

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

MAURO SOUZA REIS

**O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DE POLIETILENO DE BAIXA
DENSIDADE NA PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS**

São Luís - MA

2019

MAURO SOUZA REIS

**O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DE POLIETILENO DE BAIXA
DENSIDADE NA PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal do Maranhão, UFMA – Campos Bacanga para obtenção do Grau de Mestre em Design.

Área de concentração: Design de Produtos. Linha de pesquisa: Materiais, processos e tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

São Luís - MA

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Reis, Mauro Souza.

O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DE POLIETILENO DE
BAIXA DENSIDADE NA PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS /
Mauro Souza Reis. - 2019.

108 f.

Orientador(a): Denilson Moreira Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
Universidade Federal do Maranhão, 2019.

1. Design. 2. Ladrilho Hidráulico. 3. Resíduos
Sólidos. I. Santos, Denilson Moreira. II. Título.

MAURO SOUZA REIS

**O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DE POLIETILENO DE BAIXA
DENSIDADE NA PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Design do Programa de Pós-Graduação em Design, pela Universidade Federal do Maranhão, UFMA – Campos Bacanga.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

Banca examinadora

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos - (Orientador)
Doutorado em Química pela UNESP

Prof. Dra. Raquel Gomes Noronha
Doutorado em Ciências Sociais pela UERJ

Prof. Dr. Wener Miranda Santos
Doutorado em Engenharia Química pela UFCG

Dra. Ingrid Gomes Braga
Doutorado em Conservação e Restauração de Bens Culturais pela UPV

São Luís – MA

2019

Dedico este trabalho à minha amada mãe (In Memoriam)

*“Hoje me sinto mais forte
Mais feliz, quem sabe
Só levo a certeza
De que muito pouco sei
Ou nada sei”*

(Almir Sater e Renato Teixeira)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos ao me dar saúde, resiliência e superação para superar os desafios e alcançar êxito neste trabalho.

À Universidade Federal do Maranhão e aos professores do Programa de Pós-graduação em Design pela oportunidade de realizar este aperfeiçoamento profissional e pessoal do mestrado.

Ao professor Dr. Denilson Moreira Santos pela orientação, as professoras Dra. Raquel Noronha e Dra. Ingrid Braga, e ao professor Dr. Wener Santos, pelas contribuições na banca avaliadora do trabalho.

À minha família e parentes, gratidão em especial a minha tia Jane e tio Carlos, por estenderem as mãos em um momento muito delicado da minha vida, acreditando e me proporcionando a oportunidade de criar uma nova jornada, uma nova história.

À namorada e amigos de mestrado, por aturarem os meus momentos de altos e baixos, risadas e estresses, e mesmo assim ajudarem cada um a sua maneira.

Aos ladrilheiros, Senhor Martinho por ser tão solícito em colaborar com teu conhecimento, saber e fazer, e aos demais, Silas, João, e Emídio, todos parceiros de bons momentos durante a pesquisa na fábrica. Agradeço também ao Senhor Joaquim, empresário da fábrica de ladrilhos, pelo aval em poder estar no local, colaborando para a pesquisa. À empresa Ripel Reciclagem, que me cedeu o resíduo para pesquisa.

As instituições Ceuma, Pitágoras, Faene, por cederem seus locais, bibliotecas, onde pude estudar e desenvolver meu trabalho.

À todos que de alguma forma, direta ou indireta, contribuíram para a conclusão da pesquisa.

À todos que fazem a diferença, em prol do bem, proporcionando ao próximo uma vida melhor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O meu obrigado.

RESUMO

A questão do lixo é um dos graves problemas ambientais na atualidade, pois o alto consumo e demanda de produção de artefatos pelas indústrias, acarreta no seu pós-consumo, a geração e o descarte inadequado dos resíduos sólidos, trazendo problemas para o meio ambiente e para a população, contudo, estudos apontam que tais resíduos estão sendo aproveitados no desenvolvimento de novos materiais e produtos. Com a ideia do desenvolvimento sustentável, o designer tem papel fundamental na criação de novos artefatos que minimizem os danos ao meio ambiente, e através da reciclagem ou reutilização dos resíduos urbanos, podem se enquadrar em uma das ações do plano de gerenciamento de resíduos, como uma eficiente ferramenta para a minimização desse cenário atual. A proposta da pesquisa estuda a viabilidade de produção de um revestimento da construção civil, o ladrilho hidráulico, mediante a substituição parcial da mistura de argamassa (areia e cimento) da camada inferior, por grãos do resíduo sólido, o polietileno de baixa densidade (PEBD), nos teores de 10, 20 e 30%. Para atingir os objetivos da pesquisa, foram realizados ensaios prescritos pela norma da ANBT NBR 9457:2013, responsável pela especificação e fabricação dos ladrilhos hidráulicos. A conclusão da pesquisa demonstrou que o uso de resíduo de polímero PEBD em substituição da argamassa na produção do ladrilho hidráulico tem potencial viabilidade produtiva em conformidade com a norma, favorecendo a redução no consumo de fontes naturais não renováveis.

Palavras-chaves: Design; Resíduos sólidos; Ladrilho Hidráulico

ABSTRACT

The issue of garbage is one of the serious environmental problems at present, because the high consumption and demand of production of artifacts by the industries, causes in its post-consumption, the generation and the inadequate disposal of the solid residues, bringing problems for the environment and for the population, however, studies indicate that such waste is being used in the development of new materials and products. With the idea of sustainable development, the designer plays a fundamental role in creating new artifacts that minimize damages to the environment, and through the recycling or reuse of urban waste, can fit into one of the actions of the waste management plan, such as an efficient tool for minimizing this current scenario. The research proposal studies the viability of the production of a construction coating, the hydraulic tile, by partially replacing the mortar mixture (sand and cement) of the lower layer with grains of the solid residue, low density polyethylene (LDPE), in the contents of 10, 20 and 30%. In order to reach the research objectives, the tests prescribed by ANBT NBR 9457: 2013, responsible for the specification and manufacture of the hydraulic tiles, were carried out. The conclusion of the research showed that the use of LDPE polymer residue in substitution of the mortar in the production of the hydraulic tile has potential productive viability in accordance with the norm, favoring the reduction in the consumption of natural non-renewable sources.

Keywords: Design; Solid wastes; Hydraulic tile

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos resíduos sólidos segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	33
Quadro 2: Resina, características e aplicações	39
Quadro 3: Requisitos gerais sobre materiais para a produção de ladrilhos	51
Quadro 4: Tipo, sigla e classes do cimento Portland	51
Quadro 5: Classificação do agregado.....	52
Quadro 6: Demais ferramentas.....	63
Quadro 7: Materiais utilizados.....	66
Quadro 8: Códigos dos ladrilhos hidráulicos.....	75
Quadro 9: Requisitos específicos	78
Quadro 10: Determinação Dimensional.....	79
Quadro 11: Tolerâncias dimensionais das peças	80
Quadro 12: Determinação da resistência à flexão	80
Quadro 13: Determinação do empenamento.....	84
Quadro 14: Determinação do esconsidade.....	85
Quadro 15: Determinação da ortogonalidade.....	86
Quadro 16: Determinação da inspeção visual.....	87
Quadro 17: Ensaio da determinação dimensional	91
Quadro 18: Ensaio de resistência à flexão.....	92
Quadro 19: Ensaio de empenamento.....	94
Quadro 20: Ensaio de esconsidade	95
Quadro 21: Ensaio de Ortogonalidade.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Insumos para o processo de design.....	25
Figura 2: Setores consumidores e principais resinas.....	38
Figura 3: Benefícios da reciclagem dos plásticos.....	43
Figura 4: Identificação e simbologia.....	44
Figura 5: Material Maderon.....	45
Figura 6: Tulip box.....	46
Figura 7: Esponja 3M.....	46
Figura 8: Blocos de Isopet.....	48
Figura 9: (a) Refugo de conchas (b) ladrilhos de conchas.....	49
Figura 10: (a) Resíduos locais (b) bloco feito de PEBD e areia.....	49
Figura 11: (a) Ladrilhos assentados (b) Ladrilhos empilhados.....	50
Figura 12: Ladrilheiros da fábrica.....	54
Figura 13: Ladrilho hidráulico.....	55
Figura 14: Cimento utilizado.....	66
Figura 15: Areia.....	67
Figura 16: Grãos de PEBD.....	67
Figura 17: Pigmentos.....	68
Figura 18: Substituição parcial da argamassa pelo resíduo.....	69
Figura 19: (a) Argamassa (b) Resíduo (c) Despejo (d) Mistura.....	75
Figura 20: Determinação dimensional do ladrilho.....	79
Figura 21: Esquema do ensaio de flexão de três pontos.....	81
Figura 22: Fracionamento dos ladrilhos.....	82
Figura 23: Máquina universal e corpo de prova sendo ensaiado.....	84
Figura 24: Teste do empenamento e calibre de lâminas.....	85
Figura 25: Teste de esconsidade.....	86
Figura 26: Teste de ortogonalidade.....	87
Figura 27: Teste de inspeção visual – face superior.....	88
Figura 28: Teste de inspeção visual – face inferior (LH – 10LH – 20LH – 30LH).....	88
Figura 29: Ladrilho 10LH (face superior e face inferior).....	89
Figura 30: Ladrilho 20LH (face superior e face inferior).....	89
Figura 31: Ladrilho 30LH (face superior e face inferior).....	90
Figura 32: Ladrilho LH (face superior e face inferior).....	90
Figura 33: 30LH2 não admitido.....	96
Figura 34: Camada inferior LH, 10LH e 20LH.....	98
Figura 35: Camada inferior 30LH.....	98

LISTA DE INFOGRÁFICO

Infográfico 1: Fluxo da reciclagem mecânica de materiais plásticos	43
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Traços para execução da argamassa para base de 328 g.....	74
Tabela 2: Código dos corpos de prova para o ensaio de flexão.....	83

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1: Processo de fabricação do ladrilho hidráulico.....	56
Fluxograma 2: Etapa 1 (1a - 1b - 1c -1d).....	57
Fluxograma 3: Etapa 1(1e - 1f - 1g)	58
Fluxograma 4: Etapa 2 (2a - 2b - 2c - 2d)	59
Fluxograma 5: Etapa 2 (2e - 2f - 2g - 2h)	60
Fluxograma 6: Etapa 2 (2i - 2j - 2k - 2l)	61
Fluxograma 7: Etapa 3 (3a - 3b - 3c - 3d e 3e).....	62
Fluxograma 8: Metodologia – Etapas.....	70
Fluxograma 9: Etapa A (A1 – A2 – A3 – A4 – A5).....	71
Fluxograma 10: Etapa B (B1 – B2 – B3 – B4)	73
Fluxograma 11: Etapa C (C1 – C2 – C3 – C4).....	74
Fluxograma 12: Etapa D (D1 – D2 – D3 – D4).....	76
Fluxograma 13: Etapa E (E1 – E2 – E3)	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileiras de Normas Técnicas
ABRE	Associação Brasileira de Embalagem
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
EPS	Poliestireno Expansível
EVA	Espuma vinílica acetinada
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LH	Ladrilho hidráulico puro
10LH	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD
20LH	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD
30LH	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD
NBR	Norma Brasileira
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PET	Poli tereftalato de etileno
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular
PEUBD	Polietileno de ultra baixa densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Poli cloreto de vinila
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SINDIPLAST	Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de São Paulo
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
WDO	World Design Organization

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos	21
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	21
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	21
1.2 Justificativa	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1 Design, sustentabilidade e materiais	24
2.2 Resíduos Sólidos	28
2.2.1 <i>Classificação dos resíduos</i>	32
2.2.2 <i>Plano Nacional de Resíduos Sólidos</i>	34
2.3 Polímeros	35
2.3.1 <i>Classificação dos Polímeros</i>	36
2.3.2 <i>O Plástico no Brasil</i>	37
2.3.3 <i>O Polietileno de baixa Densidade - PEBD</i>	38
2.3.4 <i>Impacto do plástico no meio ambiente</i>	39
2.4 A reciclagem	41
2.4.1 <i>Reciclagem do plástico</i>	43
2.4.2 <i>A reciclagem aplicada à produtos – novos materiais</i>	44
2.4.3 <i>A reciclagem entre materiais poéricos e cimentícios</i>	47
2.5 Os ladrilhos hidráulicos	49
2.5.1 <i>Processo produtivo do ladrilho hidráulico</i>	53
3. MATERIAIS E MÉTODOS	64
3.1 Delineamento da pesquisa	64
3.1.1 <i>Pergunta da pesquisa</i>	64
3.1.2 <i>Hipóteses e Variáveis</i>	64
3.1.3 <i>Tipo de Pesquisa</i>	64
3.2 Materiais	65
3.3 Métodos	68
3.4 Ensaios	77
3.4.1 <i>Dimensões e tolerâncias</i>	78
3.4.2 <i>Resistência à flexão</i>	80
3.4.3 <i>Empenamento</i>	84
3.4.4 <i>Escondidade</i>	85

3.4.5	<i>Ortogonalidade</i>	86
3.4.6	<i>Inspeção visual</i>	87
4.	RESULTADOS E ANÁLISE	89
4.1	Dimensões e tolerâncias	90
4.2	Resistência à flexão	92
4.3	Empenamento	94
4.4	Escondidade	94
4.5	Ortogonalidade	95
4.6	Inspeção visual	97
4.7	Análise	98
	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS	102

1. INTRODUÇÃO

O designer materializa ideias, conceitos, desenhos e projetos que são realizados através dos materiais. Ashby e Johnson (2010) consideram que os materiais são a matéria-prima do design, e comentam que através da história, ditaram as oportunidades do design. Explicam que nos dias atuais se estuda uma diversidade de materiais e das combinações que eles permitem, e que nunca houve uma era na qual a evolução dos materiais tenha sido tão rápida.

Com o avanço da ciência e da tecnologia, surgiram e continuam surgindo inúmeros novos materiais. Para Beylerian e Dente (2007) os materiais têm a capacidade para modificar o design, e o design, a força de transformação da vida, do que nos cercam. Porém, para que o designer obtenha melhores resultados no desenvolvimento de produtos e possua mais alternativas e possibilidades no teu trabalho, é necessário um conhecimento não apenas de materiais, é importante saber sobre os processos de fabricação (LESKO 2004; FERRANTE E WALTER 2010).

A inovação no design pode ser criada a partir dos materiais, ou podem ser desenvolvidos novos materiais para atender a determinadas soluções de design. Os materiais são um dos pontos fortes que podem conferir a relação mais adequada entre os recursos ambientais e o sistema produtivo, promovendo o desenvolvimento sustentável, podendo colaborar para a diminuição ou controlar os impactos de ordem ambiental, econômico, social.

Conforme Manzini e Vezzoli (2002), o design para a sustentabilidade tem o sentido em promover a capacidade do sistema produtivo em conferir o bem estar, usando uma quantidade de recursos ambientais menores aos níveis atuais. Para Ribeiro e Morelli (2009), o desenvolvimento tecnológico levou à intensificação dos materiais descartáveis, o que ocasionou uma enorme quantidade de resíduos gerados e não utilizados, provocando contaminação ao meio ambiente, riscos à saúde humana, entre outros. Santos e Belline (2013, p.228), destaca que “quanto mais os seres humanos consomem, mais devastam a natureza e mais produzem pilhas de lixo”, e frisam que no entanto as pessoas, órgãos, nem sempre sabem o que fazer com ele.

Foi através da gestão integrada de resíduos sólidos, que se instituiu uma melhor maneira de administração do sistema de limpeza pública, vindo a garantir uma forte participação dos setores da sociedade em prol de garantir um melhor

desenvolvimento sustentável, incluindo de forma mais completo, as dimensões ambientais, sociais, econômicas, culturais e políticas. Os objetivos são: redução ao mínimo a geração de resíduos, aumentar a reutilização e reciclagem, além de proceder o depósito e tratamento ambientalmente adequados (GONÇALVES 2011).

E por intermédio da lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, prevendo a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos num amplo processo de mobilização e participação social. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos contempla a problemática dos diversos tipos de resíduos gerados, as alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implementação, planos de metas, programas, projetos e ações correspondentes.

Dentre as ações que compõem a PNRS, uma importante conduta a ser adotada para um melhor desenvolvimento sustentável, diretriz da lei é o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados, a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Os materiais plásticos vêm substituindo cada vez mais os tradicionais, aço, madeira, vidro, podemos citar a porcentagem de materiais plásticos nos automóveis e na construção civil que gradativamente substituem a madeira. As crescentes aplicações dos materiais plásticos no setor de embalagens de rápido descarte têm proporcionado um grande aumento destes materiais nos resíduos sólidos urbanos, domésticos e industriais.

O setor de embalagens é responsável pelo consumo de cerca de 40% do material plástico produzido no mundo, conforme ABIPLAST (2017). Pelo alto consumo de materiais plásticos, o mesmo se torna um dos materiais mais descartados, constituindo grande proporção na geração de resíduos sólidos urbanos, e pensar na destinação adequada e aproveitar tal material, surge como uma alternativa para a diminuição deste resíduo no meio ambiente, contribuindo conforme as diretrizes da PNRS.

Impactos causados ao meio ambiente são relatados por diversos autores, tais como Thompson et al. (2009), informam que os plásticos são facilmente transportados a longas distâncias das áreas de origem pelo vento ou carregados pela água, acumulando-se principalmente nos oceanos, onde podem acarretar uma variedade de impactos ambientais e econômicos, e a ingestão destes resíduos

parecem ser particularmente uma problemática para animais que confundem o plástico com alimentos.

Magrini (2012), destaca ainda imagens negativas dos plásticos, por gerar um grande volume no lixo urbano através das embalagens, e que devido à sua característica de baixa degradabilidade, contribui pela imagem ecologicamente negativa dos plásticos, e por isso são o principal foco de incentivos e diretrizes para a reciclagem dos mesmos.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico ABIPLAST (2017), os polímeros mais consumidos atualmente são: Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidade (PEAD), Poli(cloreto de vinila) (PVC), Polietileno de baixa densidade (PEBD). Para o estudo da presente pesquisa, o material selecionado foi o Polietileno de baixa densidade (PEBD), material com alta aplicação e consumo, como nas embalagens, sacolas, garrafas, tampas, películas, tubulações, entre outros, conforme Magrini (2012).

Diante desse cenário dos descartes de embalagens plásticas, causadores de impactos ambientais, se torna importante ressignificar este material, utilizando o material descartado como uma alternativa para desenvolvimento de novos produtos, e a reciclagem é uma forma de ação para tal. A reciclagem é um dos indicadores de desenvolvimento sustentável da dimensão econômica e é apontada como uma atividade-chave para solucionar o problema da destinação inadequada dos resíduos sólidos (IBGE, 2012).

Foi a partir da Segunda Guerra Mundial, que se intensificou a substituição de materiais como madeira, metais e vidro por polímeros, tendência que persiste até hoje (ALLWOOD; CULLEN, 2012). A crescente preferência na utilização de polímeros em substituição aos materiais tradicionalmente utilizados se deu por diversos motivos, dentre os quais se destacam baixo custo, versatilidade e leveza (JULIER, 2013).

Os produtos que surgem dessa tendência são os multi-materiais, ou compósitos. Tais produtos são definidos como aqueles que possuem uma associação de materiais dispostos de uma maneira previamente definida, ou seja, mais de um material em um mesmo componente (KROMM et al., 2007).

De acordo com Ashby e Johnson (2010), os compósitos baseados em polímeros são os que crescem mais rapidamente no mercado de materiais estruturais e de decoração.

Na pesquisa, a ideia se tratou de unir dois materiais, o resíduo do polímero polietileno de baixa densidade (PEBD), juntamente com a argamassa (areia e cimento) que compõem o ladrilho hidráulico, um produto cimentício utilizado para pavimentação e revestimento de ambientes.

O ladrilho hidráulico conforme Cavalli e Valduga (2006) pode ser definido como um revestimento composto de concreto prensado usado para revestir ambientes internos ou externos. Para a pesquisa, foram feitas visitas em uma fábrica de ladrilhos situada na cidade de São Luís do Maranhão, observando e coletando dados da produção, juntamente com os ladrilheiros.

A metodologia utilizada parte de pesquisas feitas com a substituição de um material por outro alternativo, aqui no caso, na substituição parcial da argamassa que compõe o ladrilho hidráulico, pelos grãos do resíduo de PEBD em teores percentis de 10, 20 e 30%, gerando um compósito na união entre o material cimentício e polimérico.

Foram realizados ensaios exigidos pela norma da ABNT NBR 9457:2013 que prescreve todos os requisitos para a produção do ladrilho hidráulico, verificando a viabilidade da produção do artefato adicionado com o resíduo, e se os mesmos estão em conformidade com a norma vigente.

Verificou-se a viabilidade produtiva do ladrilho em conformidade com a norma, gerando contribuição positiva no desenvolvimento sustentável, uma alternativa para o benefício e redução do impacto ambiental, aproveitando e reciclando um material que apresenta descarte inadequado no meio ambiente, reduzindo o uso de recursos naturais como a areia, em substituição do resíduo, cooperando para o gerenciamento da política nacional de resíduos sólidos (PNRS).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo da pesquisa é analisar a viabilidade do aproveitamento do resíduo sólido de polietileno de baixa densidade (PEBD), em substituição parcial da argamassa (cimento e areia), na fabricação de ladrilhos hidráulicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar o processo produtivo dos ladrilhos hidráulicos na fábrica Ladrilhos Santa Rosa, localizada na cidade de São Luís/MA;
- Estudar o melhor percentual de adição do resíduo de PEBD na produção do ladrilho hidráulico, em teores de substituição de 10%, 20% e 30% da argamassa (areia e cimento) da face inferior do artefato;
- Realizar ensaios dos diferentes percentuais de ladrilhos, comparando os resultados com os dados prescritos pela norma NBR 9475:2013 que trata da especificação de ladrilhos hidráulicos.

1.2 Justificativa

Refletindo sobre a questão ambiental relacionada a fatores como a alta exploração de recursos extraídos da natureza para a produção de matérias-primas, com vistas ao desenvolvimento de produtos; a escassez desses recursos naturais e a alta produção de resíduos desperdiçados, seja no processo de fabricação ou no fim de vida útil dos produtos, a presente dissertação destina-se a contribuir para o estudo de materiais alternativos que podem ser usados no desenvolvimento de produtos. Essa questão, que serve de referência ao desenvolvimento do trabalho, não se resume à reflexão sobre novas matérias-primas, e busca contemplar a importante relação entre o design e a sustentabilidade, consonante a linha de pesquisa deste programa à qual o trabalho que deu origem a presente dissertação se vincula.

Os esforços empreendidos na realização desta dissertação destinam-se a contribuir para a ampliação dos estudos desenvolvidos no âmbito do Design destinados a refletir sobre a redução dos problemas ambientais e como o designer, como ator importante, pode desempenhar um papel decisivo na utilização de material alternativo que diminua os impactos oriundos de processos produtivos nas fases de aquisição, beneficiamento e uso de matéria-prima.

A problemática do descarte das embalagens plásticas, cujo o destino adequado são os aterros sanitários, segundo pesquisas relatam que tais descartes se encontram em maior porcentagem em ambientes inadequados, como em vias públicas, poluindo o meio ambiente. Objetivando seu potencial de aproveitamento como questão central do estudo, a dissertação toma para objeto uma forma alternativa de minimizar o problema do descarte do resíduo sólido urbano, mais

especificamente os plásticos caracterizados pelo polietileno de baixa densidade (PEBD), e com isso, indicar uma possibilidade de seu aproveitamento como matéria-prima alternativa para a produção de ladrilhos hidráulicos, um produto com o caráter ambientalmente sustentável, desenvolvido pela reciclagem e combinação dos materiais.

O designer possui um papel de suma importância na escolha e aplicação dos materiais no desenvolvimento de produtos, e é fundamental que ele proporcione alternativas, de cunho ambientalmente sustentável, de baixo impacto ambiental, social, econômico.

Os materiais plásticos causam, no ambiente, grandes impactos como o esgotamento de matéria-prima não renovável e o acúmulo de resíduos no meio ambiente, cujo material é de difícil degradabilidade. Ao usar a reciclagem como uma ação sustentável, parte de um conjunto de procedimentos que visam a redução dos impactos, sendo uma condição vital poder usá-la para obtenção de resultados melhores.

Somando o impacto ambiental causado pela extração de areia, um dos materiais utilizados para a produção do ladrilho hidráulico, objeto de estudo da presente pesquisa, o desenvolvimento de uma opção que venham substituir este material, por um material alternativo, o resíduo, constitui-se na força motora de motivação para o desenvolvimento da pesquisa.

Este trabalho teve por objetivo, o estudo da viabilidade do aproveitamento do resíduo sólido, usado como um agregado alternativo, os grãos de PEBD de embalagens plásticas pós-consumo, em substituição parcial da argamassa (areia e cimento), na produção do ladrilho hidráulico.

