



A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CERÂMICA PARA UTILIZAÇÃO NO PROCESSO DE ARGAMASSA

José Roberto de Souza Melo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Edilson Marques Magalhães

Belém
Novembro de 2017

**A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CERÂMICA PARA UTILIZAÇÃO NO
PROCESSO DE ARGAMASSA**

José Roberto de Souza Melo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

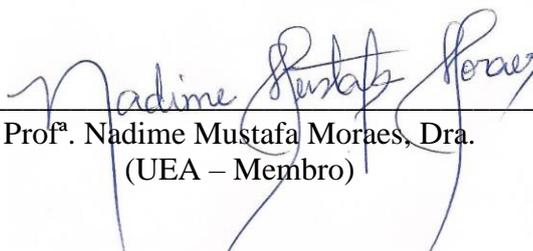
Examinada por:



Prof. Edilson Marques Magalhães, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Kleber Bittencourt de Oliveira, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Prof.^a. Nadime Mustafa Moraes, Dra.
(UEA – Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

NOVEMBRO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Melo, José Roberto de Souza, 1969-

A reciclagem de resíduos de cerâmica para utilização no processo de argamassa / José Roberto de Souza Melo.- 2017.

Orientador: Edilson Marques Magalhães

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2017

1. Argamassa 2. Resíduos industriais- Reaproveitamento
3. Cerâmica- Reaproveitamento I. Título

CDD 22.ed.691.5

Ao Supremo, onipotente, onipresente e onisciente Deus por ser ele o responsável pelo dom da vida e por me abençoar a cada dia. Também dedico esse trabalho aos meus filhos Joab, Ruan e Júlia que pelas vossas existências me fizeram entender o plano de Deus, mostrando-me que o amor verdadeiro nunca morre e sempre viverei atrás deles e de todos descendentes que viram ao longo da existência humana Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus todo poderoso e ao filho Jesus cujo exemplo de amor e humildade serve de referência para nós.

Aos meus amigos da turma de mestrado, Adriana Chagas Borges e Fernando Paulo Teles, que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho, dando apoio, trocando ideia e principalmente fazendo meus dias mais divertidos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edilson Magalhães e ao meu co-orientador Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza pelas experientes orientações e ajudas que foram fundamental importância na realização deste estudo, bem como sua dedicação. Obrigada por ter confiado em mim desde o primeiro momento.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e a Universidade Federal do Pará (UFPA), pela criação deste curso que engrandece nossa Manaus com qualificação profissional e acadêmica que possibilitou alcançar meus objetivos.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz...”

(Bill Gates)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CERÂMICA PARA UTILIZAÇÃO NO PROCESSO DE ARGAMASSA

José Roberto de Souza Melo

Novembro/2017

Orientador: Edilson Marques Magalhães

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Neste trabalho foi proposto um estudo sobre a viabilidade da utilização do resíduo de cerâmica branca, gerado na cidade de Manaus, para a produção de argamassas. As análises de fluorescência e difração de raios X mostraram que o resíduo apresenta em sua composição 66,69 % de óxido de silício, 15,58 % de óxido de alumínio, 8,18 % de óxido de ferro e 1,18 % de óxido de sódio. Sendo assim, segundo a ABNT-NBR 12653, 1992, o resíduo possui característica de um material pozolânico, o qual poderá produzir um arranjo mais eficiente na interface agregado-pasta de cimento. Dessa forma, para a produção das argamassas, foram definidas cinco misturas (traços TR) compostas por resíduo de cerâmica branca, areia e cimento TR1(50%RCB-43%areia-7%cimento), TR2(40%RCB-53%areia-7%cimento). TR3 (30% RCB – 63% Areia - 7% Cimento, TR4 (20% RCB - 73% areia - 7% cimento) e TR5 (10% RCB - 83% areia -7% cimento).As argamassas foram conformadas em corpos-de-prova em formato cilíndricos, os quais foram submetidos a cura durante 28 dias. Após o período de cura os CPs foram submetidos às análises físico-químicas, quais sejam: porosidade aparente, absorção de água aparente, massa específica aparente, resistência a compressão, análises de fluorescência e difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Através das análises, e comparando-se os resultados de resistência obtidos para as argamassas aos 28 dias de cura com a normalização ABNT NBR 13279 (ABNT, 1995), verifica-se que elas podem ser classificadas como argamassas Classe PI e P2, em virtude de

apresentarem resistência a compressão inferior a 2,0 MPa e estarem dentro do intervalo de 1,5 a 3,0 MPa, respectivamente. O estudo realizado, ainda possibilita a afirmação, de que o RCB pode substituir o agregado natural em até 50%, de acordo com o TR1, visto que apresenta um ganho significativo em termos de consumo bem menor de cimento, implicando em um menor custo de produção.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

