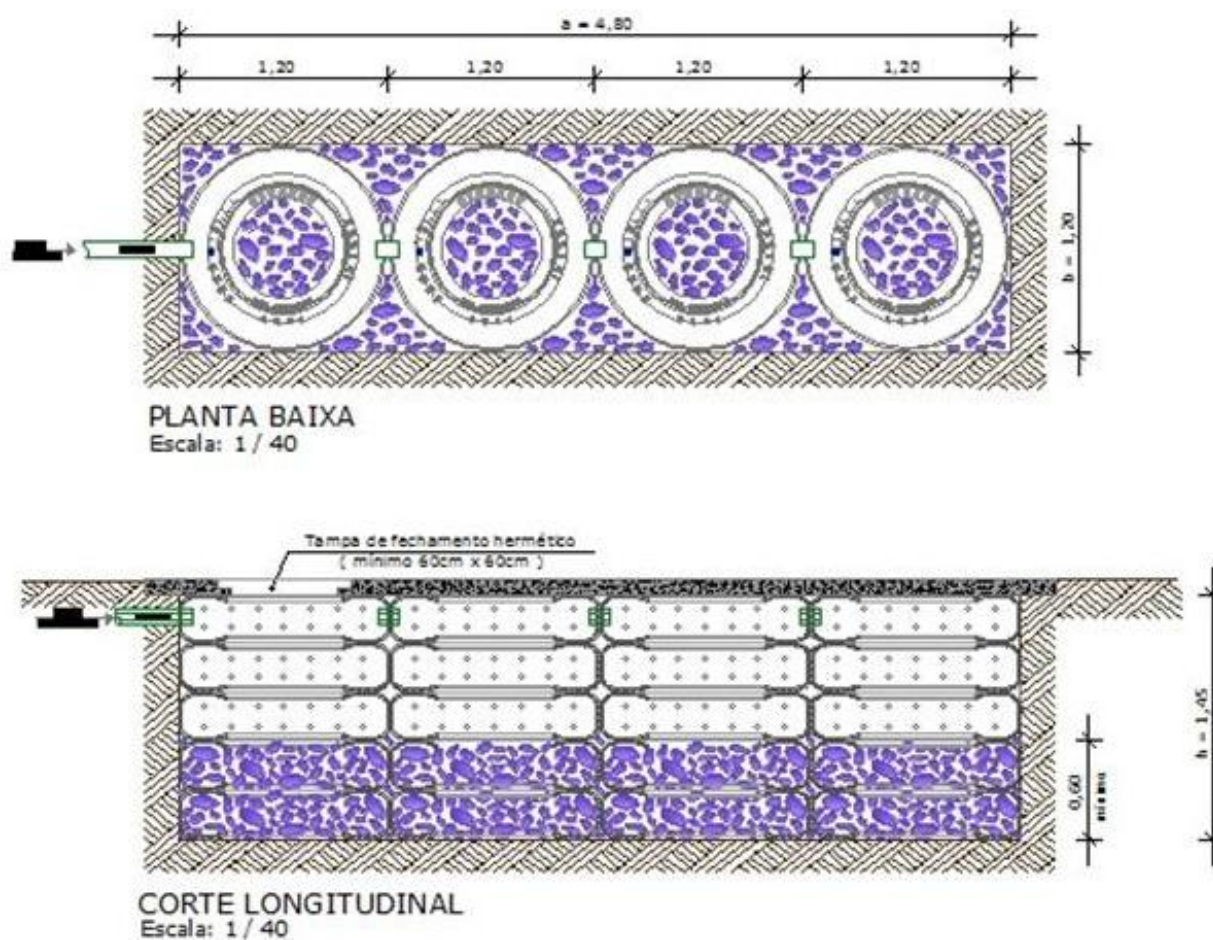


Figura 5.44 – Planta baixa e corte do sumidouro de pneus

6 CONCLUSÃO

O traço 1:2:0,5 (cimento CP-V, areia e borracha), para confecção das placas de 3 cm de espessura, foi o que apresentou um melhor desempenho, pois obteve-se um bom equilíbrio entre a resistência à compressão e o baixo consumo de cimento, propiciando também um bom acabamento na superfície da placa pré-moldada. Outro aspecto importante na questão do traço, foi que observou-se que na medida que o percentual de borracha utilizado era aumentado, a resistência diminuía.