Os testes executados visam a avaliação desta combinação de materiais, gerando um compósito, analisando a viabilidade produtiva conforme a norma específica para os ladrilhos hidráulicos. Busca assim, a opção de um produto reciclado, visando contribuir para o desenvolvimento da produção focada no desenvolvimento sustentável, se enquadrando no gerenciamento de resíduos proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), reciclando materiais descartados e diminuindo o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado dos materiais plásticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

2.1 Design, sustentabilidade e materiais

Dentre as diversas definições de Design, Santos (2005), diz que o design engloba o processo do planejamento até a efetivação da produção e que o design se insere nas estruturas sociais que o influencia, nos níveis cultural, econômico e tecnológico. A World Design Organization, que no passado era intitulada de International Council of Societies of Industrial Design (2017) define:

Design industrial é um processo estratégico de solução de problemas que impulsiona a inovação, constrói o sucesso do negócio e leva a uma melhor qualidade de vida por meio de produtos, sistemas, serviços e experiências inovadores. O design industrial preenche a lacuna entre o que é e o que é possível. É uma profissão transdisciplinar que aproveita a criatividade para resolver problemas e co-criar soluções com a intenção de tornar melhor um produto, sistema, serviço, experiência ou negócio. Na sua essência, o Design Industrial oferece uma maneira mais otimista de olhar para o futuro, reformulando problemas como oportunidades. Ele conecta inovação, tecnologia, pesquisa, negócios e clientes para fornecer novos valores e vantagens competitivas em esferas econômicas, sociais e ambientais. (WDO, 2017)

Design nesta definição é visto como um processo de criação objetivando desenvolver qualidades para os objetos, serviços, processos, valores, sistemas, trazendo benefícios nas cadeias sociais, econômicas e ambientais.

Cardoso (1998) afirma que o design é mais uma atividade projetual, assim como o artesanato, arte, arquitetura e demais que visam conferir a existência concreta as ideias subjetivas. Schneider (2010) diz que o design assume um caráter simbólico, e que transmite significado e valor aos produtos, objetos, contribuindo para a comunicação e formação de uma identidade. Assim sendo, o designer na função de projetar, deve se apropriar dos conceitos e dos elementos materiais dentro de um contexto social, considerando questões dos valores sociais, sua viabilidade de produção, aspectos ambientais, entre outros.

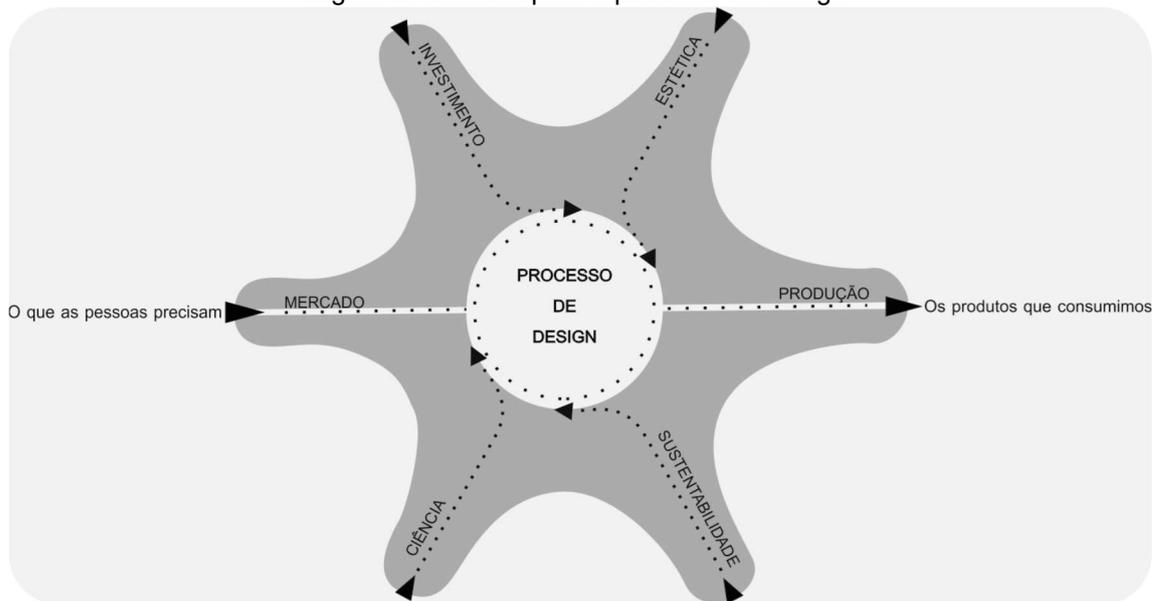
Para o desenvolvimento de produtos, é necessário uma série de atividades para que assim possa especificar o projeto e o processo de produção de um produto, e que o mesmo seja apto sua fabricação, considerando as necessidades, as possibilidades e restrições tecnológicas do mercado (ROZENFELD et al, 2006).

Vários autores desenvolveram metodologias de projeto de produto, para colaborar com esse desenvolvimento, como por exemplo, Bonsiepe (1983), Munari (2008), Baxter (2000), Lobach (2001), Rozenfeld et al (2006). Baxter (2000), diz que

para iniciar o processo de produto de design, o gatilho é a necessidade mercadológica, ou mesmo uma inovação, criação de uma ideia como uma oportunidade e início projetual.

Para Ashby e Johnson (2010, p. 9), o processo de desenvolvimento de design é sujeito as influências externas, indicadas pelas forças que estão à sua volta. De acordo com os autores, o designer precisa otimizar o projeto para atender as necessidades do mercado, e para isso recomendam que o profissional esteja ciente das forças, as quais retrata ser os insumos para o processo de design, mostradas na Figura 1. Dentre estes insumos, destaco a sustentabilidade como forma de repensar em novos produtos, sugerindo a criação de produtos ecologicamente corretos, valorizando a reciclagem e o reaproveitamento de materiais como forma de extensão da vida do material e diminuição do impacto ambiental, uma abordagem essencial nesta pesquisa.

Figura 1: Insumos para o processo de design



Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2010).

No tocante do insumo da ciência e tecnologia, segundo Ashby e Johnson (2010), as novas tecnologias podem fazer surgir novos processos e tecnologia, incentivando novas oportunidades no design. Esse surgimento de novos processos e tecnologia, norteiam progressos no segmento de materiais, podendo assim gerar designs inovadores.

Para Xiong et al. (2008), essa inclusão e uso de novos materiais pode desenvolver novos métodos de processamento e produção, e que isso gera

qualidades para o design, como produtos sustentáveis enquanto utilização e reaproveitamento de materiais descartados.

O insumo da sustentabilidade, pode ser definida pelo “desenvolvimento que satisfaz às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades” (UNESCO,1999, p.31). Neste campo, o design pode colaborar através da sustentabilidade ao utilizar formas para diminuir ou controlar problemas de ordem social, econômico e ambiental. Conforme Manzini e Vezzoli (2002), o design para a sustentabilidade tem o sentido em promover a capacidade do sistema produtivo em conferir o bem-estar, usando uma quantidade de recursos ambientais menores aos níveis atuais. Os materiais são um dos elementos que podem conferir essa relação entre os recursos ambientais e o sistema produtivo.

Decorrente da problemática da sustentabilidade emergiu o tema chamado ecodesign. Segundo os autores Manzini e Vezzoli (2008) o ecodesign se trata de uma espécime projetual do design direcionado pelos parâmetros ecológicos. Abrange em termos projetuais gráficos, territoriais, arquitetônicos, bens de consumo, serviços, entre outros, onde proporciona esse vínculo entre o design e aspectos ecológicos generalizados ao problema ambiental.

Na mesma linha de pensamento, Ashby e Johnson (2010) declaram a relação projetual e o desenvolvimento de produtos, sendo necessário o respeito ao meio ambiente, sendo necessário esforços nesse processo de forma a amenizar ou corrigir os aspectos da degradação ambiental.

Uma ação que exemplifica uma forma de atuar com design e sustentabilidade aplicada é o Instituto Maranhão Sustentável. O IMAS (2017), promove diversas ações no âmbito desenvolvimento sustentável, pautados nos resgates culturais locais, que através de diálogos e cooperações, colaboram para a conservação das riquezas naturais e o equilíbrio ambiental.

Em uma das ações intitulada de Residência Criativa Sustentável, o espaço abriga o compartilhamento de experiências e saberes de várias áreas, como a arquitetura bioclimática, o design, aprimorando tecnologias sociais que adotam os conceitos da sustentabilidade ambiental e o baixo custo de produção. Para tanto, se utilizam de materiais de baixo custo, e de materiais descartados para o desenvolvimento do projeto, vistos em aplicação nas paredes feitas em taipa de pilão, e piso cimentício agregado com sobras de garrafas.

Foi por meio dos materiais que o homem realizou vários dos artefatos que o auxiliou em sua subsistência, tendo assim grande importância no desenvolvimento social. Manzini (1993), diz que nos primórdios, o homem utilizou-se fundamentalmente da madeira, pedra, ossos, chifres, couro para a construção de artefatos. Somente após a Revolução Industrial, que houve o surgimento de novos materiais para a produção de novos produtos, e foi nesta época que um impulso do design a partir da necessidade de produtos inovadores.

Para Ashby e Johnson (2010): “ os materiais são a matéria de que é feito o design de produto” (ASHBY;JOHNSON,2010, p.55) e “interagimos com materiais por intermédio de produtos” (ASHBY; JOHNSON, 2010, p.81). Ferrante e Walter (2010) alegam que o elo entre a ideia e a produção é o material, que deve ser selecionado e processado até a concepção física da ideia na forma de produto, levando em consideração as diversas condições de uso que o material precisa antever e satisfazer. Beylerian e Dent (2007, p. 17) “materiais podem transformar o design, e o design, portanto, tem a força para transformar nossas vidas”. Beylerian e Dent (2007) afirmam ainda, que os materiais podem ser tidos como uma fonte próspera de inovação, sendo capaz fomentar a inovação no design. Assim, os materiais representam uma parte fundamental no processo de criação, pois através deles, designers materializam as ideias, briefings, conceitos, para novos produtos.

No processo de design, entender dos materiais e selecionar os mesmos têm grande importância, e o profissional de design necessita possuir conhecimentos específicos e fundados para o exercício do projetar e inovar. Conforme Beylerian e Dent (2007), a seleção dos materiais mais indicados para aplicação estabelecida, é de suma importância que o designer saiba e domine as opções existentes.

Atualmente, várias possibilidades de materiais e a combinação entre eles são obtidas para atender a diferentes necessidades, finalidades, propriedades, entre outros. Ashby e Johnson (2010) diz que cada vez mais a ciência e tecnologia avançam e assim sendo, aparecem uma variedade de novos materiais, e o exercício de selecionar os materiais para o desenvolvimento de produtos são conduzidos pelas características funcionais, suas propriedades, processos, a estética, e custos de produção.

Assim, no processo de desenvolvimento de produtos, de acordo com os critérios definidos para seguir, um material é mais indicado do que outro para determinada aplicação, segmento. Por exemplo, para criação de um produto

popular, o menor custo com o material a ser utilizado é um critério de escolha, enquanto que para um produto que tenha o luxo como conceito, os materiais serão mais refinados, levando em conta a estética, será o mais indicado.

Contudo, para que o designer tenha mais sucesso no desenvolvimento de produtos, o conhecimento de materiais por si só não é o bastante, é importante também que o designer tenha a habilidade e conhecimento nos métodos de fabricação, e assim almejar projetos com maior êxito. Lesko (2004) diz, para o designer criar produtos mais sucedidos, além do conhecimento de materiais, é preciso saber dos métodos de fabricação. Em conformidade, Ashby e Johnson (2010) esclarece que o entendimento de manufatura e materiais é essencial no desenvolvimento do design. Ferrante e Walter (2010), ressaltam que este conhecimento entre materiais e processo de fabricação cria mais oportunidades no trabalho do designer.

Ao iniciar o conceito, desenvolvimento de um novo produto o designer deve se atentar por tais critérios de seleção de materiais e os processos de fabricação. Novos materiais surgem a cada dia, muitos em uma combinação de materiais, chamados de multi-materiais, ou compósitos, e nesta pesquisa, o critério de alinhar sustentabilidade e novos materiais é exposto, no intuito de reaproveitar o material descartado, o resíduo plástico, adicionando o mesmo na produção de um novo ladrilho hidráulico, estudando a viabilidade de produção, e conseqüentemente contribuindo para a diminuição do impacto ambiental, já que o material descartado nas vias públicas, possam ter a serventia e utilização do mesmo em um produto.

2.2 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são referenciados normalmente como lixo. O termo existe não de agora, porém, o problema enfrentado pela destinação final destes materiais e o seu reaproveitamento e reciclagem, dos impactos ambientais, são assuntos abordados com mais frequência atualmente.

A definição para resíduos sólidos é apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Registrada (NBR) Nº 10.004, como:

(...) resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em

equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

Conforme Rodrigues e Cavinatto (2003), lixo, deriva do termo grego *lix*, que significa “cinza” (RODRIGUES; CAVINATTO, 2003, p. 6) e diz que no início a produção era derivada diretamente da natureza e não havia preocupação com o descarte do que era produzido e consumido, por ser biodegradável, o lixo acabava em ser consumido pela própria natureza.

Em concordância, os autores Ribeiro e Morelli (2009) dizem que:

Inicialmente, os resíduos gerados pelo homem eram quase que exclusivamente excrementos e restos de animais mortos. Posteriormente, com o início da atividade agrícola e da produção de ferramentas de trabalho e de armas, surgiram os restos da produção e os próprios objetos, após sua utilização. Estes resíduos, no entanto, por terem origem essencialmente natural e por serem gerados em pequena escala, não geravam impactos ao meio ambiente. (RIBEIRO; MORELLI, 2009, p. 9)

Ainda, Ribeiro e Morelli (2009) informa que foi em decorrência das Revoluções Industriais, iniciada na Inglaterra, o crescimento desenfreado desencadeou um alto consumismo, e desde então os resíduos passaram a ser um problema para a humanidade, e somente após a última década do século XX e início do século XXI, que a sociedade de uma forma geral reconheceu e deu início aos debates do impacto sobre o meio ambiente e as consequências destes sobre a saúde humana.

As consequências deste desenvolvimento industrial e o consumo desenfreado, deu início ao uso dos descartáveis em grande escala nas áreas urbanas, elucidada por Ribeiro e Morelli (2009):

O desenvolvimento tecnológico, gerado para o conforto e o bem estar humanos, produzido a partir das Revoluções Industriais, levou à intensificação do uso de materiais descartáveis, ocasionando um aumento da quantidade de resíduos gerados e não utilizados pelo homem, muitos deles provocando a contaminação do meio ambiente, trazendo riscos à saúde humana, basicamente nas áreas urbanas. O homem passou a viver, então, a era dos descartáveis, em que grande parte dos produtos é inutilizada e jogada fora com enorme rapidez. (RIBEIRO; MORELLI, 2009, p. 10)

Essa velocidade do avanço tecnológico e consumo desenfreado, conforme os autores, é visível o descarte dos resíduos nas ruas sem o devido cuidado, exemplificado pelo fato de vermos diversas garrafas, embalagens, sacolas, dentre outros espalhados pelas vias urbanas.

Um aspecto importante a destacar é a necessidade de acomodação e destinação destes resíduos de forma adequada, pois são cada vez mais volumosos e de composição mais complexa. Santos e Belline (2013) relatam:

O lixo doméstico gera um enorme problema, principalmente, nas cidades. Ele pode ser dividido em duas categorias: **lixo orgânico** (restos de comida), que se decompõe com mais facilidade e **lixo inorgânico** (latas e outros materiais, tais como: vidro, papel, plásticos, pilhas e baterias, dentre outros...) que demoram muito mais tempo para se decompor, se forem jogados diretamente na natureza. (SANTOS; BELLINE, 2013, p. 229).

Nesta pesquisa, faz-se a utilização do resíduo sólido urbano - RSU, uma das classificações dos resíduos sólidos, para designar todos os diversos materiais descartados pelas atividades humanas no contexto dos grandes centros urbanos, sendo o material de estudo a ser tratado na recente pesquisa. A classificação dos resíduos sólidos será abordada em capítulo subsequente.

Segundo a ABRELPE (2016), a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, a geração de RSU indica um total anual de quase 78,3 milhões de toneladas no país. E que o montante coletado foi de 71,3 milhões de toneladas, e que aponta que 7 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e que portanto tiveram um destino inapropriado.

Os RSU são descartados pela sociedade nos seguintes locais: os lixões, os aterros controlados, e aterros sanitários. Santos e Belline (2013, p.228), destaca que “quanto mais os seres humanos consomem, mais devastam a natureza e mais produzem pilhas de lixo”, e frisam que no entanto as pessoas, órgãos, nem sempre sabem o que fazer com ele.

Em relação aos locais de descarte, os lixões como são conhecidos, se tratam de terrenos desocupados, onde o lixo é despejado, a céu aberto, sem nenhum tratamento inicial. Trata-se de um local de alta contaminação e doenças. Os aterros controlados são os locais envoltos com a finalidade de impedir entrada e fluxo de pessoas e animais, e é tido como uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário. E por fim, os aterros sanitários são tidos como os locais apropriados e definidos para o descarte dos resíduos sólidos, onde são despejados os resíduos coletados em vias urbanas, e que dispõe de tratamento adequado para tal. Santos e Belline (2013)

A disposição de RSU teve uma piora em relação do ano de 2016 ao de 2015, o total coletado caiu de 58,7% para 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas enviadas para os aterros sanitários e que na contramão, a disposição inadequada em 3.331

municípios, 29,7 milhões de toneladas de resíduos, equivalente a 41,6% do coletado em 2016, foram parar em lixões ou aterros controlados, locais impróprios, sem as medidas necessárias para proteção do meio ambiente. ABRELPE (2016, p.14)

No aspecto da coleta dos resíduos sólidos, um personagem aparece como protagonista, e fundamental para o funcionamento da engrenagem desse processo, da gestão dos resíduos, que são os catadores, assim tratado por Zanin e Mancini (2004):

No Brasil, a reutilização é pouco incentivada (por exemplo, as embalagens retornáveis são cada vez mais raras), há um precário sistema de devolução de resíduos perigosos (como pilhas e baterias, cujo conteúdo prejudica o solo e os lençóis freáticos) e a reciclagem dos resíduos sólidos pós-consumo só existe no Brasil devido, principalmente, a figura dos catadores. Estes trabalhadores, impulsionados pela crise de desemprego e de falta de alternativas de trabalho e renda, buscam nesta atividade sua sobrevivência e alimentam os negócios da reciclagem realizando boa parte do processo: coletam, classificam, separam e preparam os materiais recicláveis para a comercialização. (ZANIN;MANCINI,2004, p.13)

A preocupação com as questões socioambientais, com o sistema de limpeza, devem ser assuntos sempre levados em consideração, para uma melhor qualidade de vida. Bonacella e Magossi anunciavam: “Não há necessidade deixar de progredir. Precisa-se aprender a progredir sem afetar de modo drástico o meio ambiente. Progresso e ecologia não são inimigos naturais” (BONACELLA; MAGOSSO, 1996, p. 46).

É através da gestão integrada de resíduos sólidos, que se institui uma melhor maneira de administração do sistema de limpeza pública, vindo a garantir uma forte participação dos setores da sociedade em prol de garantir um melhor desenvolvimento sustentável, incluindo de forma mais completo, as dimensões ambientais, sociais, econômicas, culturais e políticas. Os objetivos são: redução ao mínimo a geração de resíduos, aumentar a reutilização e reciclagem, além de proceder o depósito e tratamento ambientalmente adequados (GONÇALVES,2011).

Abordagens sobre a reutilização e reciclagem de resíduos sólidos, serão discutidos ao longo desta pesquisa, como uma alternativa para o gerenciamento do material plástico, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável, retirando tais resíduos das vias públicas e tornando o mesmo uma matéria-prima na composição de um produto, e assim diminuir o impacto ambiental causado pelo tratamento inadequado, aos quais presenciamos nos dias atuais.

2.2.1 Classificação dos resíduos

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação do Quadro 1:

Quadro 1: Classificação dos resíduos sólidos segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos

Quanto à COMPOSIÇÃO QUÍMICA	Orgânicos: são aqueles que tem origem animal ou vegetal	Poluentes orgânicos persistentes: regularizados internacionalmente pela "Convenção de Estocolmo", são eles: hidrocarbonetos de elevados peso molecular, clorados e aromáticos, alguns pesticidas.
		Poluentes orgânicos não persistentes: óleos e óleos usados, solventes de baixo peso molecular, alguns pesticidas biodegradáveis e a maioria dos detergentes.
	Inorgânicos: são aqueles que produzidos pelo, sem origem biológica, como por exemplo, vidros, plásticos, metais, alumínio, borrachas, etc.	
Quanto ao TIPO	Reciclável: resíduos que podem ser reutilizados ajudam na preservação do meio ambiente e geram renda.	
	Não reciclável ou rejeito: resíduos que não são recicláveis, ou resíduos recicláveis contaminados.	
Quanto à ORIGEM	Domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas.	
	Resíduos de limpeza urbana: originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.	
	Resíduos Sólidos Urbanos: conjunto de todos tipos de resíduos coletados pelo serviço municipal (domiciliares, comerciais e de limpeza urbana).	
	Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os de limpeza urbana, dos serviços públicos de saneamento básico, de serviços de saúde, da construção civil e agrossilvopastoris.	
	Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os sólidos urbanos.	
	Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais.	
	Resíduos de serviços de saúde: composto por seringas, agulhas e curativos, além de outros materiais que podem causar contaminação.	
	Resíduos da construção civil: também chamados de entulho, são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.	
	Resíduos agrossilvopastoris: gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.	
	Resíduos de serviços de transportes: os originados de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.	
Resíduos de mineração: gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios, se constituem de solo removido, metais pesados, lascas de pedra, etc.		
Quanto à PERICULOSIDADE (NBR 10004:2004) ABNT	Resíduos perigosos (classe I): são aqueles que em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e metagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com a lei, regulamento ou norma técnica (BRASIL, 2014)	
	Não inertes (classe II): são resíduos que não apresentam periculosidade, mas também não são inertes. Geralmente apresentam alguma dessas características: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.	
	Inertes (classe III): são aqueles que em contato com a água, não tem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água. A maioria destes resíduos é reciclável, eles não se decompõem ou degradam o solo, ou o fazem muito lentamente.	

Fonte: adaptado (BRASIL, 2010)

2.2.2 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

A lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, previu a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos num amplo processo de mobilização e participação social. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos contempla a problemática dos diversos tipos de resíduos gerados, as alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implementação, planos de metas, programas, projetos e ações correspondentes.

Conforme o capítulo I, artigo 4º, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, reúne:

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. (BRASIL, 2010, p. 3)

Os princípios da PNRS, segundo o artigo 6º, inciso VII, em relação ao resíduo sólido tem como: “ o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.(BRASIL, 2010, p. 4)

São objetivos da PNRS, conforme artigo 7º, entre eles:

- a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para produtos reciclados e recicláveis;

De acordo com tais informações a respeito de ações e diretrizes a serem aplicadas para contornar a atual situação em que se encontra, é evidente que precisamos ter medidas a serem executadas para melhoria na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, e nesta pesquisa abordamos um estudo da utilização desta matéria-prima no intuito de sua reutilização, e reciclagem, e oferecer uma disposição final mais adequada do resíduo plástico aplicado há um produto existente, os ladrilhos hidráulicos.

2.3 Polímeros

A princípio, a palavra “plástico” aqui é usualmente empregada de forma equivocada para designar uma extensa família de materiais que, no sentido estritamente técnico, engloba número altamente superior de substâncias.

De acordo com Lima (2012), a crescente evolução no mundo da química orgânica associada ao desenvolvimento tecnológico possibilita a procura, a descoberta e a utilização de materiais poliméricos em um grande leque de aplicações, pois se trata de um material atual, acessível e muito importante.

Os polímeros são formados por moléculas longas e possuem entidades estruturais com unidades denominadas *meros*, palavra originária do grego que significa parte. Para um *mero* é denominado monômero e quando esse *mero* se repete na cadeia denomina-se polímero (CALLISTER, 2012).

Os materiais plásticos vêm substituindo cada vez mais os tradicionais, aço, madeira, vidro, podemos citar a porcentagem de materiais plásticos no segmento automotivo e da construção civil. As crescentes aplicações dos materiais plásticos no setor de embalagens de rápido descarte têm proporcionado um grande aumento destes materiais nos resíduos sólidos urbanos, domésticos e industriais.

De acordo com a ABRE - Associação Brasileira de Embalagem, os plásticos representam 34,30% no valor total da produção de embalagens (ABRE 2015) . Eles têm como vantagens o seu baixo peso, baixo custo, elevada resistência mecânica e química, flexibilidade, possibilidade de aditivação e reciclabilidade (HENNINGSSON 2004, SCHWARK 2009). A principal desvantagem é a sua variável permeabilidade à luz, gases, vapores e moléculas de baixo peso molecular. Outra desvantagem é serem, em sua maioria, não biodegradáveis e levarem centenas de anos para serem completamente degradados pela natureza (MARSH 2007). Além disso, sua produção geralmente emite gases poluentes ao meio ambiente e é dependente do petróleo, um recurso natural do planeta não renovável.

Atualmente há uma grande preocupação com os danos gerados ao ambiente por esses materiais que apresentam tempo de degradação muito longo. Diferentemente de outros materiais, o reaproveitamento do plástico está em fase de avanços e estudos, mas tem crescido constantemente.