RECYCLING OF CERAMIC WASTE FOR USE IN THE MORTAR PROCESS

José Roberto de Souza Melo

November/2017

Advisor: Edilson Marques Magalhães

Research Area: Process Engineering

In this work, a study on the viability of the white ceramic waste generated in the city of Manaus for the production of mortars was proposed. X-ray fluorescence and diffraction analyzes showed that the residue contained 66.69% of silicon oxide, 15.58% of aluminum oxide, 8.18% of iron oxide and 1.18% of oxide of sodium. According to ABNT-NBR 12653, 1992, the residue has the characteristic of a pozzolanic material, which can produce a more efficient arrangement in the aggregate-cement paste interface. In this way, for the production of the mortars, five mixtures (TR traces) composed of white ceramic residue, sand and cement TR1 (50% RCB-43% sand-7% cement), TR2 (40% RCB- sand-7% cement). TR3 (30% RCB-63% Sand-7% Cement), TR4 (20% RCB-73% Sand-7% Cement) and TR5 (10% RCB-63% Sand-7% Cement). The mortar was formed in cylindrical specimens, which were cured for 28 days. After the curing period the CPs were submitted to the physical-chemical analysis, which were: apparent porosity, apparent water absorption, apparent specific mass, compressive strength, fluorescence and X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy. Through the analyzes, and comparing the resistance results obtained for the mortars at 28 days of cure with ABNT NBR 13279 normalization (ABNT, 1995), it can be seen that they can be classified as Class P and P2 mortars, due to have a compressive strength of less than 2.0 MPa and are within the range of 1.5 to 3.0 MPa, respectively. The study also allows for the assertion that the RCB can replace the natural aggregate by up to 50%, according to TR1, since it presents a significant gain in terms of much lower consumption of cement, implying a lower cost of production.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	1
1.2.1 - Objetivo geral.....	1
1.2.2 - Objetivos específicos.....	1
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	2
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS, DENOMINAÇÕES E TRATAMENTO.....	4
2.1.1 - Denominações.....	4
2.1.2 - Classificações.....	4
2.1.3 – Formas de tratamento.....	6
2.2 - RECICLAGEM.....	7
2.2.1 - Os lixões.....	7
2.3- A CONSTRUÇÃO CIVIL – RCC E O MEIO AMBIENTE, RCC NO AMAZONAS.....	8
2.3.1 - A construção civil.....	8
2.3.2 - Os resíduos sólidos na construção civil – RCC.....	10
2.3.3 - RCC e o meio ambiente.....	13
2.3.4 - Os resíduos sólidos no Amazonas.....	15
2.3.5 - Os RCC no Amazonas.....	16
2.4 - A CERÂMICA BRANCA.....	18
2.4.1 - Materiais que compõem a cerâmica branca.....	19
2.4.2 - Classificação da cerâmica branca.....	20
2.5 - OS RESÍDUOS DA CERÂMICA.....	20
2.5.1 - A reciclagem dos resíduos da fabricação de cerâmica na produção de argamassa.....	22
2.6 - ARGAMASSAS.....	23
2.6.1 - Definição das argamassas.....	24
2.6.2 - Propriedades das argamassas.....	24
2.7 - ATIVIDADES POZOLÔNICA.....	27