Nas placas de 5 cm de espessura houve a inclusão de mais um componente no traço, a brita nº 1 de basalto, modificando-se o traço para 1:2:0,5:2 (cimento CP-V, areia, borracha e brita nº 1) constatou-se o aumento de resistência à compressão, (14,38 MPa) com valores superiores aqueles obtidos no traço anterior (12,72 MPa), que utilizava somente cimento, areia e borracha.

Nos ensaios de lixiviação e solubilização, conforme a NBR 10006, nas amostras sem brita, os resultados dos testes de solubilidade comprovaram que todos os elementos, metais pesados, de todas as amostras, com exceção do Al, se encontraram abaixo do limites estabelecidos na NBR 10006. O alumínio é um dos componentes do cimento, dessa forma, as concentrações de alumínio estavam relacionadas ao pH deste ensaio.

Nos testes de lixiviação e solubilidade, no traço com brita nº 1, também foi comprovado que o compósito não lixívia nenhum contaminante para o meio ambiente, e que suas concentrações estavam abaixo do limite máximo estabelecido pela norma.

Outro fato comprovado foi que o uso da borracha tratada como agregado fino não acrescentou nenhuma melhoria significativa nas propriedades mecânicas analisadas dos concretos confeccionados.

Pela microscopia eletrônica constou-se que o compósito formado por cimento, areia e resíduo de borracha tratada com Soda Cáustica (NaOH) 1M apresentou uma maior aderência entre a borracha e a matriz de cimento.

Da mesma forma o concreto com resíduo de borracha tratada com 1M de Soda Cáustica (NaOH) comprovou uma melhor interação entre a borracha tratada e

a matriz de concreto, pois a ausência de espaços vazios entre os componentes, foi a prova irrefutável da aderência mais eficaz, diagnosticada pelo microscópio eletrônico de varredura.

O Sistema Construtivo BOM-PLAC, é uma alternativa para reduzir o impacto ambiental, agregando valor ao resíduo de pneu inservível, atitude ecologicamente correta, ao mesmo tempo promovendo a construção de habitações de interesse social, que concomitantemente resgata a cidadania e a dignidade daquelas pessoas excluídas, que não foram oportunizadas e ficaram a margem da sociedade brasileira.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

O estudo de novas tipologias de placas vazadas com espessura mínima 10 cm e que poderão apresentar os mais variados formatos de furos.

Desenvolver tipologias habitacionais do sistema construtivo BOM-PLAC com placas vazadas com espessura mínima de 10 cm, para diferentes situações urbanas, em relação ao tamanho do terreno.

Avançar na pesquisa do concreto com adição de resíduo de borracha de pneu inservível para fabricação de fossas sépticas, filtros anaeróbios, tubos, bloquetes, etc.

Testar o uso do pneu inservível inteiro como material alternativo e ecológico, na construção de sumidouro, após tratamento do esgoto cloacal na fossa séptica e filtro anaeróbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. Gestão habitacional e mutirão. I: MUTIRÃO HABITACIONAL: CURSO DE FORMAÇÃO EM MUTIRÃO, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP; Politécnico di Torino; ASTAC, 1996.

_____. O papel do Estado na habitação. Programa de Tecnologia de Habitação. **Revista Habitare**. Entrevistas. Disponível em <<http://habitare.infohab.org.br/habitare.htm>> . Acesso em novembro de 2003.

ALBURQUERQUE, A. C. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu**. Porto Alegre, 2009. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ALBURQUERQUE, A.C; ANDRADE M. A. S.; NETO, MOMS; CORREA M.I.F.; CARDOSO C.G.; MACEDO D.C.B.; CALMON J.L. **Concreto com borracha de pneu: uma revisão bibliográfica**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002.

ALVARENGA, A. **Habitação em estrutura de aço leve e componentes reciclados: um ensaio projetual**. 2002, 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2002.

AQUINO, C.M.B. **Co-incineração de pneus com resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Química Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND –. **Mãos à Obra**. Disponível em <<http://www.abcp.com.br>>. Acesso em agosto de 2005.

_____. Manual Técnico para Implementação. **HABITAÇÃO 1.0**®. Bairro Saudável. População Saudável. São Paulo, SP. Setembro de 2002. 88p.

_____. **Metodologia em Execução – Passo a Passo para construir alvenarias de blocos vazados de concreto**. São Paulo, SP. 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 68**: Concreto - Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff, Rio de Janeiro, 1998.

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

_____. **NBR NM ISO 3310-2**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada (ISO 3310-2:1999, IDT), Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduo sólido, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas, Rio de Janeiro, 2008.