O plástico, considerando sua capacidade de reutilização, reciclabilidade e remodelagem, tem clara participação com a economia circular, e um desafio é criar negócios e transformar o plástico em soluções que atendam tais demandas.

2.3.1 Classificação dos Polímeros

Os polímeros podem ser classificados, quanto à origem, naturais, como a seda e a celulose, ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o polietileno (PE), o poli (cloreto de vinila) (PVC), (SPINACÉ; PAOLI, 2005); sendo classificados como termoplásticos (plásticos), termofixos e borrachas (CANEVAROLO, 2002; MANO; PACHECO; BONELLI, 2005).

Segundo Ashby e Johnson (2010), diz sobre os polímeros:

Embora os polímeros naturais – madeiras, lã, couro – sejam os materiais mais antigos do mundo, os polímeros comercializados hoje têm pouco do que lhes é natural; são a contribuição dos químicos ao mundo dos materiais. Quase todos são sintetizados do petróleo (embora não precisassem sê-lo) e resultados de combinações de átomos simples: carbono, hidrogênio, oxigênio, cloro e menos frequentemente nitrogênio e flúor. (Ashby e Johnson, 2010, p. 197)

Conforme Santos (2009) são classificados em:

- Termoplásticos – se fundem ao serem aquecidos e quando resfriados se solidificam, como exemplo o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o poli (tereftalato de etileno) PET.
- Termofixos – quando aquecidos transformam-se em massa insolúvel e infusível por meio de reações químicas, como exemplo a resina fenólica e a borracha vulcanizada.
- Elastômeros são um grupo de polímeros com propriedades elásticas elevadas, deformando-se quando são submetidos a ação de uma força. Esta deformação é reversível, voltando o material ao tamanho original. Este tipo de polímeros apresenta cadeias de macromoléculas enroladas que lhes permitem serem rígidos e muito flexíveis. Exemplos de elastômeros são: borrachas, pneus.

Os termoplásticos são um grupo de polímeros que possuem capacidade de ser aquecidos a elevadas temperaturas e modelados novamente por diversas vezes, devido à sua estrutura macromolecular linear. Este processo permite a mudança física das suas características sem alterar as químicas, em que o processo é reversível e pode ser realizado várias vezes, portanto são recicláveis e reutilizáveis.

Exemplos de termoplásticos são (Santos, 2009): Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Politereftalato de Etileno (PET), Policloreto de Vinil (PVC), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).

Os termofixos são um grupo de polímeros que uma vez moldados não podem ser aquecidos a elevadas temperaturas e moldados de novo devido à sua estrutura tridimensional. Estes são duros devido ao calor e às reações químicas, não devendo ser moldados novamente, pois degradam ou decompõem quando aquecidos a elevadas temperaturas, portanto, não são recicláveis. Estes polímeros são rígidos ao toque. Exemplos de termofixos segundo (Santos, 2009): Epóxidos, Poliésteres, Fenólicos, Vinil ésteres.

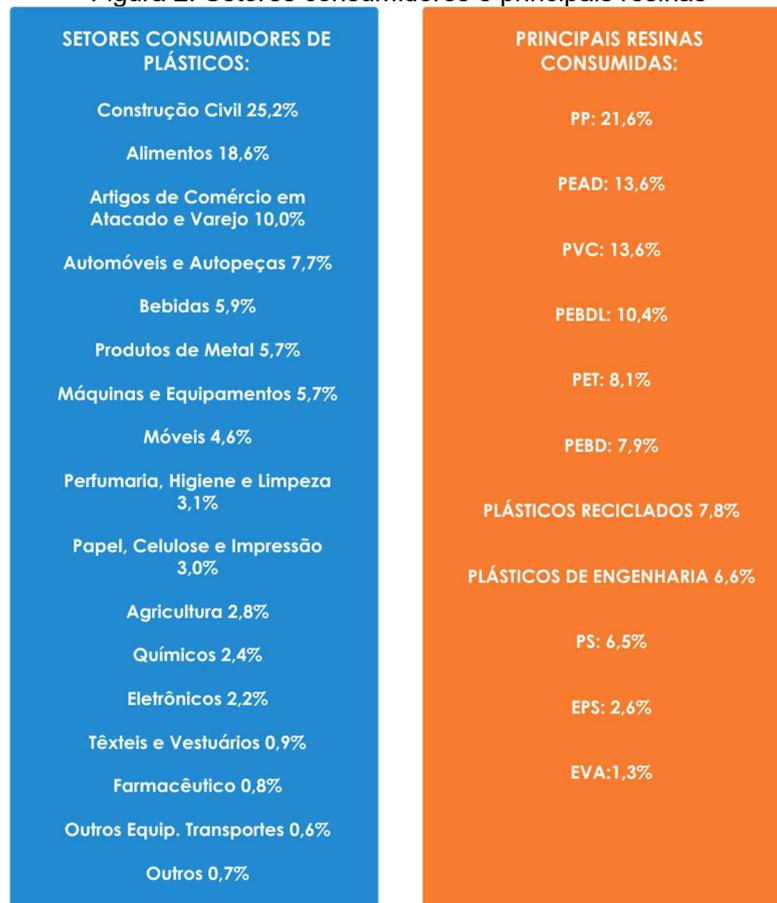
2.3.2 O Plástico no Brasil

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico ABIPLAST (2017), os polímeros mais consumidos atualmente são: Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidade (PEAD), Poli(cloreto de vinila) (PVC), Polietileno de baixa densidade (PEBD/PELBD), Poli(etileno tereftalato) (PET), Plásticos Reciclados, Plásticos de Engenharia, Poliestireno (PS), Espuma Vinílica Acetinada (EVA), Poliestireno Expansível (EPS).

Os mercados de plástico no mundo são muito similares, havendo predominância dos materiais termoplásticos e em particular das poliolefinas (polietilenos e polipropilenos) e o setor de embalagens é responsável pelo consumo de cerca de 40% do material plástico produzido no mundo, o que ajuda a explicar o problema de pós-consumo existente nesse setor.

Os principais setores consumidores de produtos plásticos, segundo ABIPLAST (2007) são: construção civil, alimentício, artigos em atacados e varejos, automobilístico, setor de bebidas, etc. Segue Figura 2 sobre os setores consumidores e principais resinas consumidas.

Figura 2: Setores consumidores e principais resinas



Fonte: Adaptado - Perfil 2017 - ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico

2.3.3 O Polietileno de baixa Densidade - PEBD

O polietileno (PE) pode ser de diferentes tipos, conforme as condições reacionais e o sistema catalítico empregado na polimerização: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno linear de baixa densidade (PELBD), polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD). (Ashby e Johnson, 2010, p. 209)

A definição de polietileno pelos autores Ashby e Johnson (2010) é:

É a primeira das poliolefinas, os polímeros termoplásticos brutos responsáveis pela fração dominante de todo o consumo de polímeros. O polietileno é inerte e extremamente resistente à água doce e salgada, alimentos, e à maioria das soluções a base de água. Por isso é amplamente utilizado em produtos domésticos e recipientes para alimentos. (Ashby e Johnson, 2010, p. 209)

Magrini (2012), destaca a resina de polietileno, suas características e aplicações no Quadro 2:

Quadro 2: Resina, características e aplicações

Poli(etileno) de baixa densidade (PEBD)	Material com baixa condutividade elétrica e térmica e resistente à ação de substâncias químicas. Possui variadas características mecânicas e suas propriedades são mantidas excelentes quando submetido a temperaturas inferiores a 60°C.	Eletrônicos: isolante de fios, pequenas peças. Embalagens: sacos, garrafas, tampas, bolsas, tetrapak. Agricultura: película de revestimento, tubos de irrigação. Construção Civil: tubulações, mangueiras, tela de sombreamento.
---	---	--

Fonte: Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos. (MAGRINI, 2012, p.25)

Grande parte dos plásticos transformados pela indústria é destinada ao setor de embalagens, que por terem baixo tempo de ciclo de vida e grande descartabilidade, logo se transformam em resíduos sólidos. Na atual pesquisa, são utilizadas as embalagens descartadas de PEBD como reaproveitamento e matéria-prima para a reciclagem na produção de um produto do segmento de decoração e construção civil.

2.3.4 Impacto do plástico no meio ambiente

Aproximadamente 50% dos plásticos produzidos são destinados a aplicações descartáveis e de um único uso, tais como embalagens, filmes e utensílios descartáveis; entre 20 e 25% dos materiais produzidos são usados em infraestrutura de longa durabilidade, tais como tubulações, revestimentos de cabos e materiais estruturais; e a fração remanescente é usada em aplicações de tempo de vida médio, tais como eletrônicos, móveis e veículos (HOPEWELL et al., 2009).

São inúmeros os impactos ambientais causados pelos plásticos (embalagens), desde a poluição visual à morte de animais. Nas cidades, entopem bueiros e galerias de esgoto, agravando o problema das enchentes. Além disso, podem funcionar como depósito da água das chuvas e ajudar na proliferação de doenças. Na natureza, são confundidas por comida por alguns animais, que morrem engasgados ao ingeri-las.

Magrini (2012) elucida alguns aspectos positivos do uso dos plásticos:

O uso dos materiais plásticos traz inúmeros benefícios ao ambiente, que incluem a redução das emissões de dióxido de carbono, a redução da demanda energética, o aumento da eficiência da produção e transporte da água, dentre outros. Além disso, o uso dos materiais plásticos dá acesso a tecnologias avançadas a populações carentes, por conta dos baixos custos comparativos das tecnologias baseadas nesses materiais. Por isso, o uso dos materiais plásticos é vantajoso em relação a alguns de seus

concorrentes, por conta dos muitos benefícios ambientais que o uso desses materiais oferece. (MAGRINI, 2012, p.316)

Nos últimos 50 anos, ocorreram mudanças drásticas na superfície do planeta, mas uma das que mais chama atenção é a abundância de resíduos plásticos. Tal problema é crescente e decorrente da combinação da destinação inadequada dos resíduos, ausência de políticas públicas apropriadas e má qualidade da educação ambiental. (MAGRINI, 2012, p.300)

Plásticos são facilmente transportados a longas distâncias das áreas de origem pelo vento ou carregados pela água, acumulando-se principalmente nos oceanos, onde podem acarretar uma variedade de impactos ambientais e econômicos (THOMPSON *et al.*, 2009). Plásticos descartados também podem afetar os sistemas terrestres e de água doce, incluindo emaranhamento, ingestão por animais, bloqueio de sistemas de drenagem e impactos estéticos (THOMPSON *et al.*, 2009).

Durante a fase de produção, grandes quantidades de produtos químicos, em maioria derivados de fontes não renováveis (gás ou derivados de petróleo), são necessárias para a produção dos monômeros e dos respectivos polímeros. Vários destes produtos químicos são perigosos para a saúde humana e podem agredir severamente o meio ambiente, quando liberados durante a produção (LITHNER *et al.*, 2011).

Magrini (2012), destaca ainda imagens negativas dos plásticos:

O volume grande ocupado pelas embalagens no lixo urbano, somado à baixa degradabilidade do material, tem contribuído para a imagem ecologicamente “ruim” dos plásticos e, por essa razão, são o principal foco de uma grande parte dos incentivos e diretivas de reciclagem dos plásticos. (MAGRINI, 2012, p.218)

A ingestão de resíduos plásticos parece ser particularmente problemática para animais que confundem o plástico com alimentos (THOMPSON *et al.*, 2009). Um exemplo visto com certa frequência é o da ingestão de sacolas plásticas por tartarugas, que as confundem com águas-vivas. Isso pode levar à morte por inanição e enfraquecimento, reduzindo a qualidade de vida desses animais e diminuindo a capacidade reprodutiva dos mesmos (GREGORY, 2009).

Por essa razão, o que parece ser mesmo necessário é o estabelecimento de políticas públicas e procedimentos de gestão de resíduos que encorajem a reutilização e a reciclagem desses materiais de forma mais eficiente e em maiores quantidades e evitem que os resíduos sejam descartados sumariamente no

ambiente, evitando o desperdício de energia, o desperdício de matéria-prima e o acúmulo desnecessário de material plástico no ambiente.

Boa parte do RSU é composta por materiais recicláveis e pode retornar a cadeia de produção, gerando renda para trabalhadores, diminuindo a degradação do meio ambiente e permitindo a obtenção de lucros expressivos para determinados setores industriais. (MAGRINI,2012)

Esse resíduo enquanto plástico, é constituído majoritariamente por embalagens de poliolefinas (PEBD, PEAD, PP) e PET, refletindo também a atividade de produção industrial de resina virgem. Por isso, também são esses materiais os mais reciclados. (MAGRINI,2012)

2.4 A reciclagem

Para aprofundarmos no assunto da reciclagem, é importante termos a princípio, conhecimentos sobre o seu conceito. Assim Magrini (2012) define a reciclagem:

O conceito aqui proposto para este termo compreende todos os possíveis usos de um material, uma vez terminada a vida útil da aplicação pretendida para a peça ou material considerado. Portanto, do ponto de vista técnico, entende-se reciclagem como o conjunto de técnicas e procedimentos que permite a extensão do ciclo de vida útil de um material para além da aplicação inicial pretendida. (MAGRINI,2012,p.22)

Conforme a Lei nº12305 (BRASIL, 2010), artigo 3, inciso XIV, tem-se a definição:

Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa.

O consumo de plásticos tem aumentado de forma contínua nas últimas décadas, mas os volumes consumidos são ainda muito maiores do que os volumes reciclados (KEANE, 2007).

Magrini (2012) assim define a reciclagem:

O conceito de reciclagem proposto é amplo o suficiente, por exemplo, para incluir o que convencionalmente é chamado de "reúso". Nesse contexto, um copo de poliestireno descartável é fabricado para ser usado uma única vez. Dessa maneira, pode-se considerar que o reuso do copo descartável é uma técnica de reciclagem, uma vez que esta prática permite a extensão da vida útil do copo plástico descartável. No entanto, a vida útil do material que constitui o copo pode ser estendida de muitas outras formas. Por exemplo, o copo pode ser amassado, limpo, seco, fundido, extrusado e usado para fabricar outro copo, por intermédio de um processo convencionalmente chamado de "reciclagem mecânica". O material que constitui o copo pode

ser ainda degradado termicamente, transformando-se em matéria-prima útil para a produção de outros materiais por meio de um processo chamado de “reciclagem química”. Finalmente, o plástico pode servir como combustível para a geração de calor, constituindo um processo usualmente denominado de “reciclagem energética”. (MAGRINI,2012) pag.23

A reciclagem dos materiais contribui com a redução dos lançamentos de resíduos sólidos ao meio ambiente, em aterros sanitários e também nos lixões sem o mínimo controle adequado. Além disso, as atividades de reciclagem permitem que grande volume de rejeito seja novamente inserido no processo de produção, reduzindo potencialmente a demanda por material virgem, o consumo de energia e as emissões de gás carbono.

A reciclagem é um dos indicadores de desenvolvimento sustentável da dimensão econômica e é apontada como uma atividade-chave para solucionar o problema da destinação inadequada dos resíduos sólidos (IBGE, 2012). Ela tem um papel fundamental na redução de problemas ambientais e de saúde pública, bem como daqueles de natureza econômico-social.

Os materiais reciclados são originários da fase pós-industrial e do pós-consumo. As técnicas e procedimentos usados para estender a vida útil dos materiais após o consumo são normalmente denominados de “reciclagem secundária”. (MAGRINI,2012)

Existem três tipos de reciclagem: a mecânica; a química; e a energética. As duas últimas deverão ser empregadas apenas no caso de não haver mais alternativas de reciclagem. A mecânica por sua vez é a mais difundida e efetiva, sendo subdividida em primária ou pré-industrial, onde os materiais são reaproveitados na própria indústria; secundária ou pós-consumo, provido de resíduos sólidos urbanos já utilizados e descartados; e a terciária, convertendo-os em produtos químicos e em combustíveis (PARENTE, 2006). O Infográfico 1, retrata a reciclagem mecânica pós-consumo de materiais plásticos, mostrando o ciclo básico dos materiais plásticos (ABIPLAST, 2017). Primeiramente o processo se inicia na concepção do produto, em seguida passa pelo uso/consumo, passando pela destinação adequada do resíduo e posteriormente coletadas pelas cooperativas e/ou centrais de triagem, iniciando então os processos que envolvem a reciclagem (fragmentação, separação e lavagem, secagem, extrusão) e finalizando com a transformação do material em indústrias.

Infográfico 1: Fluxo da reciclagem mecânica de materiais plásticos



Fonte: Abiplast 2017 – Perfil

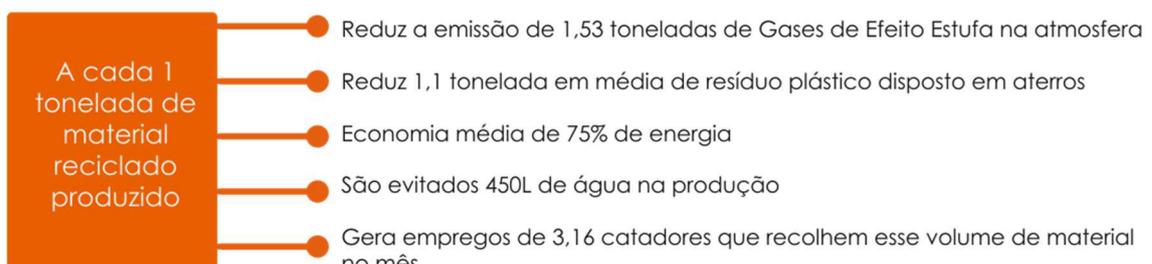
2.4.1 Reciclagem do plástico

Grande parte dos plásticos transformados pela indústria é destinada ao setor de embalagens, que por terem baixo tempo de ciclo de vida e, portanto, grande descartabilidade, logo se transformam em resíduos sólidos.

De acordo com a ABIPLAST (2017), na Figura 3, a reciclagem dos plásticos promove benefícios de ordem social e ambiental a cada tonelada reciclada, reduzindo a emissão de gases na atmosfera, reduzindo a disposição do resíduo em locais inadequados, economia de energia, pois o resíduo pode ser utilizado como combustível para novo processo de transformação, e também contribui para a geração de novos empregos do setor de reciclagem.

Figura 3: Benefícios da reciclagem dos plásticos

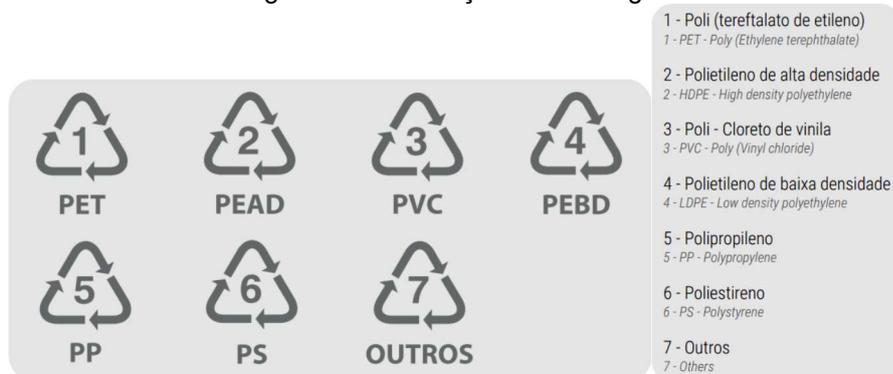
Benefícios socioambientais da reciclagem de materiais plásticos



Fonte: Adaptado Abiplast 2017 – Perfil

Para facilitar a identificação dos diversos polímeros, a separação e triagem dos mesmos é normalizada por uma simbologia, demonstrada na Figura 4 pela ABNT NBR 13230:

Figura 4: Identificação e simbologia



Fonte: Norma ABNT NBR 13230 - Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis

No caso dos resíduos plásticos, dentre as possibilidades disponíveis, está a reciclagem secundária ou mecânica que “[...] consiste na conversão dos descartes plásticos em grânulos que podem ser reutilizados pelo setor produtivo na confecção de outros produtos [...]” (SINDIPLAST, 2011)

O plástico como um todo ainda é o material com menor taxa de reciclagem, tendo alvos potenciais para políticas específicas de estímulo à reciclagem.

2.4.2 A reciclagem aplicada à produtos – novos materiais

Relacionada diretamente com a questão ambiental, é necessário aplicar alguns critérios na concepção de produtos que diminuam o impacto ao meio ambiente, a saber: buscar a utilização de materiais de baixo impacto; possibilitar a reciclagem; buscar fontes de matérias-primas renováveis; facilitar a reutilização de partes dos produtos já fabricados para a utilização na concepção de novos a partir do reaproveitamento de peças; contribuir de forma que o artefato fabricado tenha fácil reparo permitindo que as peças sejam trocadas e removidas facilmente, ou seja, viabilizar a manutenção; dar preferência para a utilização de processos de fabricação que consumam menos energia; escolher processos produtivos que utilizem fontes renováveis e limpas; e visar a durabilidade, estendendo a vida útil do produto. (MANZINI e VEZZOLI, 2008).

A reciclagem visando estes aspectos da sustentabilidade, possibilita o desenvolvimento de novos produtos, novos materiais, em combinação de materiais, surgindo os chamados produtos multi-materiais, ou compósitos.

A partir da Segunda Guerra Mundial, intensificou-se a substituição de materiais como madeira, metais e vidro por polímeros, tendência que persiste até hoje (ALLWOOD; CULLEN, 2012). A crescente preferência na utilização de polímeros em substituição aos materiais tradicionalmente utilizados se deu por diversos motivos, dentre os quais se destacam baixo custo, versatilidade e leveza (JULIER, 2013).

A grande demanda por esses materiais estimulou o surgimento de pesquisas sobre novos tipos de polímeros, novas formas de processamento, novas aplicações.

Os produtos que surgem dessa tendência são os multi-materiais. Tais produtos são definidos como aqueles que possuem uma associação de materiais dispostos de uma maneira previamente definida, ou seja, mais de um material em um mesmo componente (KROMM et al., 2007).

Um exemplo realizado de um produto multi-material, Figura 5, foi feito na Espanha desenvolveu-se um material (*Maderon*) que se obtém de uma mistura de cascas de amêndoa pulverizadas com resina sintética. As cascas são um produto com recolhimento anual e, portanto, altamente renováveis. Além disso, reduz-se o fluxo de lixos daqueles setores da indústria alimentar. O material pode ser injetado, pintado ou envernizado, como um termoplástico normal, combinando desta maneira as qualidades da madeira com a versatilidade dos polímeros.(MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Figura 5: Material Maderon



Fonte: <https://www.experimenta.es/noticias/historia/silla-rothko-alberto-lievore-4039/>

Para demonstrar a reutilização de materiais descartados, o estúdio Droog Design, projetou uma embalagem, feita com estrume seco, para bulbos de tulipas (Tulip box), Figura 6. Os projetistas holandeses quiseram evidenciar, de forma provocativa, um grande problema existente em seu país, o da eliminação desses resíduos.(MANZINI; VEZZOLI, 2002)

Figura 6: Tulip box



Fonte: <https://www.droog.com/project/no-design-no-style-droog-design>

A 3M comercializa esponjas em PET, totalmente recicladas (100%) de garrafas, Figura 7. Fora isso, sua embalagem é inteiramente composta de papel e papelão reciclado. (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 166)

Figura 7: Esponja 3M



Fonte: Livro - O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis

Novas fontes de matéria-prima alternativas são importantes para o desenvolvimento de produtos sustentáveis como mostrados nos exemplos de produtos reciclados, e os materiais compostos por mais de um componente são uma tendência cada vez mais crescente. Manzini e Vezzoli (2002) ratificam essa inovação tecnológica: "Uma crescente atenção científica e tecnológica vem sendo dada aos estudos e à utilização de novos materiais". (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 168). Ashby e Johnson (2010) afirma que os "Compósitos são um dos grandes desenvolvimentos de materiais do século XX." (ASHBY E JOHNSON, 2010, p. 203)

2.4.3 A reciclagem entre materiais poliméricos e cimentícios

Os materiais compósitos têm se destacado, visto que oferecem atributos físicos – mecânicos não alcançados por outros materiais e são economicamente mais viáveis. Observa-se o surgimento de uma nova geração de compósitos ecologicamente corretos, os chamados biocompósitos ou eco-compósitos. Eles são formados por fibras naturais e polímeros sintetizados por fontes renováveis com alto potencial para serem novos materiais biodegradáveis, compostáveis ou recicláveis (MANZINI, 2005).

De acordo com Ashby e Johnson (2010), "Polímeros e compósitos baseados em polímeros são os setores que crescem mais rapidamente no mercado de materiais estruturais e de decoração." (ASHBY E JOHNSON, 2010,p 201)

Estudos certificam e aprovam a incorporação de resíduos poliméricos em concretos, reaproveitando tais resíduos como benéficos para o meio ambiente, e algumas ocasiões também com redução de custos (SAIKIA, 2014; FRIGIONE, 2010).