2.7.1 - Definições de atividades pozolânicas.....	27
2.7.2 - História das atividades pozolânicas.....	27
2.7.3 - Como ocorre a atividade pozolânica.....	28
2.7.4 - Classificação das atividades pozolânicas.....	29
2.7.5 - Características químicas e físicas das pozolanas.....	30
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 - EQUIPAMENTOS.....	32
3.2 - MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS.....	32
3.2.1 - Resíduo de cerâmica branca (RCB).....	32
3.2.2 - Sílica.....	33
3.2.2 - Cimento.....	33
3.3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	33
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS.....	42
4.2 - ANÁLISES POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	43
4.3 - ANÁLISES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	43
4.4 - ANÁLISES DE POROSIDADE APARENTE.....	44
4.5 - ANÁLISES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	45
4.6 - ANÁLISES DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	45
4.7 - ANÁLISES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	46
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	48
5.1 - CONCLUSÕES.....	48
5.2 - SUGESTÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Classificação dos Resíduos Sólidos.....	5
Figura 2.2	Cadeia produtiva no PIB brasileiro.....	9
Figura 2.3	Destinação dos resíduos no Amazonas.....	16
Figura 2.4	Pedaços de cerâmica jogados nas ruas em Iranduba/AM.....	17
Figura 3.1	Resíduo de cerâmica branca.....	33
Figura 3.2	Fluxograma do procedimento experimental.....	34
Figura 3.3	(A) britador de mandíbula, (B) moinho de bolas e (C) material em processo de fragmentação.....	34
Figura 3.4	Peneiras granulométricas.....	35
Figura 3.5	RCB seco, moída e peneirada (a). Areia peneirada (b). Cimento	35
Figura 3.6	Moldes dos corpos-de-prova cilíndricos (A) e (B) elaborados com PVC.....	36
Figura 3.7	Misturador mecânico SOLDTEST.....	38
Figura 3.8	Corpos-de-prova no molde cilíndrico.....	38
Figura 3.9	CPs após 28 dias de cura.....	39
Figura 3.10	Etapas para a obtenção das massas utilizadas nas Equações 3.1, 3.2 e 3.3.....	40
Figura 3.11	Prensa modelo EMIC SSH300.....	41
Figura 4.1	Distribuição granulométrica dos materiais.....	42
Figura 4.2	Difratograma do RCB.....	44
Figura 4.3	Porosidade Aparente.....	44
Figura 4.4	Absorção de água.....	45
Figura 4.5	Massa específica aparente.....	46
Figura 4.6	Resistência a compressão dos CPs.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Cadeia produtiva no PIB brasileiro.....	9
Tabela 2.2	Destinação dos resíduos no Amazonas.....	15
Tabela 2.3	Composição da cerâmica branca.....	19
Tabela 2.4	Classificação da Cerâmica Branca.....	20
Tabela 2.5	Resumo da Classificação das Atividades Pozolônicas.....	29
Tabela 2.6	Características Químicas das polozanas.....	30
Tabela 2.7	Características Físicas das polozanas.....	30
Tabela 3.1	Traços elaborados.....	35
Tabela 3.2	Massa utilizada para elaboração dos CPs.....	36
Tabela 3.3	Massa da mistura total utiliza para a elaboração dos CPs.....	37
Tabela 4.1	Composição química do RCB na forma <i>in natura</i> calculada pela fluorescência de raios X.....	43
Tabela 4.2	Classificação das argamassas, ABNT NBR 13279.....	47

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABRECON	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO
ACERAM	ASSOCIAÇÃO DOS CERAMISTAS DO AMAZONAS
ANFACER	ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA
ANICER	ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
CNAE	CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DE ATIVIDADES ECONÔMICAS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CPS	CORPOS-DE-PROVA
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
LEQ	LABORATÓRIO DE ENGENHARIA QUÍMICA (LEQ) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.
NBR	NORMA BRASILEIRA
PGRSCC	PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
PNRS	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
RCB	RESÍDUO DE CERÂMICA BRANCA
RCC	RESÍDUO CONSTRUÇÃO CIVIL
RCD	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
RSU	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
SEMULSP	SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA PÚBLICA
TCU	TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO - TCU
USIMAT	USINA DE MATERIAIS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

A região Amazônica vem, cada vez mais, despertando grande interesse no mundo globalizado em razão de sua grande diversidade e potencialidade ambiental. As riquezas hídricas, minerais, vegetais e animais são campo fértil para o desenvolvimento de pesquisas científicas e projetos internacionais (PEREIRA, 2001).

Neste contexto, no estado do Amazonas, mais precisamente na cidade de Manaus, foram instaladas nos municípios de Manacapuru e Iranduba polos cerâmicos com finalidade de produção e comercialização de cerâmicas. Embora a produção de cerâmicas tenha uma grande importância socioeconômica para o Estado, como em qualquer outra área, gera uma grande quantidade de resíduo.