BARROS, M.S.B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. 442 f. Tese (Doutorado em engenharia de Construção Civil Urbana) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BARTH, F.; CONTI, L. H. L. **Habitação popular de interesse social com madeira de reflorestamento**. In: Congresso Brasileiro sobre Habitação Social – Ciência e Tecnologia, 1., 2003. CTHAB – Brasil, Florianópolis, SC.

BISILLIAT-GARDET, J. **Mutirão: utopia e necessidade**. São Paulo: Secretária Municipal de Cultura e Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento em Cooperação, 1995. 138 p.

BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998. 324 p.

BRANDÃO, D. Q. Personalização do Produto Habitacional: novas demandas e respostas das tecnologias de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002. CD-ROM.

CARDOSO, L. R. A. **Construção Habitacional por mutirão – caracterização, gerenciamento e custos**. 1993, 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CARDOSO, A. L.; RIBEIRO, L. C. Q. Os municípios e as políticas habitacionais. In: ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Coletânea HABITARE**, v. 1. Porto Alegre: ANTAC, 2001. p. 14-33.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO – CDHU. **Caderno de Tipologias**. São Paulo, SP. Fevereiro de 1997. 41p.

CONCILIO, V. P. **Mutirão habitacional: adequação de processos e sistemas construtivos**. 1998, 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil e Urbana. São Paulo, SP, 1998.

CUNHA, R. M.; SZÜCS, C. P. **Tipologias habitacionais aplicadas à habitação de interesse social**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. In: Congresso Brasileiro sobre Habitação Social – Ciência e Tecnologia, 1., 2003. CTHAB – Brasil, Florianópolis, SC.

Déficit Habitacional no Brasil 2000 / Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2001, 203p.

FELIPE, J. P. Menos mutirão, mais autogestão. In: **MUTIRÃO HABITACIONAL: CURSO DE FORMAÇÃO EM MUTIRÃO**, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP; Politécnico di Torino, ASTAC, 1996. 1 CD-ROM.

FERNANDES, L. C. Utilização de Equações Preditivas Para Estimativa da Temperatura Interna de Edificações de Interesse Social. Curitiba, 2005. 187 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.

FINEP – GAP. **Habitação Popular/Inventário da Ação Governamental**. São Paulo: São Paulo Editora, 1985, 202p.

FREITAS, C. G. L. **Habitação e Meio Ambiente**: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2001.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil**. Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2011. 141p.

FURNAS – Centrais Elétricas S/A. **Avaliações de Sistemas Construtivos e Estabelecimentos de Requisitos para Edificações Térreas com Paredes de Concreto Celular**. Goiânia, GO. Dezembro de 2003. 298p.

GAMA, R. **A tecnologia e o trabalho na história**. São Paulo: FAUUSP, Tese (Livre Docência). 1987.

GARCIA, F.; DIAS, E. C. Rumo a 2020: a demanda por moradias e o efeito do crescimento economic. **Conjuntura da Construção**, v. 5, n. 4, p. 15-17, 2007.

GALVÃO, J. C. A. **Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas**. Curitiba, 2010. 148f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GRIFFITH, A. Buidability – **the effect of design and management on construction**. In: *Advancing Building Technology*, 10., Gaithersburg (EEUU) CIB/NBS, 1986. **Anais...** v.8, p. 3504-35-12.

GOMES, E.P.P. **A política habitacional brasileira e a expectativa de produtividade do capital na produção de unidades habitacionais**. 1993. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GUIMARÃES, V. M. B. C. Q. **A Linguagem da Imagem Digital: o desenho da casa na autoconstrução**. Campinas, 2005. 233 F. Dissertação (Mestrado em Multimeios) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, SP, 1998.

IPT / FINEP. **Catálogo de processos e sistemas construtivos para habitação**. São Paulo, SP, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 140**: Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements. Part 3, 1995.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 200.

KÖHLER, A. L. **Habitações Populares Construídas com Placas Cimentícias com Adições de Borracha de Pneus**. Santa Maria, 2010. 134 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

LEVISON, L. **Visão sistêmica das possibilidades e limitações do uso de componentes pré-moldados e industrializados na autoconstrução**. In: PRÉ-MOLDADOS E AUTOCONSTRUÇÃO: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DOS PRÉ-MOLDADOS E AUTOCONSTRUÇÃO, São Paulo, 1995. **Anais ...** São Paulo: FAU / USP, 1995. p. 41-44.

MACEDO, D.C.B. de. **Estudo da viabilidade técnica de placas pré-moldadas utilizando borracha de pneu em matrizes cimentícias**. 2005. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil da EEC / UFG) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2005.