Rahmani et al. (2013) analisou a substituição do agregado miúdo (areia) por PET reciclado, verificando os efeitos dessa substituição nas propriedades do concreto tanto fresco como o endurecido, expondo que o concreto com PET resultou em menor densidade, menor peso, e menor trabalhabilidade. Observou que as propriedades hora provocam a diminuição do desempenho mecânico, como na resistência à compressão, e hora pode resultar em uma boa garantia de resistência à flexão, variando pela quantidade incorporada nestes compósitos dos resíduos em substituição do agregado miúdo natural (SAIKIA, 2014; BATAYNEH; MARIE; ASI, 2007).

Almeida et al (2004) utilizou em sua pesquisa a substituição do agregado miúdo pela areia de PET, na fabricação de concretos, obtendo resultados positivos com teores abaixo de 50% na substituição. Canellas (2005) alcançou bons resultados entre 10 e 30% na substituição do agregado miúdo, areia, por PET.

Um tipo de material desenvolvido nos Laboratórios do Centro Federal de Tecnologia do Paraná/Cefet-PR Aguiar (2004), são os blocos intertravados ISOPET, confeccionados em concreto leve com EPS (isopor) reciclado e produzido a partir de garrafas plásticas recicladas, vide Figura 8.

Figura 8: Blocos de Isopet



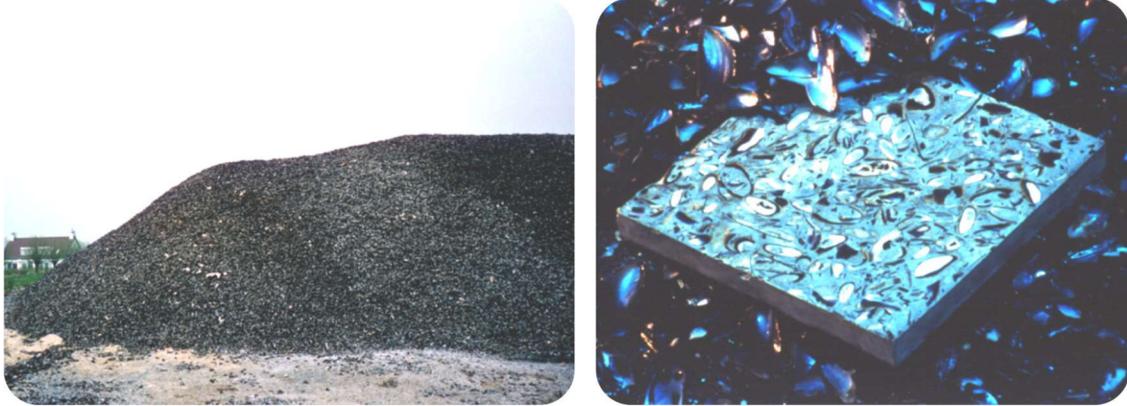
Fonte: <http://usimak.blogspot.com/2011/10/concreto-reciclado-e-garrafas-pet-podem.html>

O trabalho de Goulart (2000) proposto na PUC-Rio desenvolveu o estudo de substituição do agregado miúdo natural (areia lavada) por flocos de PET, obtidos de garrafas recicladas, na produção de argamassas visando basicamente a confecção de artefatos de concreto.

Almeida *et al.*(2004) propõe a utilização de um resíduo, denominado como areia de PET, que devido a sua granulometria, ainda não tem um fim específico a não ser o aterro, em substituição à areia convencional, para preparo de concretos convencionais, observando-se a trabalhabilidade, a densidade e a resistência à compressão.

Jan Velthuizen projetou ladrilhos compostos de cimento e conchas do mar. Estas são um refugo da indústria alimentar, e, desta maneira, está sendo reaproveitado um material que normalmente vai para o lixo. (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 162). Vide Figura 9.

Figura 9: (a) Refugo de conchas (b) ladrilhos de conchas



Fonte: Livro O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis – pág 162

Kumi-Larbi Jnr et al.(2018) autor e pesquisador do departamento de engenharia civil e ambiental, Imperial College Londres, Reino Unido, usou sacos plásticos (polietileno de baixa densidade) PEBD de água, reciclando com areia para fazer blocos de pavimento, conforme Figura 10.

Figura 10: (a) Resíduos locais (b) bloco feito de PEBD e areia



Fonte: artigo Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks

2.5 Os ladrilhos hidráulicos

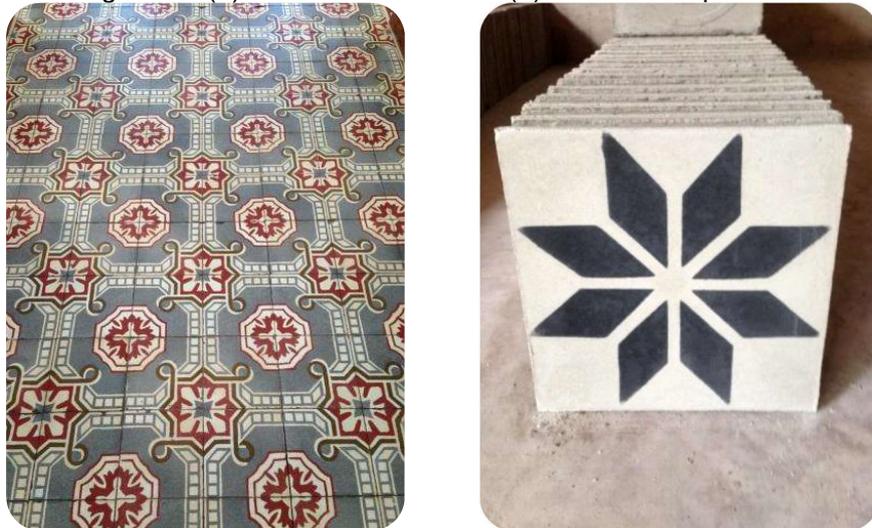
A denominação de ladrilho “hidráulico” vem do processo de fabricação, em que utiliza o processo de cura por imersão, ou seja, o que permite o endurecimento e resistência das peças em função da pega do cimento Portland, sem a necessidade de procedimentos de queima, diferenciando-o das características comuns aos pisos e revestimentos cerâmicos. Por pega do cimento entende-se sobre a perda de fluidez, e que ao ser adicionada água ao aglomerante, o cimento, ocorrem reações químicas de hidratação, originando compostos e perdendo a fluidez, tornando-se rígida (AMBROZEWICZ, 2012).

Já a definição de aglomerante é:

Aglomerante é o material ativo, ligante, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado. São utilizados na obtenção das argamassas e concretos, na forma da própria pasta e também na confecção de natas. (AMBROZEWICZ, 2012) pag.64

A designação ladrilho hidráulico surge então do seu principal componente, o cimento Portland, que é um pó fino que endurece sob a ação da água, e que permanece estável depois de endurecido, considerado assim um aglomerante hidráulico (AMBROZEWICZ, 2012). A NBR 9457:2013 define o ladrilho hidráulico como placa cimentícia paralelepípedica de dupla camada, executada por prensagem, com a superfície exposta ao tráfego lisa ou em baixo-relevo. Esta norma estabelece os requisitos e métodos de ensaio exigíveis para a aceitação de ladrilhos hidráulicos para pavimentação. O ladrilho hidráulico também pode ser definido como um revestimento composto de concreto prensado usado para revestir ambientes internos ou externos (CAVALLI e VALDUGA, 2006). A Figura 11, mostra o ladrilho aplicado ao piso, assentado, e também na posição de secagem dentro da fábrica.

Figura 11: (a) Ladrilhos assentados (b) Ladrilhos empilhados



Fonte: autor

Segundo a NBR 9457:2013 o ladrilho hidráulico possui duas faces:

- Face superior: face da peça exposta ao tráfego.
- Face inferior: face da peça em contato com a camada de assentamento.

Esta norma cancela e substitui as normas anteriores, ABNT NBR 9457:1986 (Ladrilho hidráulico – Especificação) e também as normas ABNT NBR 9458:1986 (Assentamento de ladrilho hidráulico – Procedimento), e ABNT NBR 9459:1986 (Ladrilho hidráulico – Padronização). Institui-se também através dela a classificação de seu uso, sendo eles: para o tráfego de pedestres, e também para a passagem de

veículos leves onde o tráfego é esporádico de até 20 vezes ao dia. Porém o seu uso é muito difundido no segmento de decoração e arquitetura, sendo aplicados como revestimentos de paredes, compondo os conceitos dos ambientes, que na norma anterior NBR 9457:1986 havia a especificação para esta finalidade decorativa, e que na atual já não mais aparece tal especificidade.

Para a fabricação do ladrilho hidráulico estabelecido pela norma, a argamassa utilizada nas peças deve ser composta pelo cimento Portland, agregados e água, podendo ser utilizado também com aditivos e pigmentos (ABNT NBR 9457:2013). A argamassa é a mistura de agregados miúdos, o aglomerante (cimento), e água (AMBROZEWICZ, 2012). O Quadro 3 mostra os requisitos gerais sobre estes materiais.

Quadro 3: Requisitos gerais sobre materiais para a produção de ladrilhos

Materiais
a) o cimento Portland pode ser de qualquer tipo e classe, devendo atender às normas ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 11578 E ABNT NBR 12989
b) os agregados podem ser naturais, industriais ou reciclados, atendendo à ABNT NBR 7211 ou às normas pertinentes
c) a água de amassamento deve atender a ABNT NBR 15900-1
d) os aditivos devem atender a ABNT NBR 11768
e) os pigmentos devem ser de base inorgânica e atender à ASTM C979/C979M

Fonte: Adaptado ABNT 9457:2013

Para mais detalhes e informações sobre os tipos de cimento Portland, siglas e suas classes, o Quadro 4 sintetiza estes requisitos:

Quadro 4: Tipo, sigla e classes do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b —
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	—
	Não estrutural	CPB	—	

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP 2018

O agregado, um dos materiais que compõem para a fabricação do ladrilho, é definido como um material granular sem forma ou volume definido, de atividade inerte, constituído de dimensão e propriedade adequados para a produção de argamassa e concreto (AMBROZEWICZ, 2012). O Quadro 5 classifica em:

Quadro 5: Classificação do agregado

CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO		
Quanto à origem	Naturais	Encontrados na natureza. Exemplo: areia, pedregulho
	Artificiais	Materiais processados industrialmente
Quanto à massa	Leves	Com massa unitária menor que 2.000kg/m ³
	Normais	Com massa unitária entre 2.000kg/m ³ e 3.000kg/m ³
	Pesadas	Com massa unitária acima de 3.000kg/m ³
Quanto às dimensões	Miúdos	Grãos de menor tamanho, como areia
	Graúdos	Grãos de maior tamanho, como pedregulho ou brita

Fonte: Adaptado AMBROZEWICZ, 2012

Para os efeitos da norma ABNT NBR 7211, que determina os agregados como um dos requisitos de materiais para a fabricação do ladrilho hidráulico, classificam os mesmos em:

- a) Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm;
- b) Agregado graúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Para a determinação da água conforme ABNT NBR 15900-1:2009, de modo geral verifica se a água é adequada ou não para a preparação de argamassas e concreto, de acordo com sua origem, sendo os tipos de água classificadas em:

- a) Água de abastecimento público: considerada adequada ao uso e sem necessidade de ser ensaiada
- b) Água recuperada de processos de preparação do concreto: contém exigências para ser utilizada
- c) Água de fontes subterrâneas: pode ser usada, mas deve ser ensaiada
- d) Água natural de superfície, água de captação pluvial e água residual industrial: adequada, mas deve ser ensaiada

- e) Água salobra: usada apenas para concreto não armado, mas deve ser ensaiada
- f) Água de esgoto e água proveniente de esgoto tratado: não adequada para uso

Os aditivos que também fazem parte de um dos materiais para a produção do ladrilho, de acordo com ABNT NBR 11768, tem o objetivo de modificar as propriedades da argamassa ou concreto, no estado fresco ou endurecido. A definição segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização é:

Aditivos são produtos químicos, usados na composição do concreto e/ou argamassa, adicionados à massa imediatamente antes ou durante a mistura, com o objetivo de melhorar as suas características tanto no estado fresco como no estado endurecido. (IBI, 2018) pág.5

A norma NBR 11768 (ABNT,2011), classifica os aditivos em:

- Aditivo redutor de água/ plastificante
- Aditivo de alta redução de água/ superplastificante do tipo I e II
- Aditivo incorporador de ar
- Aditivo acelerador de pega
- Aditivo acelerador de resistência
- Aditivo retardador de pega

E para completar a lista de materiais, os pigmentos podem ser de base inorgânica, como por exemplo os óxidos de ferro, entre outros. Partindo das informações básicas sobre a definição de ladrilho hidráulico e demais componentes do mesmo, é interessante saber como se dá o processo produtivos de tais artefatos, como será visto no próximo item.

2.5.1 Processo produtivo do ladrilho hidráulico

Ao contrário do que ocorre com muitas outras produções de caráter artesanal, que sofreram declínio e desuso, o ladrilho hidráulico de certa forma permaneceu inalterado até a contemporaneidade, tanto em relação ao processo de produção, quanto ao aspecto e características finais do produto.

Os processos de produção empregados nas fábricas ainda são os mesmos que o mestre artesão alega haver conhecido no passado e que se passa as demais gerações. Para o levantamento e coleta sobre a produção de ladrilhos, foram feitas visitas à fábrica localizada em São Luís do Maranhão, a Ladrilhos Santa Rosa, que

possui 53 anos de existência na capital maranhense, sob a direção de Joaquim Casanovas Neto, que herdou a fábrica de seu avô espanhol, o precursor.

De suma importância para a pesquisa foi a colaboração dos artesãos ladrilheiros, em especial o mestre dentre eles, o Sr. Martinho, que trabalha há 45 anos na fábrica, detentor do saber e fazer do ladrilho hidráulico, e o responsável por perpetuar o ofício na empresa e história, através do ensino do teu saber aos demais colaboradores. Na Figura 12 é apresentado cada personagem, cada ladrilheiro, primeiramente da esquerda para a direita, Martinho Almeida, em seguida, Silas dos Santos Lopes, João Batista Viegas e Emídio Manoel Martins dos Santos.

Figura 12: Ladrilheiros da fábrica



Fonte: autor

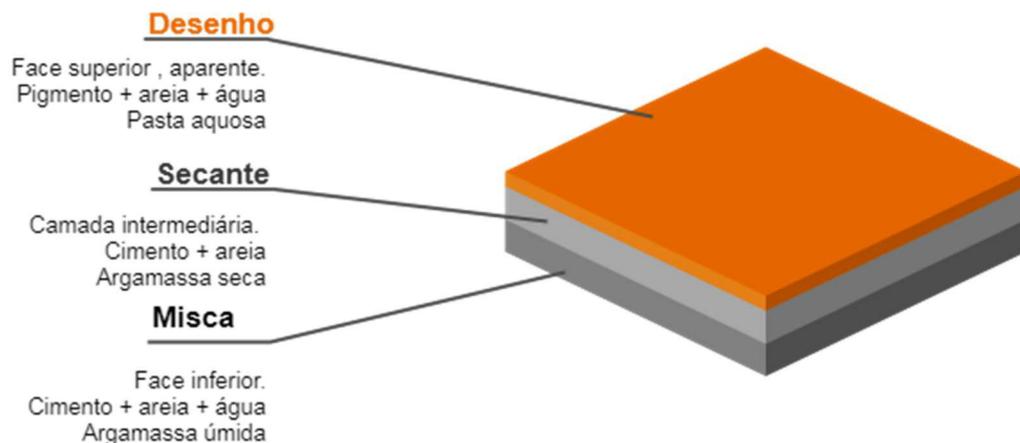
O que caracteriza a produção dos ladrilhos hidráulicos como artesanais, apesar da possibilidade da fabricação em série, é o fato de um único ladrilheiro operar o processo de produção do início ao fim. Este contato direto com o produto final é uma condição para a boa consumação de seu trabalho e até mesmo para a correção de pequenas imperfeições nas peças.

Quanto mais hábil e experiente o artesão, maior será a qualidade do ladrilho fabricado, pois como os moldes são preenchidos com diferentes cores ainda frescas pode ocorrer a mistura das cores nos diferentes, e muitas vezes estreitos,

compartimentos do molde, desmanchando o desenho elaborado, por isso também os revestimentos com desenhos mais elaborados apresentam maiores custos (MACHADO, 2005).

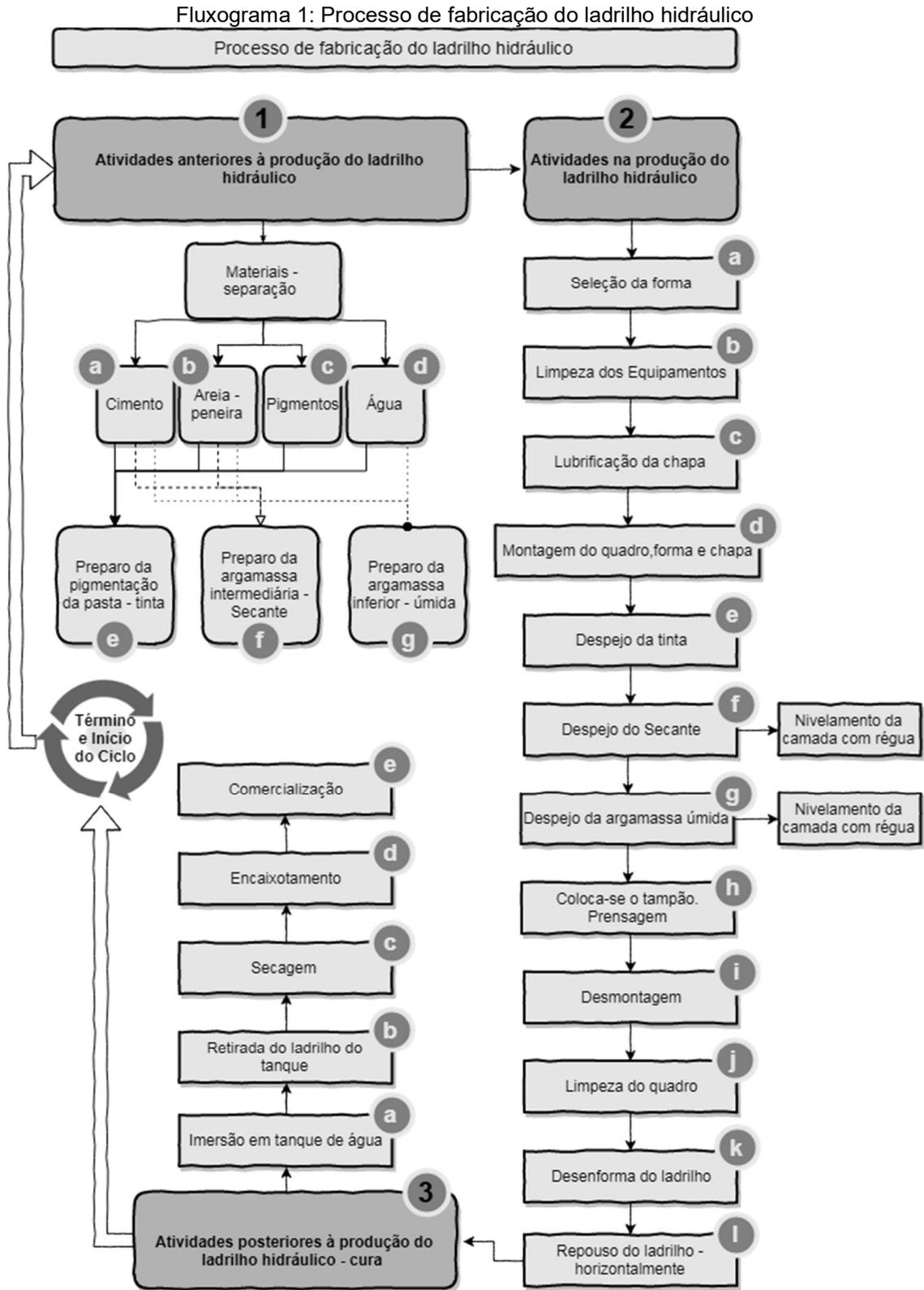
Apesar da NBR 9457:2013 aplicar ao ladrilho hidráulico duas faces, a superior e a inferior, o processo manual da sua produção e após sua inspeção visual, percebe-se a peça em três camadas compactadas, a face aparente que contém os desenhos, motivos decorativos, que na composição leva o pigmento adicionado com areia e água, com uma característica de pasta aquosa. A camada intermediária, o secante, de consistência seca, constituída de cimento e areia, e a camada/face inferior, a misca, de característica úmida, composta de cimento, areia e água. A Figura 13 mostra maiores detalhes da composição do ladrilho.

Figura 13: Ladrilho hidráulico



Fonte: autor

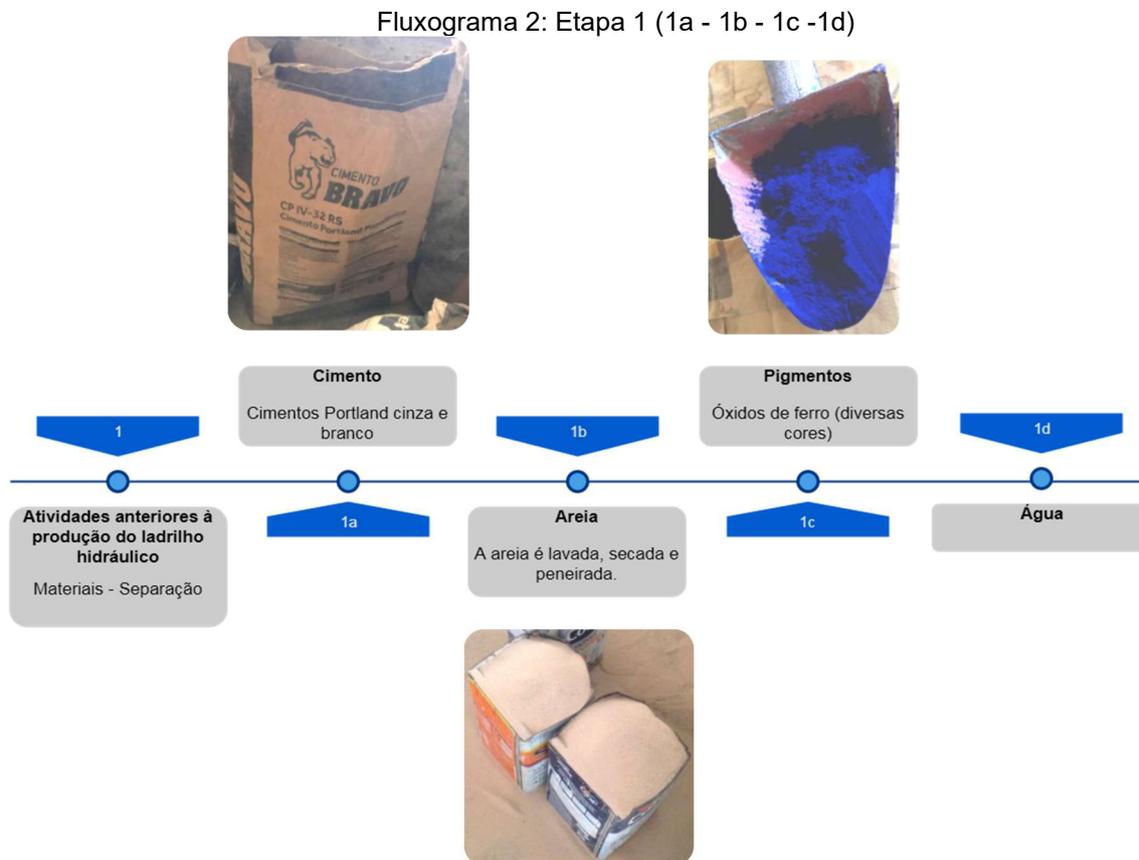
Foi elaborado um processo do passo a passo para melhor visualização e entendimento do processo produtivo do ladrilho hidráulico, conforme Fluxograma 1.



Fonte: autor

Inicialmente, conforme indicado no fluxograma pelo numeral 1, a etapa inicial do processo, estão as atividades anteriores a produção do ladrilho hidráulico. Primeiramente tem-se a separação dos materiais para a produção, que são o

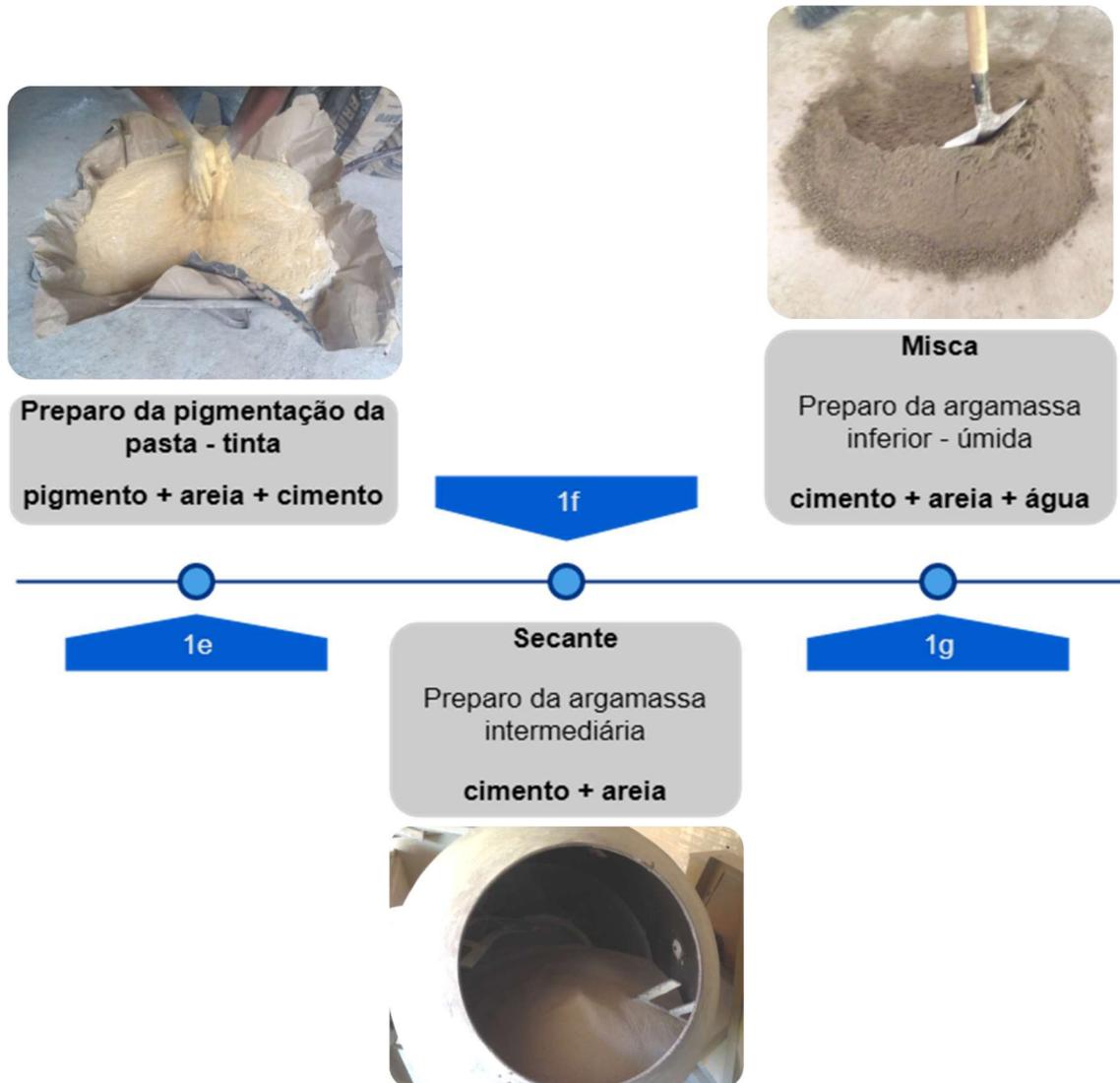
cimento Portland, podendo ser cinza ou branco, a areia que é lavada, seca e posteriormente peneirada para se obter a granulação pretendida, os pigmentos (óxidos), e água do próprio estabelecimento. O Fluxograma 2 mostra a etapa com maiores detalhes.



Em seguida é preparado a pigmentação, a tinta que fica na face aparente do ladrilho, misturando o pigmento com areia e cimento, com o traço a escolher. Por traço entende-se a indicação das proporções entre os constituintes da argamassa, que na ocasião do preparo da tinta é o de 1:5:5, significando 1 parte de pigmento para 5 partes de areia, e 5 partes de cimento. A mistura então é armazenada em depósitos para sua posterior utilização. Ainda nesta etapa é produzido o secante, que é a mistura de cimento e areia com traço de 1:1, esta argamassa é a parte intermediária do artefato. Utiliza-se de betoneira para fazer a mistura em maiores quantidades e então distribuir a massa para as estações de trabalho. E para o preparo da argamassa inferior chamada de misca, a face de assentamento da peça, mistura-se a areia, cimento com traço de 1:1, e adiciona-se água para umidificar a argamassa, num aspecto de uma farofa úmida. Em seguida é distribuída para as

estações de trabalho para sua aplicação. O Fluxograma 3 mostra os detalhes da etapa:

Fluxograma 3: Etapa 1(1e - 1f - 1g)



Fonte: autor

Na etapa 2, atividades na produção do ladrilho hidráulico, primeiramente é escolhido a forma que contém o desenho, o motivo a ser estampado na face superior da peça, em seguida os equipamentos são limpos com uma pequena vassoura de fios metálicos, após é feita uma lubrificação na chapa com cera de carnaúba, ou querosene, ou óleo, para dar o efeito desmoldante do ladrilho com os equipamentos, e logo após é realizado a montagem do quadro juntamente com a chapa e a forma. O Fluxograma 4 contém tais detalhes e imagens:

Fluxograma 4: Etapa 2 (2a - 2b - 2c - 2d)



Fonte: autor

Na sequência é despejado a tinta nos detalhes da forma com ferramentas confeccionadas pelos próprios artesãos, a tinta neste momento é acrescentada com água, com uma consistência líquida, retira-se a forma e que é limpa em água, em seguida é colocado o secante e utiliza-se de uma régua, também chamada de galga ou raspadeira, para nivelar a camada. Então é feito o despejo da misca, a argamassa úmida, que também é nivelada com a régua, depois coloca-se o tampão e é feita a prensagem através da prensa manual. Segue o Fluxograma 5:

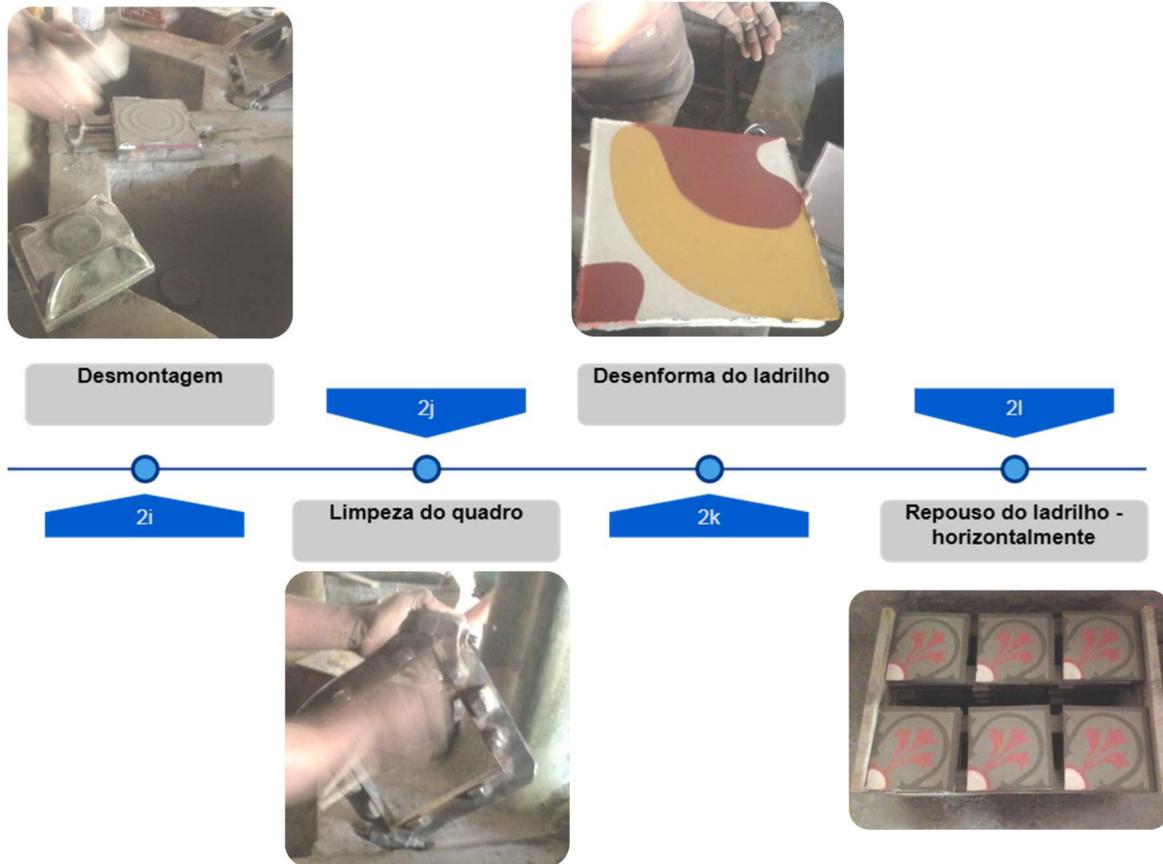
Fluxograma 5: Etapa 2 (2e - 2f - 2g - 2h)



Fonte: autor

Após prensagem, é feita a desmontagem do conjunto, a retirada do tampão, em seguida faz-se a limpeza do quadro novamente para o próximo ladrilho a ser confeccionado, logo após o ladrilho é desenhado, sendo então colocado em repouso por 16 horas. Segue o Fluxograma 6.

Fluxograma 6: Etapa 2 (2i - 2j - 2k - 2l)



Fonte: autor

Agora se inicia a etapa 3, que consiste nas atividades posteriores a produção do ladrilho hidráulico, é a etapa de início da cura, que após os artefatos ficarem em repouso por 16 horas, são imersos em tanque de água, permanecendo por 8 horas no processo de cura. Após a cura é feita a retirada dos mesmos deixando em secagem por mais 24 horas colocados em posição vertical. Encerrando esta etapa, os produtos são embalados e já podem ser comercializados. Segue Fluxograma 7.

Fluxograma 7: Etapa 3 (3a - 3b - 3c - 3d e 3e)



Fonte: autor

Para a produção dos ladrilhos, é necessário diversas ferramentas e equipamentos, muitos deles desenvolvidos artesanalmente, ou adaptados reutilizando produtos pós consumo, entre outros. No Quadro 6 encontra-se informações dos demais equipamentos e ferramentas. Primeiramente temos a estação de trabalho, que comporta até dois artesãos trabalhando, a peneira para granulação da areia no preparo da argamassa, o vazador, que se trata de uma pequena lata que os artesãos utilizam como um dosador de material da argamassa na produção de cada peça, em seguida as régua, também chamadas de galgas ou raspadeiras, que servem para o nivelamento da argamassa despejada. Possuem também baldes onde despejam a pasta de tinta, com mexedores da pasta para não endurecerem, e ferramentas confeccionadas para pegar a tinta e despejá-la nas formas ou desenhos. Ao lado temos ferramentas de lubrificação e desmoldantes dos equipamentos, que facilitam a desmoldagem dos ladrilhos.

Quadro 6: Demais ferramentas



Estação de trabalho



Peneira



Vazador



Réguas



Baldes, colheres, mexedores



Lubrificantes

Fonte: autor

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento da pesquisa

3.1.1 Pergunta da pesquisa

A produção do ladrilho hidráulico incorporado com resíduo sólido de Polietileno de Baixa Densidade estabelece os requisitos exigíveis conforme a norma da ABNT NBR 9457:2013 para aceitação e utilização?

3.1.2 Hipóteses e Variáveis

O ladrilho incorporado de resíduo se enquadra nas normas técnicas da ABNT para a produção, aceitação e utilização em pavimentação e também fins decorativos.

A produção de ladrilhos hidráulicos com a incorporação de resíduo de PEBD é viável, sendo um material alternativo que contribui para a redução do consumo de um recurso natural, a areia, e para a redução do uso do cimento.

O aproveitamento dos resíduos de PEBD na fabricação dos ladrilhos, se enquadra nos requisitos de gerenciamento de resíduos sólidos conforme PNRS, contribuindo para a reciclagem e redução do impacto ambiental.

Diante das hipóteses surgiram as seguintes variáveis:

- a) O percentual de resíduo incorporado contribui para produção e fabricação dos ladrilhos conforme norma vigente;
- b) O menor percentual incorporado obtêm melhor resultado nos ensaios, assim sucessivamente;

3.1.3 Tipo de Pesquisa

O presente estudo se enquadra como uma pesquisa exploratória e aplicada, envolvendo uma execução prática para um problema, aproveitando-se de um resíduo sólido, propiciando uma destinação adequada, reciclando-o, e contribuindo para a diminuição do impacto ambiental.

Lacerda et al. (2013), dizem que os problemas de pesquisa de ordem exploratória, enfatizam o estudo dos problemas, ilustrando o mundo real de maneira retrospectiva. Gil (2002), diz que a pesquisa exploratória visa maior entendimento e

possui intuito de gerar hipóteses para o mesmo. Sendo que a hipótese da pesquisa se trata da viabilidade do uso do resíduo sólido na fabricação de um artefato, o ladrilho hidráulico.

Realizou-se uma revisão bibliográfica para identificação e refinamento do problema de pesquisa, obtendo informações através de fontes científicas como livros, artigos, dissertações. Gil (2002) afirma que a pesquisa bibliográfica, é o meio mais apropriado para se obter informações científicas.

Quanto aos procedimentos, tem caráter experimental, sendo que este tipo de pesquisa permite selecionar variáveis manipuláveis sob o objeto de estudo (GIL, 2002). Portanto, no caso da fabricação do ladrilho hidráulico adicionando o resíduo sólido em teores de substituição parcial da areia e cimento, viabiliza que a hipótese seja testada. Permite assim, a coleta de dados e testes tanto em laboratório, quanto no campo, na própria fábrica de ladrilhos, sendo possível mensurar o que se propõe em relação as porcentagens de substituição parcial de um material pelo outro.

A pesquisa também se enquadra como pesquisa quantitativa quanto à abordagem, pois pretende mensurar dados das composições e porcentagens de substituições do material normalmente utilizado, pelo material alternativo, com a substituição parcial do mesmo na produção do produto, enfatizando a coleta e análise dos dados. Na pesquisa quantitativa, os dados são quantificáveis, expressos em números e sendo classificados (SILVA,2004). Foram realizados testes com o objeto de estudo conforme normas da ABNT, e os resultados compilados, permitindo a análise e interpretação dos mesmos.

A presente pesquisa se enquadra ainda como pesquisa qualitativa quanto à sua abordagem, de acordo com o aprofundamento em uma organização, pois a pesquisa se delimita no estudo da produção de um produto, o ladrilho hidráulico, em uma indústria do segmento na cidade de São Luís do Maranhão. A amostra é a produção de informações, ilustrações dos processos e fenômenos, descrevendo, compreendendo e explicando a produção artesanal e empírica dos ladrilhos na fábrica.

3.2 Materiais

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais, conforme o Quadro 7:

Quadro 7: Materiais utilizados

MATERIAIS PARA A PESQUISA E ENSAIOS	
Cimento	Cimento Portland Pozolânico - CP IV 32 RS
Areia	Areia coletada da própria fábrica de ladrilhos hidráulicos
Resíduo	PEBD - Polietileno de baixa densidade em grãos
Pigmentos	Utilizou-se o próprio Cimento Portland Pozolânico - CP IV 32 RS
Água	Água da própria fábrica de ladrilhos - abastecimento público

Fonte: autor

Segue abaixo maiores especificações dos materiais utilizados:

- **Cimento:** Utilizou-se na fabricação das amostras para os ensaios, o cimento utilizado na fábrica de ladrilhos, o Portland pozolânico CP IV 32 RS cinza da marca Bravo, conforme Figura 14;

Figura 14: Cimento utilizado



Fonte: Autor

- **Areia:** Fez-se a coleta da areia utilizada na fábrica para a produção do ladrilho hidráulico, conforme Figura 15;

Figura 15: Areia



Fonte: autor

- PEBD (polietileno de baixa densidade): Fez-se a coleta do resíduo polimérico em uma empresa recicladora, material coletado em forma de grãos. Segue a Figura 16 dos grãos de PEBD.

Figura 16: Grãos de PEBD



Fonte: autor

- Pigmentos: Utilizou-se o próprio cimento Portland Pozolânico CP IV 32 RS cinza como pigmento para a produção do ladrilho. Material da própria fábrica, segundo Figura 17.

Figura 17: Pigmentos



Fonte: autor

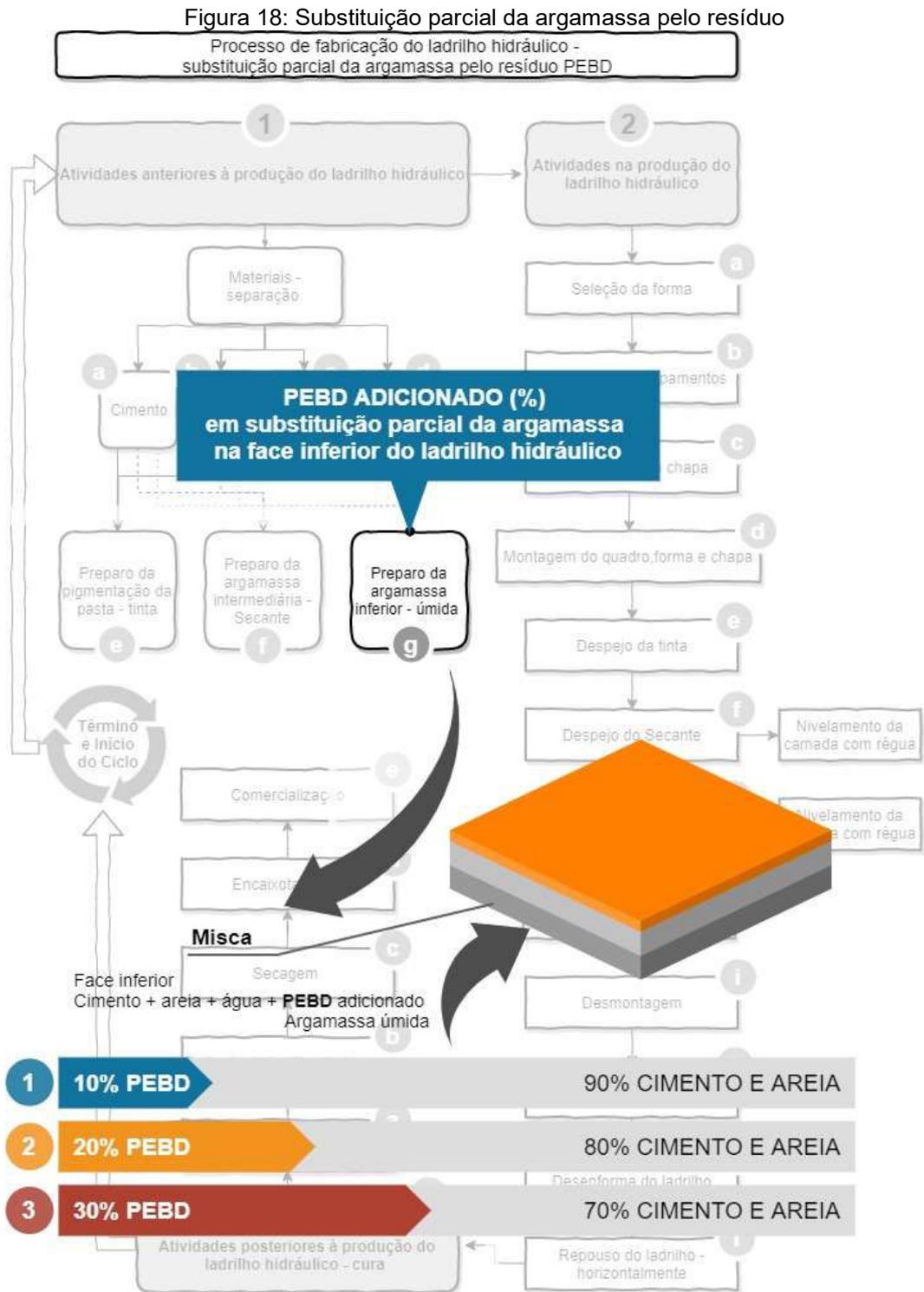
- Água: utilizou-se a água do próprio estabelecimento

3.3 Métodos

A pesquisa se baseou em pesquisas científicas, onde autores fizeram a substituição de um material usualmente utilizado na fabricação de algum artefato, por outro material alternativo, gerando um compósito em sua composição final. A partir da pesquisa foi possível definir o traço dos ensaios e os teores de substituição da argamassa (areia e cimento) por grãos do resíduo de PEBD.

Almeida et al (2004) indica teores abaixo de 50% na substituição do agregado miúdo pelo que denominou de areia de PET, na fabricação de concretos. Canellas (2005) usou teores de 10, 30, 50, e 100% de PET na substituição do agregado miúdo em argamassas, com resultados positivos alcançados entre os teores de 10 e 30%. E Cândido, Barreto e Cabral (2014) pesquisaram teores de 15, 30 e 45% de adição de PET na avaliação de blocos de concreto, obtendo melhores resultados com o teor de 15%.

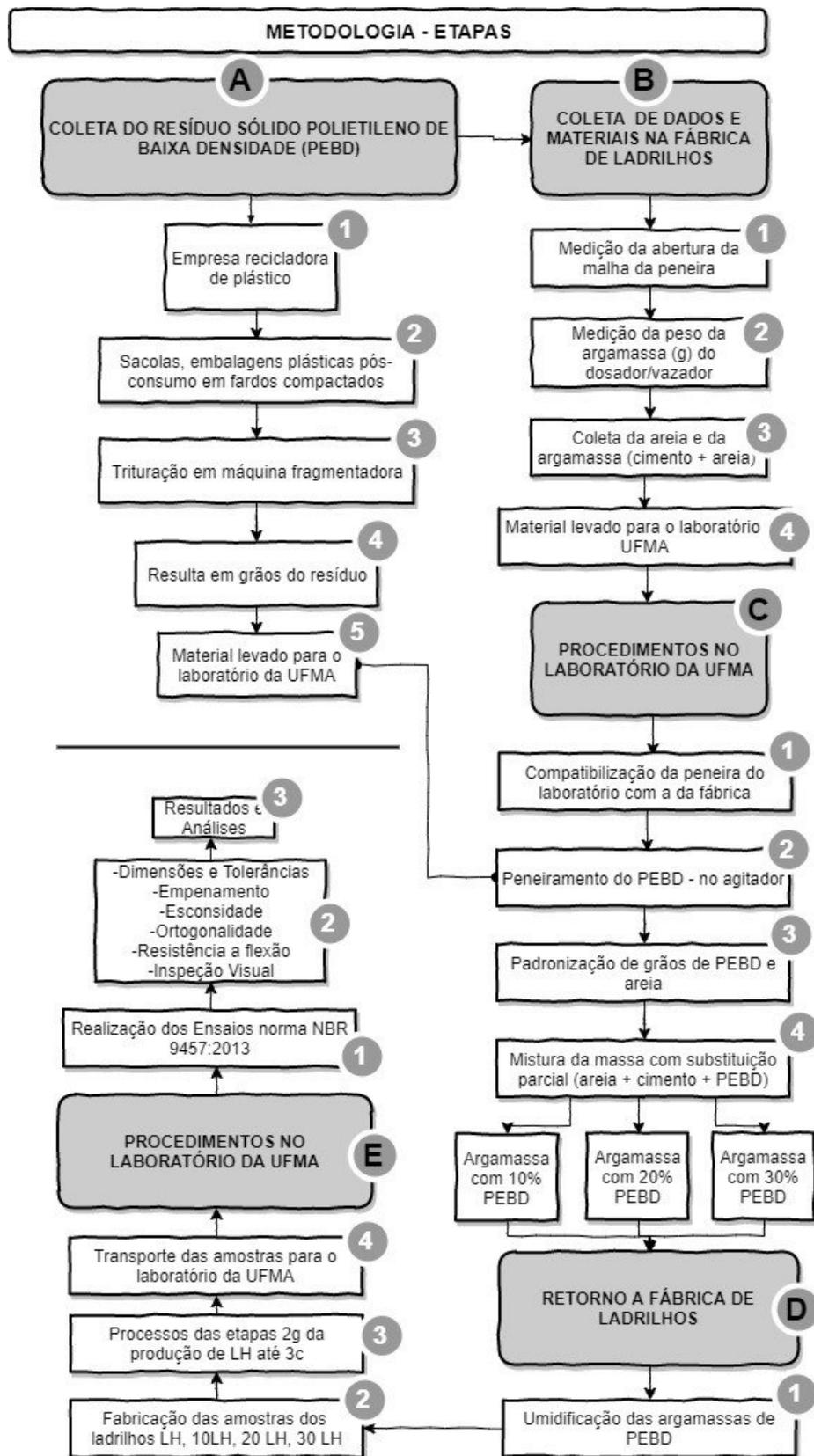
O processo da substituição parcial da argamassa pelo resíduo de PEBD na pesquisa se dá exclusivamente na face inferior do ladrilho hidráulico, a argamassa úmida, ou misca, gerando um compósito entre cimento, areia, água e o PEBD. Os testes foram realizados tanto com o material puro, o ladrilho fabricado no local sem adição de resíduos, e também outras três faixas de misturas, nas proporções de 10, 20 e 30% em substituição da argamassa natural. Ao final tem-se a comparação dos testes do ladrilho puro, natural, fabricado na indústria em comparação com as demais composições e seus percentuais. A Figura 18 explicita em que momento é feita esta mistura de composições.