MANUAL SAHARA – Indústria e comércio de máquinas e equipamentos Ltda. **O tijolo ecológico e o sistema construtivo modular**. São Paulo, SP, 2000, 36p.

MARTUCCI, R. **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?**1990. 438f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994.,294f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELLO, C. W. de. **Avaliação de Sistemas Construtivos para Habitações de Interesse Social.** Porto Alegre, 2004.171 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

O'CONNOR, J. T.; DAVIES, V. S. Constructability improvement during field operations.**Journal of construction engineering and management**, v.114, nº 4, p. 462-75.December, 1988.

PERES, A. B. **Tipologias habitacionais: reflexões metodológicas.** Arquitetura e Urbanismo – UNISUL. In: Congresso Brasileiro sobre Habitação Social – Ciência e Tecnologia, 1., 2003. CTHAB – Brasil, Florianópolis, SC.

PICARELLI, M. **Habitação, uma interrogação.** São Paulo, FAU / USP, 1986.

PIRES, I. B. A. **A atualização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares.** 2004, 55f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Universidade Salvador – UNIFACS. Salvador, Bahia, 2004.

POLL, B. J. **Análise da isolamento acústica em parede de habitação popular executada com resíduos de pneus.** Santa Maria, 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

REZENDE, M. A. P. et al. **Barreiras e Facilitadores da Inovação Tecnológica na Produção de Habitações Populares.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. CD-ROM. p. 895-904.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia.** 1989, 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, M. D. F. dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso.** Santa Maria, 1998. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas.** Alagoas. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, 2005.

SATLER, M. A. et al. Aplicação de tecnologias sustentáveis em um conjunto habitacional de baixa renda. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Rocha, J. C.; John, W. M. **Coletânea HABITARE**, v. 2. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 40-67.

SAYEGH, S. Revolução industrial. **Téchne**, São Paulo, n. 69, p. 44-48, 2002.

SEGRE, N.C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento.** Campinas. 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, São Paulo, 1999.

SEGRE, N., JOEKES I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. **Cemente and Concrete Research**. 2000, p. 1421-1425.

SILVA, R. D. **Estudo de desempenho de casas de madeira de interesse social na região de Londrina.** São Carlos. 2000, 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2000.

SOARES, J. M. D. **Projeto Habitare. Desenvolvimento de habitações de caráter social utilizando bloco cerâmico.** Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Ed. Santa Maria, 2000, 78p.

_____. **Construção de Habitações de Caráter Social.** Relatório final de pesquisa. FINEP, 2004.

_____. **Inovação tecnológica em habitações de interesse social.** Santa Maria, 2007. 93 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – PPGEC / Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007, 91.p.

SOARES, J. M. D. Construção de Habitações de Caráter Social. Relatório final de pesquisa. FINEP, 2004.

SOARES, J. M. D. et al. Construção de habitações de interesse social. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Bonin, L. C.; Amorim, S. R. L. de. **Coletânea HABITARE**. v. 6. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 160-187.

SOARES, J. M. D. ;SANTOS,M.D.F. dos. Aprimoramento tecnológico de habitações populares construídas com materiais alternativos. Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. In: Barboza,A.S.R.; Savastano,H. **Coletânea HABITARE**. v.8. Porto Alegre: ANTAC, 2009. p.61-89.

SZÜCS, C. P. **I Congresso Brasileiro sobre Habitação Social – Ciência e Tecnologia, 2003**. CTHAB – Brasil, Florianópolis, SC.

SZÜCS, C. P.; SZÜCS, C. A.; BARTH, F. **Projeto Stella-UFSC**: A Madeira de reflorestamento em proposta construtiva industrializada para habitação social. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE HABITAÇÃO SOCIAL – CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2003. CTHAB – Brasil, Florianópolis, SC.

REVISTA TÉCNICA. **Alvenaria de solo – cimento**. São Paulo: PINI. Abril, 2004, nº 85.

_____. **Casas instantâneas**. São Paulo: PINI, Outubro, 2003, nº 79.

_____. **Concreto celular para habitação de interesse social**. São Paulo: PINI, Agosto, 2004, nº 89.

RODRIGUES, P. F. **Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias**. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2004. 14p.

VALLADARES, L. Políticas alternativas de habitação popular. **Espaço & Debates**, São Paulo, v. 5, n. 16, p. 33-51, 1985.

ZENHA, R. M. **Catálogo de processos e sistemas construtivos para habitação**. São Paulo: IPT, 1998. 167 p.