Fonte: autor

Para melhor esclarecimento da metodologia e o passo a passo das etapas foi elaborado um fluxograma, conforme Fluxograma 8:

Fluxograma 8: Metodologia – Etapas

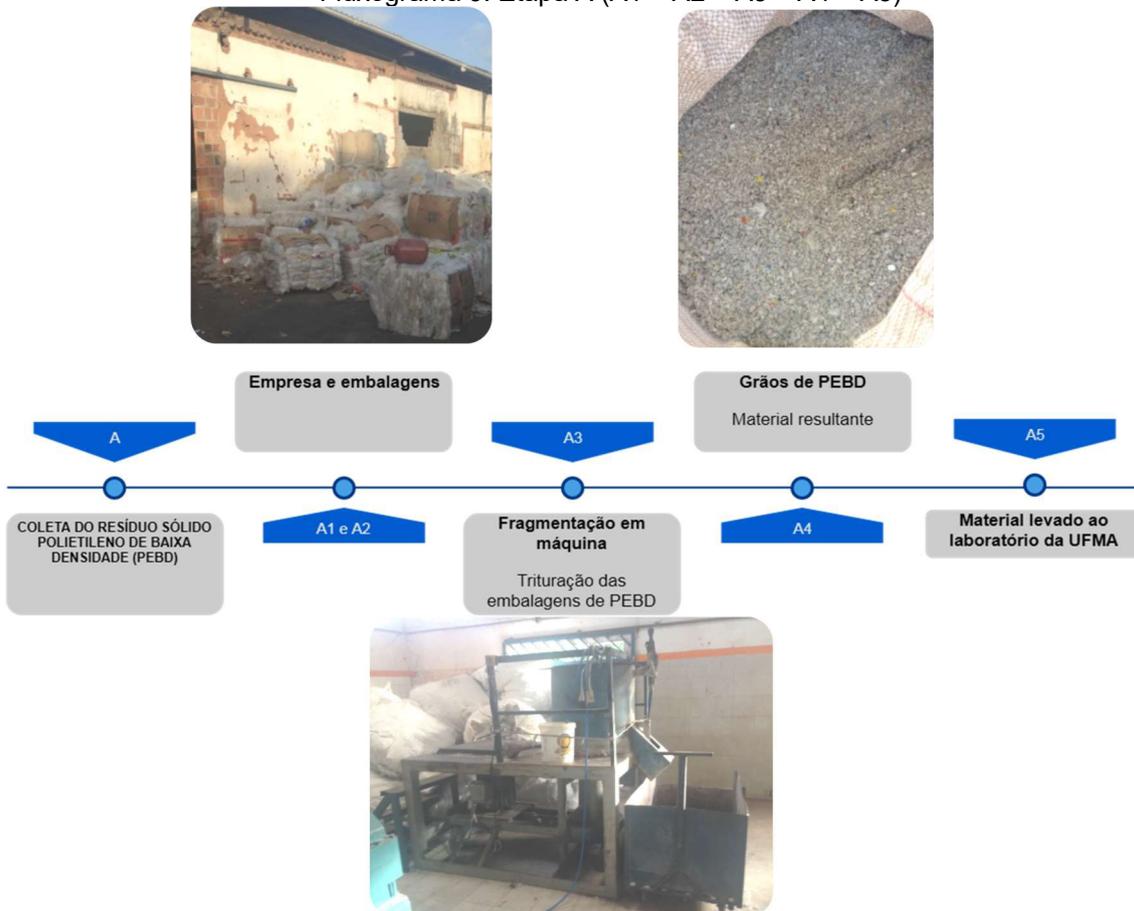


Fonte: autor

Inicialmente, conforme indicado no fluxograma indicando pela letra A, a etapa inicial da metodologia de pesquisa aplicada na produção dos ladrilhos hidráulicos

com adição dos resíduos de PEBD, se deu pela coleta do resíduo na empresa recicladora de plástico, a Ripel Reciclagem. A empresa recebe os fardos compactados coletados por cooperativas de reciclagem, compondo sacolas, embalagens plásticas pós-consumo, em seguida os colaboradores da empresa separam as embalagens, as quais são inseridas em uma máquina fragmentadora, triturando as embalagens, e resultando em grãos com variadas granulometrias do resíduo de PEBD. Este resíduo em grãos foi coletado e levado para o laboratório da UFMA para os próximos procedimentos a realizar. O Fluxograma 9 detalha a etapa:

Fluxograma 9: Etapa A (A1 – A2 – A3 – A4 – A5)



Fonte: autor

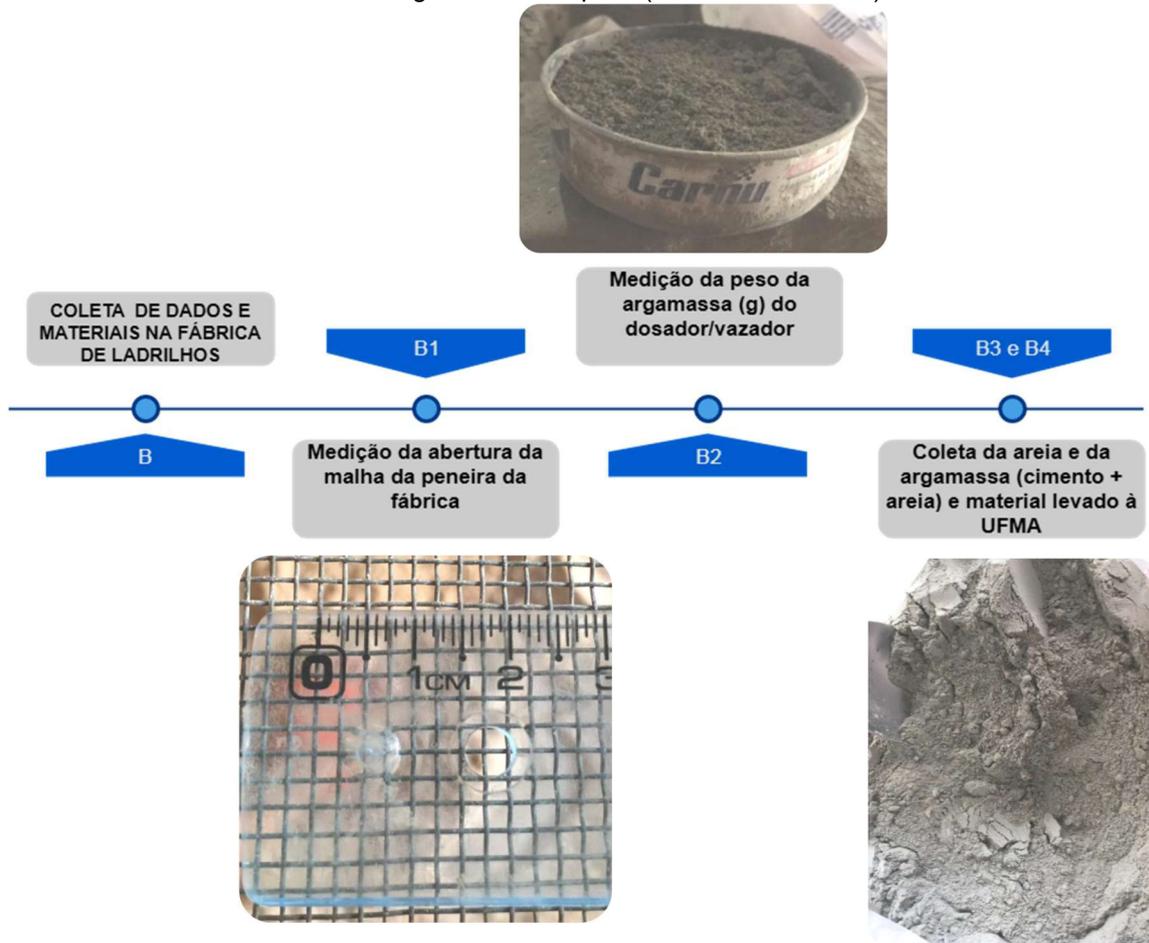
A segunda etapa, caracterizada por B, especifica a coleta de dados e materiais na fábrica de ladrilhos hidráulicos, a Distribuidora de Ladrilhos Santa Rosa. Na fábrica, o processo produtivo do artefato se desenrola de maneira empírica, tem-se um certo padrão para alguns procedimentos, porém são feitos de forma artesanal, manual, não sendo exigidas e executadas normas precisas, e sim empiricamente na maior parte dos processos. Nesta etapa, primeiramente coletamos dados da peneira utilizada para se fazer a granulação desejada para o preparo das

argamassas, a medida da abertura de cada malha quadrada é de 2 mm, que posteriormente será utilizada como referência para a próxima etapa da pesquisa. Portanto, todo material passante a malha quadrada de 2 mm é utilizada para o fabrico da argamassa local.

Em seguida, foi feita a pesagem da argamassa (areia e cimento), utilizada para despejar no quadro, e que são prensadas na fabricação do ladrilho. Esta dosagem é feita através de uma ferramenta chamada de vazador, que se trata de um recipiente que exerce a função de dosar a quantidade a ser despejada para fabricação do artefato. Com uma balança de precisão, verificou-se que a dosagem é de 328 gramas, dado este relacionado para a produção por unidade do ladrilho hidráulico confeccionado na fábrica para a face inferior do artefato. Este dado serviu de base para o cálculo das misturas dos resíduos em porcentagem na próxima etapa.

Após, recolheu-se uma quantidade generosa da argamassa seca (areia e cimento) produzida na fábrica, para que a mesma fosse utilizada nos experimentos subsequentes, levando então o material para o laboratório da UFMA. O Fluxograma 10 detalha esta etapa:

Fluxograma 10: Etapa B (B1 – B2 – B3 – B4)



Fonte: autor

Na etapa C, caracterizada por procedimentos no laboratório da UFMA, a princípio compatibilizou-se a medida da malha da fábrica com a peneira usada no laboratório da UFMA, ambas com a abertura da malha quadrada de 2 mm. Após, fez-se a separação granulométrica utilizando o agitador eletro-magnético da marca Bertel e peneiras redondas de mesma marca, equipamento normatizado conforme ABNT para tais procedimentos. A malha da peneira com abertura de 2 milímetros é caracterizada pela ABNT 7211 de número 10, e portanto, para o experimento todo o material de PEBD passante a esta peneira foi aceito e utilizado para o desenvolvimento dos testes, assim como a argamassa de mesma característica granulométrica feita na fábrica. Com isso, obteve-se uma padronização granulométrica entres os dois materiais que então foram misturados, substituindo parcialmente a argamassa (areia + cimento) pelo resíduo granulado de PEBD nas porcentagens de 10, 20 e 30%, usando como base para a proporção, as 328 g aferidas do dosador . O Fluxograma 11 detalha a etapa:

Fluxograma 11: Etapa C (C1 – C2 – C3 – C4)

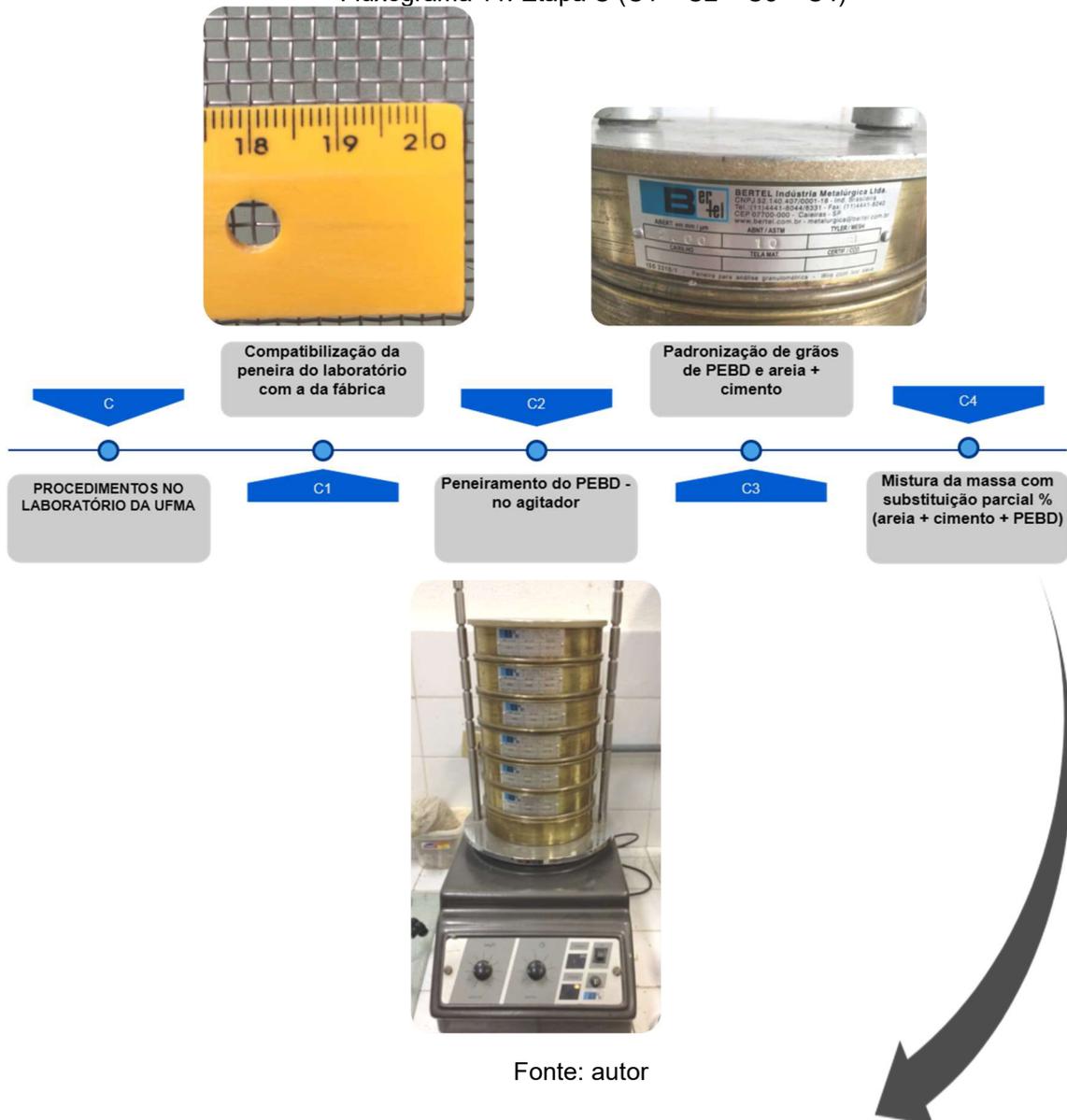


Tabela 1: Traços para execução da argamassa para base de 328 g

TRAÇO	CIMENTO (g)	AREIA (g)	PEBD (g)
LH = 0%	164	164	0
10LH = 10%	147,6	147,6	32,8
20LH = 20%	131,2	131,2	65,6
30LH = 30%	114,8	114,8	98,4

Fonte: autor

A Tabela 1 acima, mostra os materiais e os traços da mistura entre eles para o desenvolvimento dos corpos de prova necessários para os ensaios exigidos para aceitação e aprovação do produto de acordo com as normas da ABNT.

Para melhor entendimento dos códigos de traços de porcentagem de mistura de resíduos de PEBD com a argamassa, estabeleceu-se um quadro para convencionar estas informações, conforme Quadro 8:

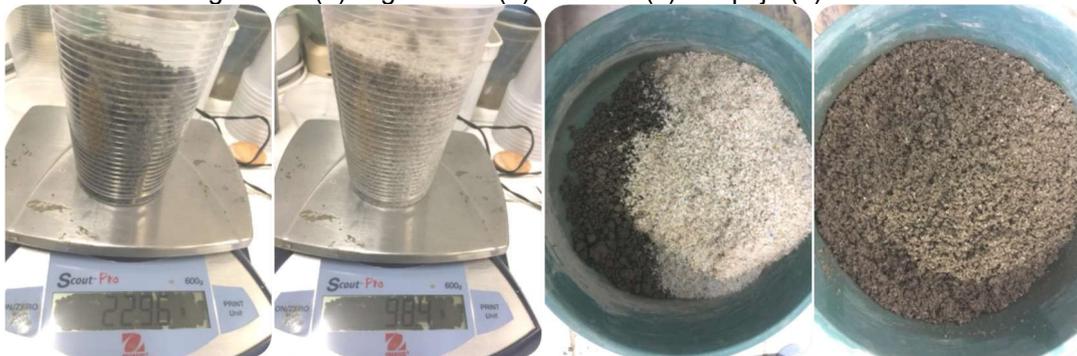
Quadro 8: Códigos dos ladrilhos hidráulicos

TRAÇO	Mistura %
LH	Ladrilho hidráulico puro (areia + cimento)
10LH	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD + 90% (areia + cimento)
20LH	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD + 80% (areia + cimento)
30LH	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD + 70% (areia + cimento)

Fonte: autor

As misturas dos traços dos compósitos, feitos no laboratório da UFMA, foram levadas novamente para a fábrica de ladrilhos para dar início a próxima etapa, a de produção dos ladrilhos hidráulicos com o acréscimo do resíduo de PEBD. A Figura 19 mostra as misturas dos compósitos feitos no laboratório, desde a pesagem da argamassa em balança de precisão, depois a pesagem do resíduo, em seguida o despejo dos materiais em uma bacia, que foram misturados por 2 minutos.

Figura 19: (a) Argamassa (b) Resíduo (c) Despejo (d) Mistura



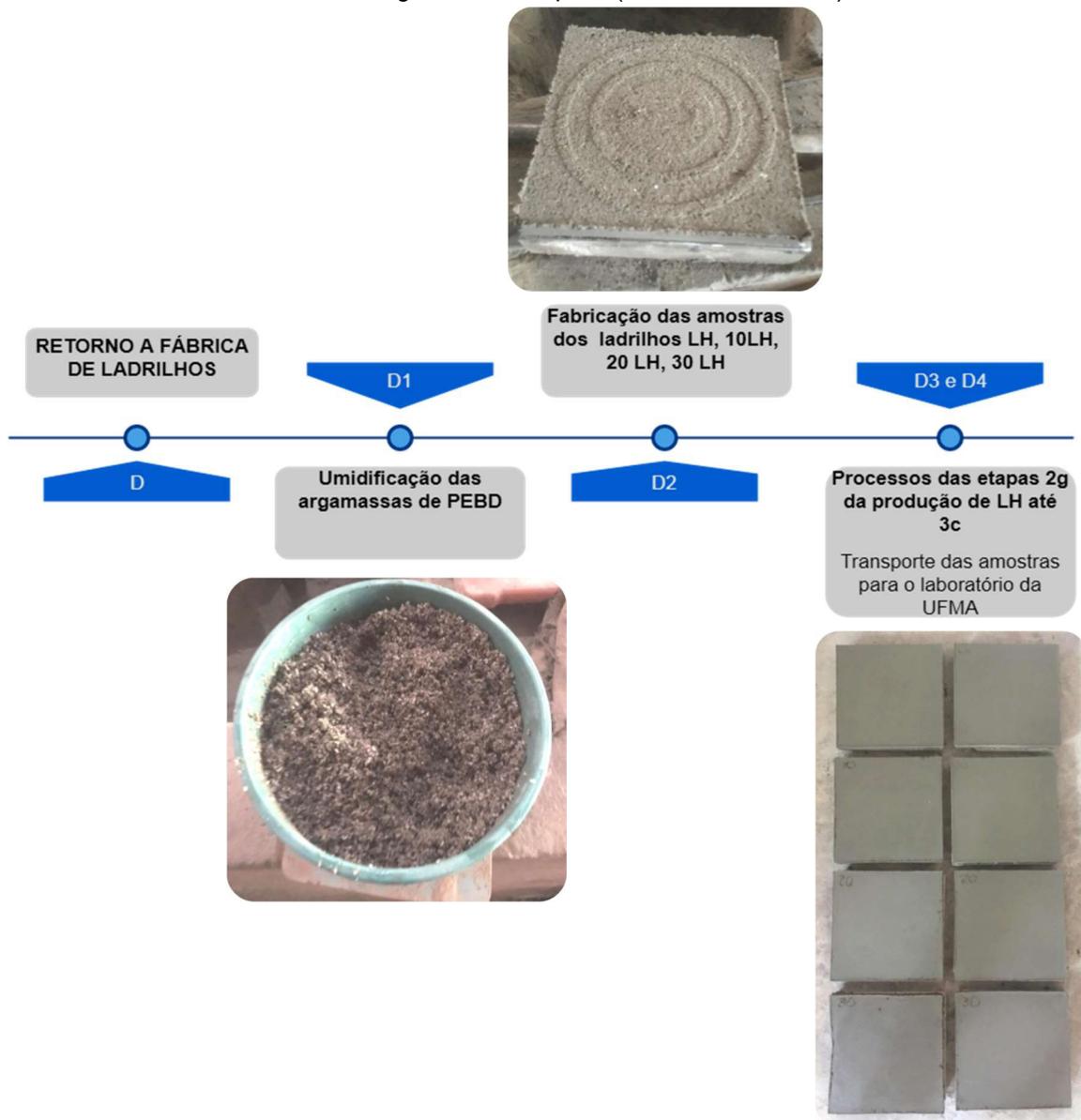
Fonte: autor

A quarta etapa, intitulada de D, trata-se do retorno à fábrica de ladrilhos hidráulicos. Com as misturas, os traços de cada proporção realizada no laboratório, foram levadas separadamente para a fábrica, e então umidificadas pelo mestre ladrilheiro para que obtivesse uma mistura que apresentasse uma aparência e consistência próxima da argamassa úmida que preparam, para então realizar a prensagem e fabricação dos ladrilhos constituídos com os resíduos de PEBD. Em decorrência da pouca quantidade de grãos de PEBD disponibilizado pela empresa de reciclagem, foi possível a produção de 2 peças por traço, sendo 2 peças de ladrilho puro (LH), 2 peças de ladrilho com 10% de PEBD (10LH), 2 peças de

ladrilho com 20% de PEBD (20LH), e mais outras 2 peças de ladrilho com 30% de PEBD (30LH).

Neste momento de produção dos ladrilhos com os compósitos, repetiu-se as etapas 2g do Fluxograma 1 (processo de fabricação do ladrilho hidráulico) até a etapa 3c, desde o despejo da argamassa úmida, que agora contém o resíduo, até a secagem do ladrilho. Todo o processo foi realizado na fábrica de ladrilhos, e que após finalizado os procedimentos, foram transportadas as amostras para o laboratório da UFMA para a realização da etapa final da pesquisa. O Fluxograma 12, descreve a etapa D:

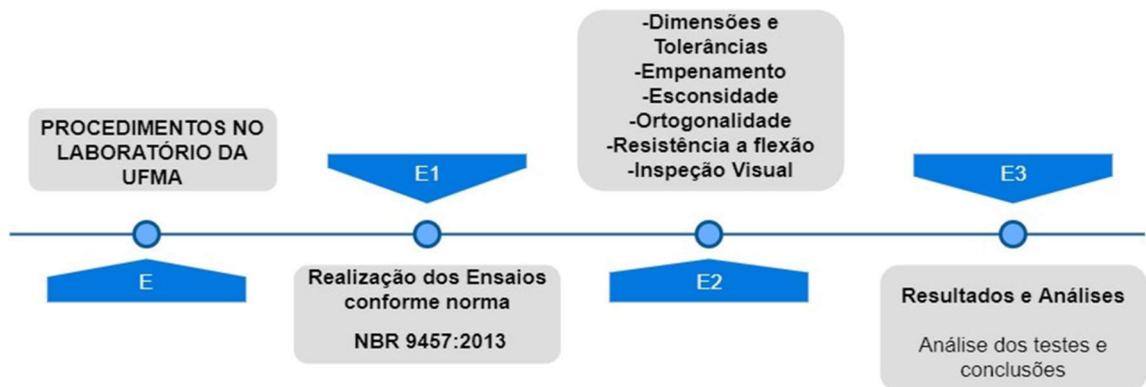
Fluxograma 12: Etapa D (D1 – D2 – D3 – D4)



Fonte: autor

Para finalizar a etapa final dos experimentos, temos a etapa E, que são os procedimentos no laboratório da UFMA. Neste momento, foram tomadas as amostras dos ladrilhos e suas diferentes composições, e levadas para o laboratório para a realização dos ensaios exigidos conforme a norma ABNT NBR 9457:2013. São eles: dimensões e tolerâncias, empenamento, esconsidade, ortogonalidade, resistência à flexão, e inspeção visual. Após os testes, deu-se o processo de análise dos resultados e conclusões. O Fluxograma 13 exibe tais informações:

Fluxograma 13: Etapa E (E1 – E2 – E3)



Fonte: autor

Para maiores informações sobre esta etapa E, os procedimentos no laboratório da UFMA, e a realização dos ensaios e seus resultados, um subcapítulo para as considerações finais posterior a este foi acrescentado, descrevendo todas as informações necessárias para a continuidade do processo empregado na pesquisa.

3.4 Ensaios

Os ensaios realizados na pesquisa estão embasados na norma ABNT NBR 9457:2013, pois se trata da norma que estabelece os requisitos e métodos dos ensaios exigidos para a aceitação dos ladrilhos hidráulicos. Trata-se de uma adaptação da mesma, pois a norma indica uma quantidade de peças a serem ensaiadas, solicitando uma amostragem de seis à nove peças para cada lote de até 400 m², o que não foi possível devido a quantidade de resíduo sólido, o PEBD, disponibilizado pela empresa de reciclagem, tendo assim duas peças de amostragem de cada composição de ladrilho hidráulico, num total de 8 ladrilhos.

Segundo a norma, para a realização dos ensaios, deve-se atender os seguintes critérios e requisitos específicos, conforme Quadro 9.

Quadro 9: Requisitos específicos

REQUISITOS ESPECÍFICOS - ABNT NBR 9457:2013	
Item	Requisitos
Comprimento nominal máximo	400mm
Largura nominal mínima	100mm
Espessura nominal mínima	18mm
Resistência à flexão	$\geq 3,5\text{MPa}$
Empenamento	Não superior a 3mm
Escondidade	Não superior a 3mm
Ortogonalidade	Não podem ser perceptíveis a olho nú
Inspeção Visual	Devem ter aspecto homogêneo

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

Nota-se nos requisitos específicos, os procedimentos e valores aceitáveis para cada ensaio, que nos itens comprimento nominal máximo, largura nominal máximo e espessura nominal mínima correspondem ao ensaio de dimensões e tolerâncias. Em seguida temos os demais ensaios previstos para a validação do produto, sendo eles a resistência à flexão, o empenamento, escondidade, ortogonalidade e inspeção visual. Veremos cada teste e dados, e posterior análise dos mesmos nos próximos capítulos.

3.4.1 Dimensões e tolerâncias

O objetivo deste ensaio é determinar as dimensões dos ladrilhos hidráulicos, sendo que cada peça do ladrilho inteira constitui um corpo de prova, e para a realização do ensaio são necessários seguir os critérios conforme Quadro 10.

Quadro 10: Determinação Dimensional

DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL	
Aparelhagem	Régua retificada de aço de 450mm
Dimensões - Procedimentos	Determinar a dimensão de cada um dos quatro lados, ajustando a régua ao corpo de prova.
	Calcular a média das quatro determinações e considerar esta média como valor da dimensão de cada corpo de prova
Espessuras - Procedimentos	Determinar em cada corpo de prova a maior espessura para cada um dos quatro cantos, na área situada entre 10mm e 50mm das bordas
	Calcular a média das quatro determinações com aproximação de 0,1mm e considerar este valor como a espessura total

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

Portanto, todos os ladrilhos hidráulicos em suas determinadas composições foram aferidos conforme exigência da norma, de acordo com a Figura 20.

Figura 20: Determinação dimensional do ladrilho



Fonte: autor

Conforme o Quadro 9, os valores de comprimento máximo que um ladrilho pode ter é de 400mm, largura mínima de 100mm, e espessura mínima de 18mm. E para acrescentar, os requisitos toleráveis para a espessura das peças variam conforme a espessura nominal do mesmo, conforme Quadro 11: Tolerâncias dimensionais das peças.

Quadro 11: Tolerâncias dimensionais das peças

TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS DAS PEÇAS - dimensões em mm			
Espessura nominal	Tolerâncias		
	Comprimento	Largura	Espessura
18 a 20	± 3	± 3	± 1
> 20	± 3	± 3	± 2

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

A variação aceitável para comprimento e largura das peças são de ± 3 mm e para a espessura entre 1 e 2mm para mais ou para menos.

3.4.2 Resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão deve ter propriedades verificadas de acordo com a ABNT 13818:1997, anexo C, que determina a carga de ruptura e módulo de resistência à flexão, admitindo limites para sua aprovação. Sendo assim são admitidos os corpos de prova com valores maiores ou igual a 3,5 MPa para o teste de ruptura a flexão. O Quadro 12, detalha os dados prescritos pela norma NBR 9457:2013 quanto resistência.

Quadro 12: Determinação da resistência à flexão

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA - FLEXÃO	
Aparelhagem	Máquina universal de ensaios mecânicos
Procedimento	Assentadas sobre a camada de apoio do equipamento
Admissão	$\geq 3,5$ MPa

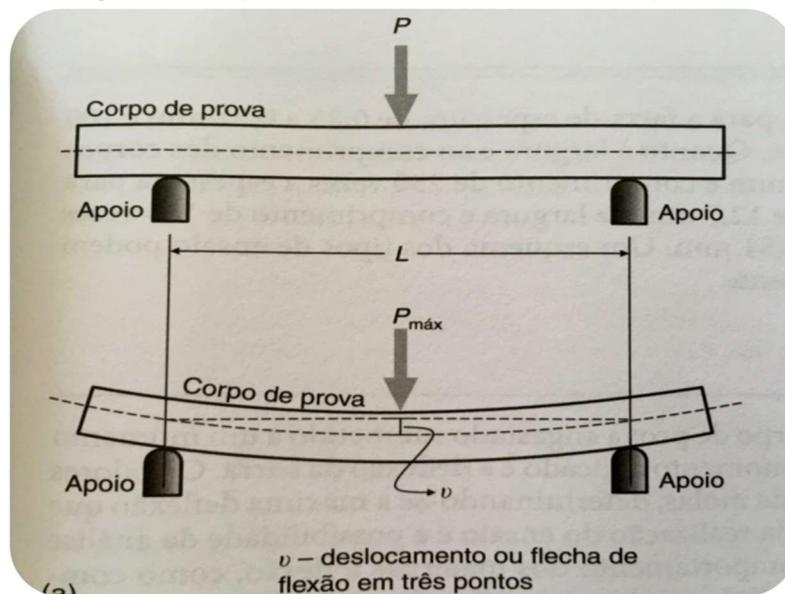
Fonte: adaptado NBR 9457:2013

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra de geometria padronizada, a qual pode estar na condição biapoada ou engastada em uma das extremidades. Mede-se o valor da carga *versus* a deformação máxima, ou a flecha (v), deslocamento dos pontos de aplicação de carga, atingida na flexão. É um ensaio muito utilizado na indústria de cerâmicos, em concreto e madeira, metais duros, devido ao fato de fornecer dados

quantitativos da deformação que esses materiais podem sofrer quando sujeitos a cargas de flexão (GARCIA, 2014).

Um dos testes para determinar a resistência à flexão, é o ensaio de flexão de três pontos. Neste ensaio, a barra a ser testada é biapoada nas extremidades e a carga é aplicada no centro do comprimento do corpo de prova de configuração regular, conforme mostra a Figura 21(GARCIA, 2014).

Figura 21: Esquema do ensaio de flexão de três pontos



Fonte: Livro Ensaio dos Materiais, pág. 173

As propriedades possíveis de serem determinadas no ensaio de flexão são: módulo de ruptura em flexão – MOR que determina o valor da tensão que levará o corpo de prova a fratura total, módulo de elasticidade – MOE, que representa o coeficiente de elasticidade do corpo de prova, além dos módulos de resiliência em flexão e módulo de tenacidade em flexão (GARCIA, 2014). Para esta pesquisa, apenas o módulo de ruptura em flexão foi de interesse e realizado.

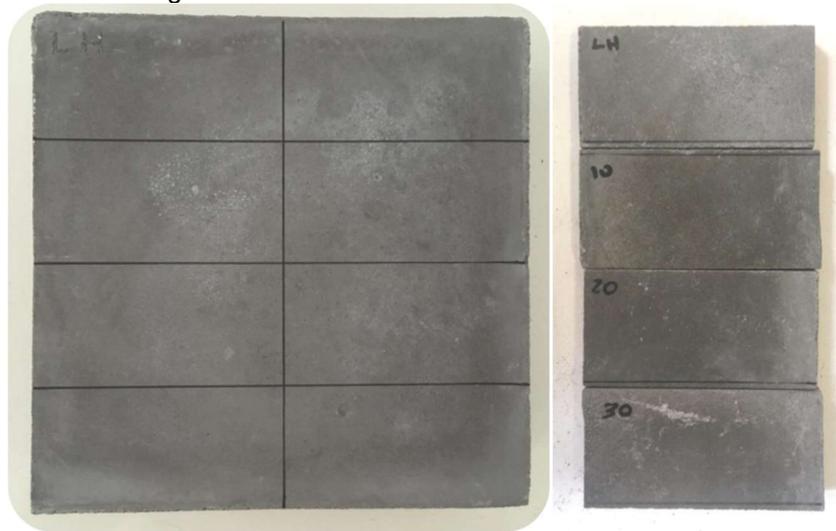
O módulo de ruptura ou resistência a flexão (MOR) é o valor máximo da tensão de tração ou compressão nas fibras externas do corpo de prova no ensaio da flexão, e seu resultado é dado em pascal (Pa). A equação do módulo de ruptura é diferente para os tipos de geometrias da seção transversal. Aqui no caso da pesquisa, a seção da geometria é retangular, e sua equação é dada por:

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot P_{\text{máx}} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Onde, P_{\max} é a carga máxima em Newtons (N), L é distância entre apoios em milímetros (mm), b é a largura do corpo de prova (em mm), h é a espessura do corpo de prova (em mm).

Para realização dos ensaios de flexão, utilizou-se de corpos de prova produzidos do ladrilho hidráulico. Cada ladrilho e sua composição foi fracionada em partes menores, devido a pouca quantidade de resíduo de PEBD fornecida para o experimento. Foram confeccionados quatro corpos de prova para cada composição do ladrilho hidráulico, todos com dimensões de $L = 80\text{mm}$, $b=50\text{mm}$, e h variado conforme cada composição. A figura XX: Fracionamento dos ladrilhos, mostra tal procedimento.

Figura 22: Fracionamento dos ladrilhos



Fonte: autor

Para facilitar a identificação de cada corpo de prova e assim posterior análise dos dados, convencionou-se uma tabela com os códigos dos corpos de prova de cada composição, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 2: Código dos corpos de prova para o ensaio de flexão

TABELA COM CÓDIGOS DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS	
LH1	Ladrilho hidráulico puro - corpo de prova nº 1
LH2	Ladrilho hidráulico puro - corpo de prova nº 2
LH3	Ladrilho hidráulico puro - corpo de prova nº 3
LH4	Ladrilho hidráulico puro - corpo de prova nº 4
10LH1	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD - corpo de prova nº 1
10LH2	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD - corpo de prova nº 2
10LH3	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD - corpo de prova nº 3
10LH4	Ladrilho hidráulico com 10% de PEBD - corpo de prova nº 4
20LH1	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD - corpo de prova nº 1
20LH2	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD - corpo de prova nº 2
20LH3	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD - corpo de prova nº 3
20LH4	Ladrilho hidráulico com 20% de PEBD - corpo de prova nº 4
30LH1	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD - corpo de prova nº 1
30LH2	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD - corpo de prova nº 2
30LH3	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD - corpo de prova nº 3
30LH4	Ladrilho hidráulico com 30% de PEBD - corpo de prova nº 4

Fonte: autor

Para a realização do procedimento de ensaio de flexão de três pontos, foi utilizada uma máquina universal de ensaios para que obtivesse os dados e resultados dos mesmos. Para isso, foi utilizada a máquina universal do laboratório de cerâmica do DEDET/UFMA, modelo Biopdi 100KN, com a velocidade de 0,5 mm/min. A máquina atende as mais variadas normas nacionais e internacionais, entre elas a NBR, ABNT. A Figura 23 mostra o equipamento e o corpo de prova sendo ensaiado.

Figura 23: Máquina universal e corpo de prova sendo ensaiado



Fonte:autor

3.4.3 Empenamento

A determinação do empenamento, consiste na verificação da distorção existente em relação aos planos originais da superfície superior dos ladrilhos hidráulicos, sendo que cada peça de ladrilho inteira constitui um corpo de prova (NBR 9457:2013). Para coletar tais dados, segue o Quadro 13 que indica a aparelhagem, o procedimento e a admissão, necessárias para o ensaio.

Quadro 13: Determinação do empenamento

DETERMINAÇÃO DO EMPENAMENTO	
Aparelhagem	Régua retificada de aço de 450mm, e calibre de lâminas
Procedimento	Apoiar a régua em uma das diagonais da peça, na sua face superior, e verificar, com o auxílio do calibre de lâminas, a maior folga existente entre a régua e a superfície da peça. Repetir na outra diagonal
Admissão	Não superior a 3mm

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

A Figura 24, teste do empenamento, mostra a aparelhagem e o procedimento conforme determinado pela norma.

Figura 24: Teste do empenamento e calibre de lâminas



Fonte:autor

3.4.4 Escondidade

A escondidade, consiste na verificação se o eixo longitudinal do ladrilho forma um ângulo reto com o eixo longitudinal de um obstáculo de referência (NBR 9457:2013). Para tal procedimento, segue o Quadro 14 determinando a aparelhagem, o procedimento e a admissão, necessárias para o ensaio.

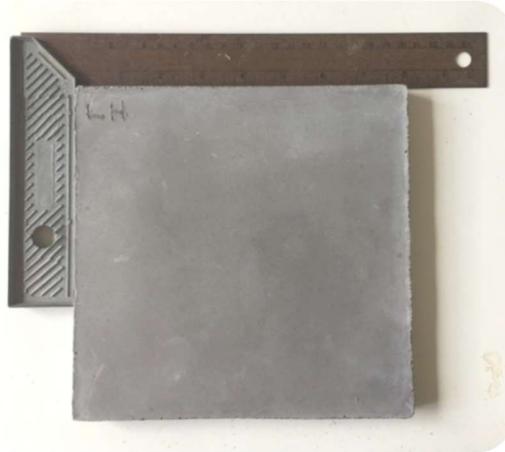
Quadro 14: Determinação do escondidade

DETERMINAÇÃO DA ESCONSIDADE	
Aparelhagem	Régua retificada de aço de 450mm, e calibre de lâminas, e esquadro retificado
Procedimento	Apoiar o esquadro em um dos lados da peça e verificar, com auxílio do calibre de lâminas, a maior folga existente entre o esquadro e a outra lateral. Repetir nas outras laterais
Admissão	Não superior a 3mm

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

A Figura 25, teste de escondidade, ilustra o procedimento realizado com a aparelhagem determinada.

Figura 25: Teste de esconsidade



Fonte:autor

3.4.5 Ortogonalidade

O teste de ortogonalidade, consiste na avaliação da ortogonalidade das faces laterais em relação ao plano horizontal, não sendo permitidos desvios a olho nú (NBR 9457:2013). O Quadro 15 descreve o procedimento.

Quadro 15: Determinação da ortogonalidade

DETERMINAÇÃO DA ORTOGONALIDADE	
Aparelhagem	Esquadro retificado
Procedimento	A ortogonalidade das faces laterais em relação ao plano horizontal deve ser avaliada com a face superior da peça apoiada em uma superfície plana
Admissão	Não podem ser perceptíveis a olho nú

Fonte:adaptado NBR 9457:2013

A Figura 26, ilustra o procedimento realizado com o ladrilho apoiado com sua face superior em uma superfície plana para aferição com esquadro, conforme determinado pela norma.

Figura 26: Teste de ortogonalidade



Fonte: autor

3.4.6 Inspeção visual

A inspeção visual é o último teste determinado pela norma, e não possui aparelhagem para sua aferição, a avaliação se dá visualmente, verificando se a peça consta de algum defeito aparente, que venha a ter o desempenho estrutural ou estético comprometido (NBR 9457:2013). O Quadro 16: Determinação da inspeção visual, descreve o procedimento.

Quadro 16: Determinação da inspeção visual

DETERMINAÇÃO DA INSPEÇÃO VISUAL	
Aparelhagem	Não possui
Procedimento	As peças do lote devem ser inspecionadas visualmente, com o objetivo de identificar peças com defeitos que possam vir a prejudicar o assentamento, desempenho ou estética
Admissão	A olho nú, as peças devem apresentar aspecto homogêneo, arestas vivas, ângulos retos, livre de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação

Fonte: adaptado NBR 9457:2013

A Figura 27: Teste de inspeção visual – face superior, ilustra os ladrilhos hidráulicos produzidos em suas composições, mostrando a face superior.

Figura 27: Teste de inspeção visual – face superior



Fonte: autor

E a Figura 28: Teste de inspeção visual – face inferior (LH – 10LH – 20LH – 30LH), expõe a face inferior dos ladrilhos hidráulicos produzidos em suas composições em ordem da esquerda para a direita, do ladrilho hidráulico normal, e subsequente com as adições de 10, 20 e 30% de PEBD, face esta onde as composições de resíduos de PEBD se encontram.

Figura 28: Teste de inspeção visual – face inferior (LH – 10LH – 20LH – 30LH)



Fonte: autor

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo, apresenta-se as análises comparativas das amostras de ladrilho hidráulico padrão produzido na fábrica local, e os ladrilhos hidráulicos em suas composições adicionados de resíduo de PEBD, bem como as discussões referentes aos resultados obtidos, seguindo à ordem apresentada no subcapítulo 3.3 Ensaio e testes.

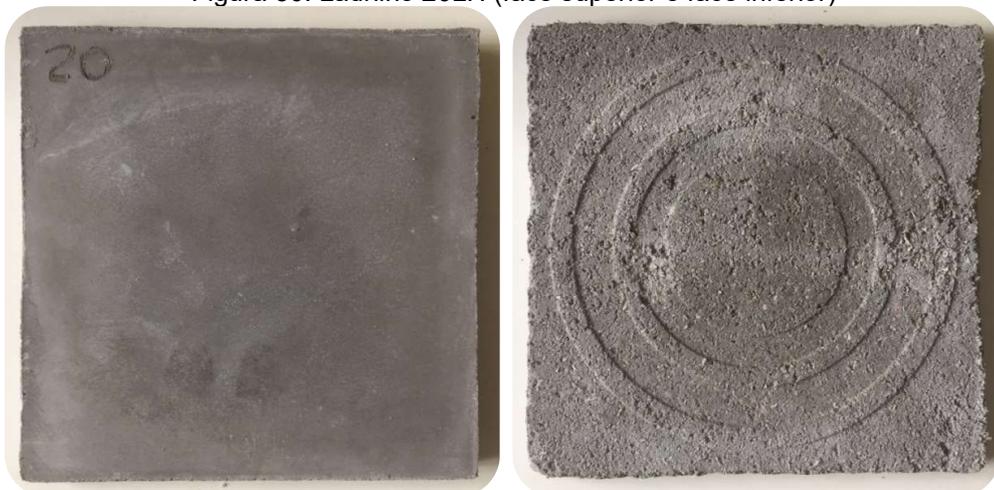
Para fins ilustrativos, temos as imagens dos ladrilhos obtidos com a pesquisa, em ordem de porcentagem de composição de resíduo, de 10, 20 e 30%, segundo Figuras 29, 30 e 31. Em seguida temos a Figura 32 que se trata do ladrilho LH, o padrão, produzido normalmente na fábrica, para ter a comparação visual entre as peças.

Figura 29: Ladrilho 10LH (face superior e face inferior)



Fonte: autor

Figura 30: Ladrilho 20LH (face superior e face inferior)



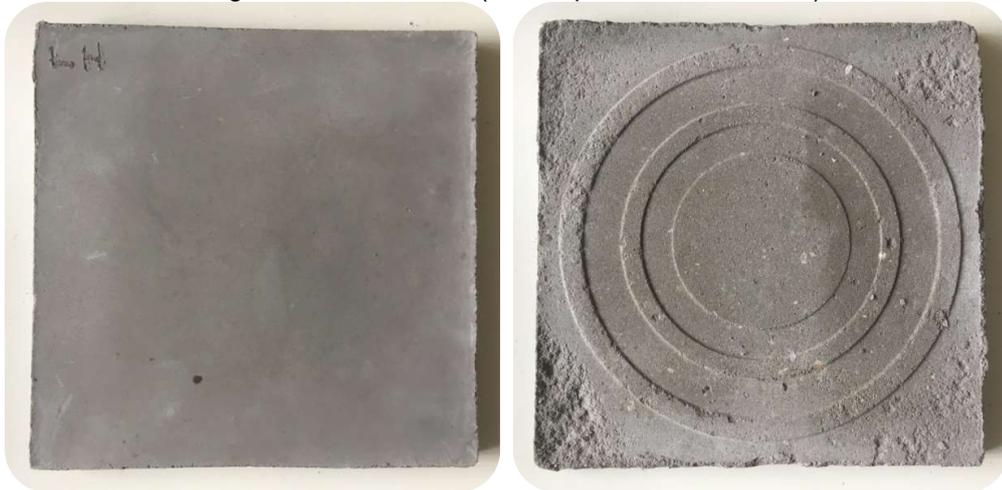
Fonte: autor

Figura 31: Ladrilho 30LH (face superior e face inferior)



Fonte: autor

Figura 32: Ladrilho LH (face superior e face inferior)



Fonte: autor

4.1 Dimensões e tolerâncias

Para base de cálculo para determinar o teste de dimensões do ladrilho hidráulico, utilizou-se por base referencial o ladrilho quadrado, com medidas de comprimento de 200 mm e largura de 200 mm, e espessura de 18mm, pois se trata do padrão utilizado na produção do ladrilho hidráulico na fábrica. Foram utilizados 2 corpos de prova para cada composição de ladrilho. Segue os resultados do ensaio dimensional conforme o Quadro 17.

Quadro 17: Ensaio da determinação dimensional

Teste de Determinação Dimensional - referencia de ladrilho de 200mm x 200mm, espessura 18mm						
CORPOS DE PROVA	COMPRIMENTO / LARGURA	MÉDIA	TOLERÂNCIA ADMISSÍVEL ± 3mm	ESPESSURA	MÉDIA	TOLERÂNCIA ADMISSÍVEL ± 1mm
LH1	203	202,5	ADMITIDO	15,5	14,65	NÃO ADMITIDO
	202			15,5		
	202,5			13,5		
	202,5			14,1		
LH2	202,5	202,37	ADMITIDO	12,3	12,87	NÃO ADMITIDO
	202			12,9		
	203			13,3		
	202			13		
10LH1	202,5	202,4	ADMITIDO	15	13,42	NÃO ADMITIDO
	202			13,1		
	203			12,5		
	202			13,1		
10LH2	202	202,25	ADMITIDO	13	12,75	NÃO ADMITIDO
	202,5			12		
	202,5			12,5		
	202			13,5		
20LH1	202,5	202,37	ADMITIDO	14	15,15	NÃO ADMITIDO
	202,5			15		
	202,5			15,6		
	202			16		
20LH2	202	202,25	ADMITIDO	12,2	12,77	NÃO ADMITIDO
	202,5			13,4		
	202,5			12,5		
	202			13		
30LH1	202,5	202,75	ADMITIDO	16,8	15,65	NÃO ADMITIDO
	202,5			15,5		
	203			13,5		
	203			16,8		
30LH2	203	202,87	ADMITIDO	14,8	15,37	NÃO ADMITIDO
	202,5			15,6		
	203			15,8		
	203			15,3		

Fonte: autor

Verifica-se que os resultados para o aspecto dimensional das peças, o comprimento e largura, que todos os corpos de prova em suas composições desde LH, 10LH, 20LH e 30LH estão em conformidade com as normas exigidas, sendo admitidas em todas as composições.

Porém, o ensaio para a determinação da espessura dos mesmos não estão em conformidade, não sendo admitidos em nenhuma composição. Verifica-se que a média do ladrilho normal, o padrão, LH, produzido frequentemente pela indústria de ladrilhos, também não foi admitido sua aprovação conforme a norma base.

Portanto, a não conformidade em relação à espessura se deu por partir de um ladrilho que não tinha os 18mm exigidos pela norma, as amostras já vieram desconforme desde sua produção na fábrica, e como aqui partimos da reprodução do que a fábrica faz empiricamente, se explica por isso o motivo de todos estarem desconformes.

4.2 Resistência à flexão

A norma NBR 9457:2013 enfatiza que para uma amostra de ladrilho seja admitida quanto à resistência à flexão, é necessário que o resultado do ensaio seja maior ou igual a 3,5Mpa, conforme descrito no capítulo 3.4.2 Resistência à flexão. O Quadro 18 apresenta os resultados.

Quadro 18: Ensaio de resistência à flexão

Teste de Resistência à Flexão			
CORPOS DE PROVA	RESISTÊNCIA A FLEXÃO (Mpa)	MÉDIA (Mpa)	ADMISSAO ≥ 3,5Mpa
LH1	0,13 (erro*)	4,53	ADMITIDO
LH2	5,25		
LH3	3,52		
LH4	4,83		
10LH1	4,93	5,12	ADMITIDO
10LH2	6,39		
10LH3	4,40		
10LH4	4,78		
20LH1	5,19	4,51	ADMITIDO
20LH2	3,55		
20LH3	4,46		
20LH4	4,83		
30LH1	3,83	3,95	ADMITIDO
30LH2	4,64		
30LH3	3,10		
30LH4	4,21		

Fonte: autor

Verificou-se que todos os corpos de prova, com exceção do corpo de prova LH1, que gerou um erro pela máquina universal no momento do teste, e que foi desprezado e não contabilizado na média, os demais foram aprovados, admitidos, superando o limite prescrito para o módulo de ruptura do ensaio de flexão.

Nota-se que a composição de ladrilho com 10% de resíduo de PEBD, o 10LH, superou o próprio ladrilho produzido na fábrica com 5,12 MPa, o LH com 4,53 MPa, e a composição com 20% de resíduo praticamente igualou o resultado do LH com 4,51 MPa, e a composição de 30% já houve um declínio com 3,95 MPa, porém ainda aceitável conforme exige a norma.

Para agregar dados na análise destes resultados, com o ensaio realizado na máquina universal de flexão, são gerados também dados da deformação relativa na flexão (ε_f) de cada composição, sendo que a composição LH alcançou uma elasticidade média de 0,30%, a composição 10LH com 0,35%, 20LH de 0,47%, e 30LH de 0,68%. Portanto, o comportamento do material teve uma propriedade elástica expandida na medida em que aumentou o percentual de resíduo.

E para complementar, foram realizados ensaios de absorção de água, resultando em 10,67% de absorção para o LH, para o 10LH de 11,26%, para o 20LH de 11,69%, e o composto 30LH de 19,91% de absorção de água. Isso demonstra que as três primeiras composições, LH, 10LH e 20LH obtiveram valores muito próximos, denotando que a porosidade entre eles praticamente foram semelhantes, e o 30LH aumentou consideravelmente a porcentagem de água, se tornando um material mais poroso, e quanto mais poroso um material é, mais frágil se torna, e quanto menos poros, mais rígido.

Com estes dados, permite-se dizer que as três composições iniciais, o LH, 10LH e 20LH, tem comportamentos e propriedades semelhantes, em decorrência dos resultados próximos, como foi no módulo de ruptura a flexão, a deformação elástica e absorção de água. Já a composição 30LH, obteve dados diferentes e distantes dos demais, porém, ainda assim todos foram admitidos, obtiveram conformidade em relação a norma.

4.3 Empenamento

O ensaio de empenamento, foi realizado com o ladrilho inteiro, de 200mm de comprimento, por 200mm de largura de base, constando seus resultados no Quadro 19.

Quadro 19: Ensaio de empenamento

Teste de Empenamento		
CORPOS DE PROVA	MAIOR FOLGA	TOLERÂNCIA ADMISSÍVEL até 3mm
LH1	0,5	ADMITIDO
LH2	0,5	ADMITIDO
10LH1	0,6	ADMITIDO
10LH2	0,6	ADMITIDO
20LH1	0,7	ADMITIDO
20LH2	0,8	ADMITIDO
30LH1	0,9	ADMITIDO
30LH2	1	ADMITIDO

Fonte: autor

Constata-se que todos os corpos de prova em todas as suas composições foram admitidas, aprovadas. Nota-se que a medida que o teor de composição aumenta, a folga de empenamento também tem seus resultados acrescidos, porém todos dentro do limite tolerável para a admissão, que é de 3mm. Ao acrescentar o percentual de resíduo, a folga também aumenta gradativamente, em decorrência da presença dos grãos de PEBD, que por terem propriedades de flexibilidade e plasticidade, reagem com a mistura do aglomerante, o cimento, gerando distorções na face superior da peça, parte prescrita para a aferição da folga conforme a norma.

4.4 Escondidade

O ensaio de escondidade, foi realizado com o ladrilho inteiro, conforme prescrito pela norma, com medidas de 200mm de comprimento, por 200mm de largura de base. O Quadro 20 apresenta os resultados.

.Quadro 20: Ensaio de esconsidade

Teste de Esconsidade		
CORPOS DE PROVA	MAIOR FOLGA	TOLERANCIA ADMISSÍVEL até 3mm
LH1	1	ADMITIDO
LH2	1	ADMITIDO
10LH1	1	ADMITIDO
10LH2	1	ADMITIDO
20LH1	1	ADMITIDO
20LH2	1	ADMITIDO
30LH1	1,5	ADMITIDO
30LH2	1,5	ADMITIDO

Fonte:autor

Todos os corpos de prova em todas as suas composições foram admitidas, aprovadas. Notou-se que um pequeno aumento na folga apenas na composição 30LH, porém todos dentro do limite tolerável para a admissão, que é de 3mm. Verifica-se que as demais composições, exceto a 30LH, não houve alteração na folga. Pela análise, o ladrilho 30LH, no processo de fabricação, foi o que teve maior dificuldade para desmolde da forma e quadro, e que resultou em uma maior aplicação de força por parte do ladrilheiro para sua retirada e que por forçá-lo, gerou uma pequena deformação, o que aqui acredita-se ter influência no resultado, pois as demais composições permaneceram inalteradas

4.5 Ortogonalidade

O ensaio de ortogonalidade, também foi realizado com o ladrilho inteiro, de 200mm de comprimento, por 200mm de largura de base, com os resultados listados no Quadro 21.

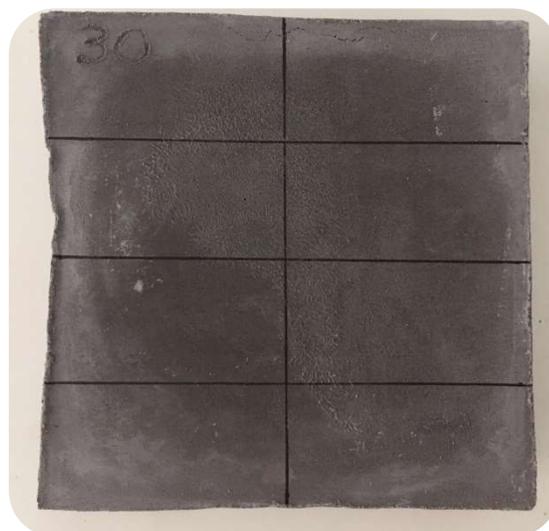
Quadro 21: Ensaio de Ortogonalidade

Teste de Ortogonalidade	
CORPOS DE PROVA	ADMISSÃO - SEM DESVIOS A OLHO NÚ
LH1	ADMITIDO
LH2	ADMITIDO
10LH1	ADMITIDO
10LH2	ADMITIDO
20LH1	ADMITIDO
20LH2	ADMITIDO
30LH1	ADMITIDO
30LH2	NÃO ADMITIDO

Fonte: autor

Todas as amostras foram aprovadas, com exceção da amostra do ladrilho 30 LH2, que não atendeu a norma prescrita. Porém a reprovação deste corpo de prova quanto a ortogonalidade se deu devido ao momento de fabricação, onde o ladrilheiro teve uma dificuldade para o desmolde da peça, exigindo que o ladrilheiro forçasse a retirada, gerando uma pequena deformação quanto a este dado, gerando não conformidade. A Figura 33 mostra este detalhe.

Figura 33: 30LH2 não admitido



Fonte: autor

4.6 Inspeção visual

O ensaio de inspeção visual, foi realizado com a peça inteira, de 200mm de comprimento, por 200mm de largura de base, conforme prescrito pela norma, e seus resultados são apresentados no Quadro 22.

Quadro 22: Ensaio de inspeção visual

Teste de Inspeção Visual	
CORPOS DE PROVA	ADMISSÃO - livre de defeitos, rebarbas, delaminação, descamação
LH1	ADMITIDO
LH2	ADMITIDO
10LH1	ADMITIDO
10LH2	ADMITIDO
20LH1	ADMITIDO
20LH2	ADMITIDO
30LH1	NÃO ADMITIDO
30LH2	NÃO ADMITIDO

Fonte: autor

Apenas uma composição, a composta por 30% de resíduo (30LH), foram reprovados as duas amostras, devido a descamação e delaminação, mostrando que os grãos de PEBD não permanecem compactados e grudados a peça, esfarelado com certa facilidade, removendo a camada inferior, possuindo aspecto não homogêneo e portanto não admitidas. Indica que quanto maior o percentual de grãos de PEBD, se comporta desprendendo da peça com certa facilidade, pois o aglomerante (cimento) em menor quantidade nesta composição não permitiu que a argamassa da camada inferior ficasse com um aspecto compacto e homogêneo, não unindo os materiais conforme era de se aguardar. As demais composições foram admitidas, e os valores com até 20% permanecem aceitáveis. A figura 34, mostra a camada inferior das composições LH, 10LH e 20LH, admitidas no ensaio. E a figura 35, exibe o aspecto da composição 30LH, não admitida.

Figura 34: Camada inferior LH, 10LH e 20LH



Fonte: autor

Figura 35: Camada inferior 30LH



Fonte: autor

4.7 Análise

Diante da pesquisa e ensaios realizados para o desenvolvimento do trabalho conclui-se que é possível o desenvolvimento dos ladrilhos hidráulicos incorporados com os diferentes percentuais de resíduos de PEBD.

Verificou-se que a incorporação do resíduo nos percentuais de 10 a 20% são aceitáveis conforme a norma prescrita pela ANBT para a fabricação e uso dos ladrilhos hidráulicos. Sendo que a proporção que obteve os melhores resultados comparando todos os ensaios realizados, se trata da adição de 10% de resíduo, e que o mesmo superou as propriedades mecânicas do ladrilho hidráulico puro.

Portanto, a adição dos resíduos em determinado percentual proporciona um beneficiamento do material e suas propriedades mecânicas, como visto no principal ensaio exigido pela norma, o de resistência à flexão, superando os resultados do

ladrilho puro, com o adicionamento entre 10 e 20%. As avaliações positivas dos ensaios realizados concluiu que a produção dos ladrilhos compósitos pode ser uma alternativa para o desenvolvimento de um novo produto aliado as questões ambientais e sustentáveis.

A pesquisa tem relevância para os aspectos da degradação ambiental, demonstrando que o resíduo de PEBD, muito comum em nosso dia a dia, pode ser reaproveitado e reutilizado no desenvolvimento de novos produtos, aqui o ladrilho hidráulico compósito, podendo contribuir para a minimização do impacto ambiental, mesmo em uma escala micro, do descarte inadequado dos resíduos sólidos em nosso meio ambiente.

A pesquisa pode ser aproveitada como uma ação local, regional, assim como prescreve a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), já que a mesma foi realizada em território maranhense, contribuindo para ações sustentáveis, aplicados a espaços e habitações com característica de baixo custo de produção.

De suma importância para a realização da pesquisa, foram os ladrilheiros, que através dos saberes e fazeres artesanais do ladrilho hidráulico, possibilitaram a concretização do trabalho. Atuantes desde o início do processo, primeiramente demonstrando seu dia-a-dia na fábrica, as atividades, os equipamentos e materiais utilizados, e durante a pesquisa, quando então foram colocados em um novo experimento, a utilização de um novo material agregado ao comumente usado, dando suas contribuições, sendo solícitos, trocando conhecimentos até então não comuns em sua atividade diária, sendo agentes elementares na pesquisa.

A pesquisa abrange um significado de união entre agentes, uma colaboração entre personagens para um determinado fim, onde artesãos ladrilheiros, docente especializado em engenharia e discente da área do design, trocaram conhecimentos para o desenvolvimento do trabalho, trabalho este que possui caráter sustentável, podendo contribuir para as questões ambientais e sociais da região.

CONCLUSÕES

Foi possível obter um ladrilho adicionado com resíduo de PEBD, com acabamento e propriedades semelhantes ao ladrilho padrão produzido na fábrica, admitindo a viabilidade de produção do ladrilho composto pelo resíduo, em suas proporções de 10, 20 e 30%.

Na característica dimensional das peças, todas os percentuais demonstraram-se em conformidade com a norma ABNT NBR 9457:2013, que norteou todos os ensaios prescritos para avaliação e aceitação dos ladrilhos. Portanto, as medidas de comprimento e largura das amostras testadas foram admitidas. Porém no quesito espessura não foram admitidos em decorrência de que todas as amostras dos ladrilhos compostos por resíduo, quanto o ladrilho padrão, vieram de fábrica já com espessuras que não se enquadram na norma, que prescreve por base 18mm como espessura, possuindo valores menores do que os toleráveis para sua admissão.

No teste de resistência à flexão, que pela norma aceita valores iguais ou maiores do que 3,5 MPa, todas as amostras foram aprovadas, com destaque para as composições 10LH que com 5,12 MPa superou o ladrilho padrão (LH) produzido na fábrica com 4,53 MPa, e o ladrilho 20LH que praticamente igualou com 4,51MPa.

Os testes de empenamento e esconsidade, todas as composições de ladrilho foram admitidas. No teste de ortogonalidade, apenas uma composição, o 30LH não foi admitido, porém tal resultado foi devido ao processo manual da retirada do ladrilho do quadro, o que pode ser ajustado em possíveis produções futuras.

Já o teste de inspeção visual foi decisivo para a não admissão do ladrilho (30LH) com 30% de resíduo, pois o mesmo descama facilmente, despreendendo os grãos de PEBD composto na argamassa da camada inferior do ladrilho, resultando em uma peça que defeituosa, visível aos olhos e que pode comprometer o seu uso em sua aplicação. As demais composições, 10LH e 20LH foram admitidas.

As composições que se apresentam mais positivas para uma eventual produção, se encontram nas composições com adição de 10 e 20% de resíduo de PEBD, demonstrando eficiência compatível com o ladrilho puro.

Uma vez que verificou a conformidade de algumas composições, percebe-se que o objetivo da pesquisa em substituir a argamassa (areia e cimento) pelo resíduo de PEBD foi atingido, verificando-se até o momento que os percentuais de 10 e 20%

são perfeitamente aceitáveis, passíveis de fabricação e se enquadram em conformidade com a norma.

A pesquisa atingiu portanto o enquadramento e aceitação dos ladrilhos com resíduos, para a sua possível utilização em pavimentação e fins decorativos. A produção é viável e pode contribuir para a redução do consumo de areia e cimento normalmente utilizados na fabricação dos artefatos. A pesquisa apresenta também o enquadramento nos requisitos de gerenciamento dos resíduos sólidos conforme PNRS, contribuindo para a reciclagem e possível redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado e o não reaproveitamento do material pós-consumo.

A presente pesquisa contribuiu para o estudo da viabilidade produtiva do ladrilho compósito em substituição parcial da mistura da argamassa, embasada pela NBR 9457:2013, podendo considerar este produto como uma alternativa sustentável, conduzindo possíveis benefícios ligados ao meio ambiente, mesmo que em escala micro, por se tratar de um estudo específico e local, porém compreende um benefício para a redução e consumo de um recurso natural, a areia, que é extraída da natureza, sendo substituída pelo resíduo plástico, juntamente com a redução de cimento, que se utiliza de vários recursos naturais como a brita, calcário, entre outros. Com isso pode-se cooperar para a redução do impacto ambiental, reduzindo a quantidade de embalagens e materiais plásticos, reaproveitando e reciclando esse material pós-consumo, na produção dos ladrilhos compósitos aqui estudados.

Esta pesquisa mostra que um produto artesanal de matriz cimentícia, o ladrilho hidráulico, pode receber até 20% de adição dos grãos de resíduos de PEBD, em substituição parcial da argamassa, podendo favorecer o consumo deste material, incentivando o reaproveitamento e reciclagem de materiais plásticos, colaborando para o bem-estar do meio ambiente e consequentemente o bem-estar da sociedade, reduzindo a poluição existente, melhorando nosso meio em que vivemos, melhorando nosso planeta.

Como desdobramentos para trabalhos futuros, indica-se:

- Estudos da logística, custo, viabilidade econômica, da produção dos ladrilhos compósitos, envolvendo toda a cadeia de valores.

- Estudos com fibras de PEBD ao invés dos grãos aqui testados pode ser uma alternativa viável, fazendo a comparação dos resultados com os da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Perfil 2017. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/file/download/2018/Perfil-2017.pdf> >. Acessado em: 20 nov. 2018.
- ABRELPE. Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2016. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**, p. 14, 2016.
- Aguiar, E. C.C.; Silvério, C. D. V. ; Pereira, L.A.; Kanning, R.C. - **A tecnologia do concreto aliada ao meio ambiente** CEFET- PR - Disponível em: <<http://www.cefctpr.br/deptos/dacoc/isoPET/>>-
- ALLWOOD, J.; CULLEN, J. **Sustainable materials with both eyes open**, UIT Cambridge: Cambridge, 2012. Disponível em: <<http://www.withbotheyesopen.com/pdftransponder.php?c=100>> Acessado em 27 de nov 2018.
- ALMEIDA, Marconi Oliveira de et al. **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável 2004, Florianópolis, Livro de Resumos, São Paulo, ICTR, 2004. P.39.
- Almeida, M.O; Junior, M . .I.F; Soncim, S.P; .Junior. G. B. A. ICTR, 2004. **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**.
- AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012.
- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design: Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- Associação Brasileira de Cimento Portland – ABPC (2018). **A nova norma de especificação de cimento ABNT NBR 16697: saiba o que mudou e o que não mudou**. São Paulo. Acessado em 05 de maio de 2019, de <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/a-nova-norma-de-especificacao-de-cimento-abnt-nbr-16697-saiba-o-que-mudou-e-o-que-nao-mudou/>
- Associação Brasileira de Embalagens – ABRE. (2015). **Estudo macroeconômico da embalagem**. São Paulo. Acessado em 11 de novembro de 2018, de <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland-requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. NBR 10004: **Classificação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. NBR 10004: **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. NBR 13230: **Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e Simbologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. NBR 13818: **Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto – parte 1: requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 9457: **Ladrilho Hidráulico - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. NBR 9457: **Ladrilhos hidráulicos para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**, Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 9458: **Assentamento de ladrilho hidráulico – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. NBR 9459: **Ladrilho hidráulico - Padronização**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. **Use of Select Waste Materials in Concrete Mixes**. Waste Management, v. 27, p. 1870-1876, 2007.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2000.

BEYLERIAN, G. M.; DENT, A. **Ultra materials: how materials innovation is changing the world**. Kingdom: Thame & Hudson, 2007.

BONACELLA, P. H.; MAGOSSO, L. R. **A poluição das águas**. 15. ed. São Paulo: Moderna, 1996.

BONSIEPE, Gui, WALKER, Rodrigo. **Um experimento em projeto de produto – Desenho Industrial**. Brasília: CNPQ/ Coordenação Editorial, 1983.

BRASIL, Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Palácio do Planalto. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm> . Acessado em 10 nov. 2018

BRASIL. Constituição de 1988. **BRASIL**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciências e engenharia de materiais: Uma introdução**, 5 a ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CÂNDIDO, Luis Felipe; BARRETO, José Maurício Lima; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Avalização de blocos de concreto produzidos com PET reciclado**. Anais: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, 2014.

CANELLAS, Susan Sales; D'Abreu, José Carlos. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação – Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. Artiliber editora, São Paulo, p. 110-115, 2002.

CARDOSO, R. **Design, cultura material e o fetichismo dos objetos**. Revista Arcos (ESDI/UERJ), Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 14-39, 1998.

CAVALLI, Angelina Franciele; VALDUGA, Laila. **Ladrilhos Hidráulicos: Reconstituição e Caracterização**. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, p.4042-4050, 2006.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de São Paulo – CETESB. Sindicato Indústria Material Plástico Estado São Paul – SINDIPLAST. (2011). **Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos**. São Paulo. p.91

DA SILVA SPINACÉ, Márcia Aparecida; DE PAOLI, Marco Aurelio. **A tecnologia da reciclagem de polímeros**. Quim. Nova, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005

FERRANTE, M.; WALTER, Y. **A materialização da ideia: noções de materiais para design de produto**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FRIGIONE, M. **Recycling of PET Bottles as Fine Aggregate in Concrete**. Waste Management, v. 30, p. 1101-1106, 2010.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaios dos Materiais**.-[Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S/A, 2002.

GONÇALVES, P. **A cultura do supérfluo: lixo e desperdício na sociedade de consumo**. Rio de Janeiro: Garamond, 2011.

Goulart, F.C. - Granulação de Resíduos Plásticos, In: **VII Seminário de Iniciação Científica da PUC-RIO 2000** Departamento de Ciência dos Materiais e Meta lurgia PUC-Rio,2000.

GREGORY, M.R. **Environmental Implications of Plastic Debris in Marine Settings Entanglement, Ingestion, Smothering, Hangers-on, Hitch-hiking and Alien Invasions**. *Transactions of the Royal Society B Biological Science*, n. 364, p. 2.013- 2.025, 2009.

Henningsson, S., Hyde, K., Smith, A., & Campbell, M. J. (2004). **The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimisation project in East Anglia UK**. *Journal of Cleaner Production*, 12(5), 505-512. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00104-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00104-5).

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. **Plastics Recycling: Challenges and Opportunities.** *Philosophical Transactions of the Royal Society, Soc. B*, n. 364, p. 2.115-2.126, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE. (2012). **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012.** Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Impermeabilização – IBI (2018). **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central.** São Paulo. Acessado em 06 de maio de 2019, de <http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>

Instituto Maranhão Sustentável – IMAS (2017). **Residência Criativa Sustentável.** Disponível em: <<https://www.maranhaosustentavel.org.br/arquitetura-sustentavel>> Acesso em novembro de 2019.

JULIER, G. **The culture of design**, 3rd edition, SAGE publications Ltda, 2013.

KROMM, F. et al. **Definition of a multimaterials design method**, *Materials and Design*, n. 28 p. 2641–2646, 2007.

Kumi-Larbi Jnr, Alexander & Yunana, Danladi & Kamsouloum, Pierre & Webster, Mike & Wilson, David & Cheeseman, C.R.. (2018). **Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks.** *Waste Management*. 80. 112-118. 10.1016/j.wasman.2018.09.003.

LACERDA, D. P.; DRECH, A.; PROENÇA, A.; JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção.** *Gestão & Produção*. vol.20 no.4 São Carlos, 2013. Epub Nov 26, 2013.

LESKO, Jim. **Design industrial: materiais e processos de fabricação.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LIMA, Ana Carolina A.C. et al. **A utilização de plásticos na construção civil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40, 2012, Belém. COBENGE. Belém: UFPA, 2012. p.1-10.

LITHNER, D.; LARSSON, A.; DAVE, G. **Environmental and Health Hazard Ranking and Assessment of Plastic Polymers Based on Chemical Composition.** *Science of the Total Environment*, n. 409, p. 3.309-3.324, 2011.

LÖBACH, B. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

MAGRINI, Alessandra. **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos.** Editora E-papers, 2012. P.25

MANO, Eloisa Biasotto; PACHECO, Élen Beatriz Acordi Vasques; BONELLI, Cláudia Maria Chagas. **Meio ambiente, poluição e reciclagem.** Edgard Blücher, 2005.

MANZINI, E. **A cosmopolitan localism: Prospects for a sustainable local development and the possible role of design**. Dis-Indaco, Politecnico di Milano, 2005.

MANZINI, Ezio. **A matéria da invenção**. Tradução de Pedro Afonso Dias. Lisboa: Centro Português de Design, 1993.

MANZINI, Ezio. **Design para a Inovação Social e Sustentabilidade – Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E- papers, 2008.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). **Food packaging: roles, materials, and environmental issues**. *Journal of Food Science*, 72(3), 39-55.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>. PMID:17995809.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. Tradução de José Manuel de Vasconcelos. 2ª Edição. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO. **Educação sustentável para o futuro: uma visão transdisciplinar para uma ação compartilhada**. Brasília: IBAMA, 1999.

PARENTE, Ricardo Alves. **Elementos estruturais de plástico reciclado**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RAHMANI, E. et al. **On the Mechanical Properties of Concrete Containing Waste PET Particles**. *Construction and Building Materials*, v. 47, p. 1302-1308, 2013.

RIBEIRO, Daniel Vêras; MORELLI, Márcio Raymundo. **Resíduos Sólidos. Problema ou Oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RODRIGUES, F. L.; CAVINATTO, V. M. **Lixo: de onde vem? para onde vai?**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. A.; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAIKIA, N.; BRITO, J. **Mechanical Properties and Abrasion Behaviour of Concrete Containing Shredded PET Bottle Waste as a Partial Substitution of Natural Aggregate**. *Construction and Building Materials*, v. 52, p. 236-244, 2014.

Santos, Aguinaldo dos. **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins**. Curitiba: Insight, 2018

SANTOS, J. M. A.; BELINE, S. EJA: 6º ao 9º ano: **Geografia: manual do educador**. 3. ed. São Paulo: IBEP, 2013.

Santos, L. R. (Setembro de 2009). **Avaliação da Eficiência da Separação de Plásticos de Resíduos Sólidos Urbanos por Métodos de Dissolução Selectiva**. Tese de Mestrado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Guimarães.

SANTOS, Marinês Ribeiro dos. **Design e cultura: os artefatos como mediadores de valores e práticas sociais**. Design & Cultura. Curitiba: Editora Sol, 2005.

SCHNEIDER, B. **Design – uma introdução: o design no contexto social, cultural e econômico**. São Paulo: Blücher, 2010.

Schwark, F. (2009). **Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies: the case for biopolymer**. Technology Journal of Cleaner Production, 17(7), 644-652. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.017>.

SILVA, CR de O. **Metodologia e organização do projeto de pesquisa; guia prático**. CEFET, 2004.

THOMPSON, R.C. *et al.* **Our Plastic Age**. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, n. 364, p. 1.973-1.976, 2009.

World Design Organization. WDO. **Definition of Industrial Design**. 2017. Disponível em: < <http://wdo.org/about/definition/> > Acesso em: 02 out. 2018.

XIONG, Hongyun; SUN, Surong; JIANG, Yan. **Application of modern new materials in product design**. In: Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2008. CAID/CD 2008. 9th International Conference on. IEEE, 2008. p. 759-764.

ZANIN, M., and MANCINI, SD. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia** [online]. 2nd ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015. ISBN 978-85-7600-457-8.