Em virtude das elevadas quantidades geradas desses resíduos, não somente pelo processo de produção das cerâmicas, mas pelas empresas que comercializam o produto acabado, que também geram grandes quantidades de resíduos, devido a quebras quando os produtos são transportados e estocados e, principalmente, o Estado não possui uma linha de pesquisa de valorização desses resíduos, a principal motivação está centrada em estudar uma alternativa de reaproveitamento do resíduo de cerâmica branca gerado na cidade de Manaus.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1-Objetivo geral

Estudar a viabilidade da produção de argamassas utilizando resíduos de cerâmica branca

1.2.2 - Objetivos específicos

- Caracterizar o RCB através das técnicas de fluorescência e difração de raios X;

- Verificar se o RCB possui potencial para substituir o agregado fino. Para isso, serão realizadas misturas de resíduo de cerâmica branca (RCB), areia e cimento Portland, nas seguintes proporções: 50% de RCB, 43% de areia e 7% de cimento Portland, 40% de RCB, 53% de areia e 7% de cimento Portland, 30% de RCB, 63% de areia e 7% de cimento Portland, 20% de RCB, 73% de areia e 7% de cimento Portland e 10% de RCB, 83% de areia e 7% de cimento Portland;
- Realizar análises físico-químicas nas argamassas produzidas: porosidade aparente, absorção de água aparente, massa específica aparente, resistência a compressão, análises de difração e fluorescência de raios X e microscopia eletrônica de varredura;
- Verificar a melhor composição da mistura para a produção das argamassas baseados na resistência a compressão das argamassas produzidas.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

A principal contribuição dessa dissertação está em promover a consciência da produção mais limpa, uma vez que a reciclagem da cerâmica tem como finalidade a redução de desperdícios e de resíduos ao longo do ciclo de vida de produtos na construção civil. Esta dissertação contribui, ainda, para propiciar conhecimentos por meio de estudo literário de como produzir em prol da sustentabilidade, e no caso do estudo proposto, por meio da reciclagem dos resíduos da cerâmica, almejando contribuir por meio de elementos teórico-práticos para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo da Construção Civil.

Contribui, também, para a conscientização de que a utilização de resíduos da cerâmica na composição de argamassas pode ser solução para economia das empresas de construção civil.

Por fim, a dissertação, promove ainda o aumento do acervo de pesquisas a respeito do assunto, que possui carência de estudos mais aprofundados.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente capítulo apresenta as motivações e justificativas que levaram à realização de um estudo acerca do reaproveitamento do RCB para a produção de argamassas, bem como os objetivos pretendidos neste trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre resíduos sólidos, na qual são abordados os aspectos gerais relacionados aos resíduos, bem como se faz uma revisão bibliográfica a respeito dos resíduos sólidos no estado do Amazonas. O capítulo aborda também uma revisão da literatura sobre os aspectos gerais da cerâmica branca, argamassas e materiais pozolânicos.

O capítulo 3 apresenta os materiais e as matérias-primas utilizadas nos experimentos, bem como descreve a metodologia experimental empregada. Serão abordados os aspectos gerais, desde a preparação das matérias-primas até os processos de conformação dos corpos-de-prova (CPs) e as descrições das análises de microscopia eletrônica de varredura, difração e fluorescência de raios X, porosidade aparente, absorção de água aparente, massa específica aparente e resistência a compressão.

A análise dos resultados e sua discussão são apresentadas no Capítulo 4, primeiramente, no que diz respeito à caracterização do material, em seguida são abordadas as análises físico-químicas realizadas.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho e as sugestões das principais atividades que podem ser realizadas para a continuação do presente trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - RESÍDUOS SÓLIDOS – DENOMINAÇÕES, CLASSIFICAÇÕES, TRATAMENTO

2.1.1 - Denominações

Segundo a norma da ABNT, NBR 10.004:2004, **resíduos sólidos** são aqueles que: Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e 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 o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Assim, definem-se como os resíduos sólidos, aqueles restos das atividades humanas ou não humanas, e que jogados em locais indevidos podem ser altamente prejudiciais ao meio ambiente ou a saúde humana.

2.1.2 - Classificações

Existem várias formas de classificar os resíduos sólidos, ou seja, eles podem ser classificados quanto à origem, quanto a natureza física, quanto a composição química e quanto a periculosidade.

A classificação dos resíduos é regulamentada pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 10.004/04, que é feita através da classificação que determina a destinação final dos resíduos considerando os riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. A Figura 1 apresenta tais classificações:

Com base na Figura 1, os resíduos sólidos podem ser classificados segundo a NBR 10.004 (2004): 1) Quanto à origem (Lixo doméstico, Lixo comercial, Lixo industrial, Lixo Hospitalar, Lixo público, Lixo agrícola e Lixo nuclear). 2) Quanto a Natureza Física (secos e úmidos); 3). Quanto a composição Química (Orgânicos e

Inorgânicos); 4) Quanto ao grau de periculosidade (Resíduos Classe I – Perigosos, Classe II Não inertes e Classe III inertes).

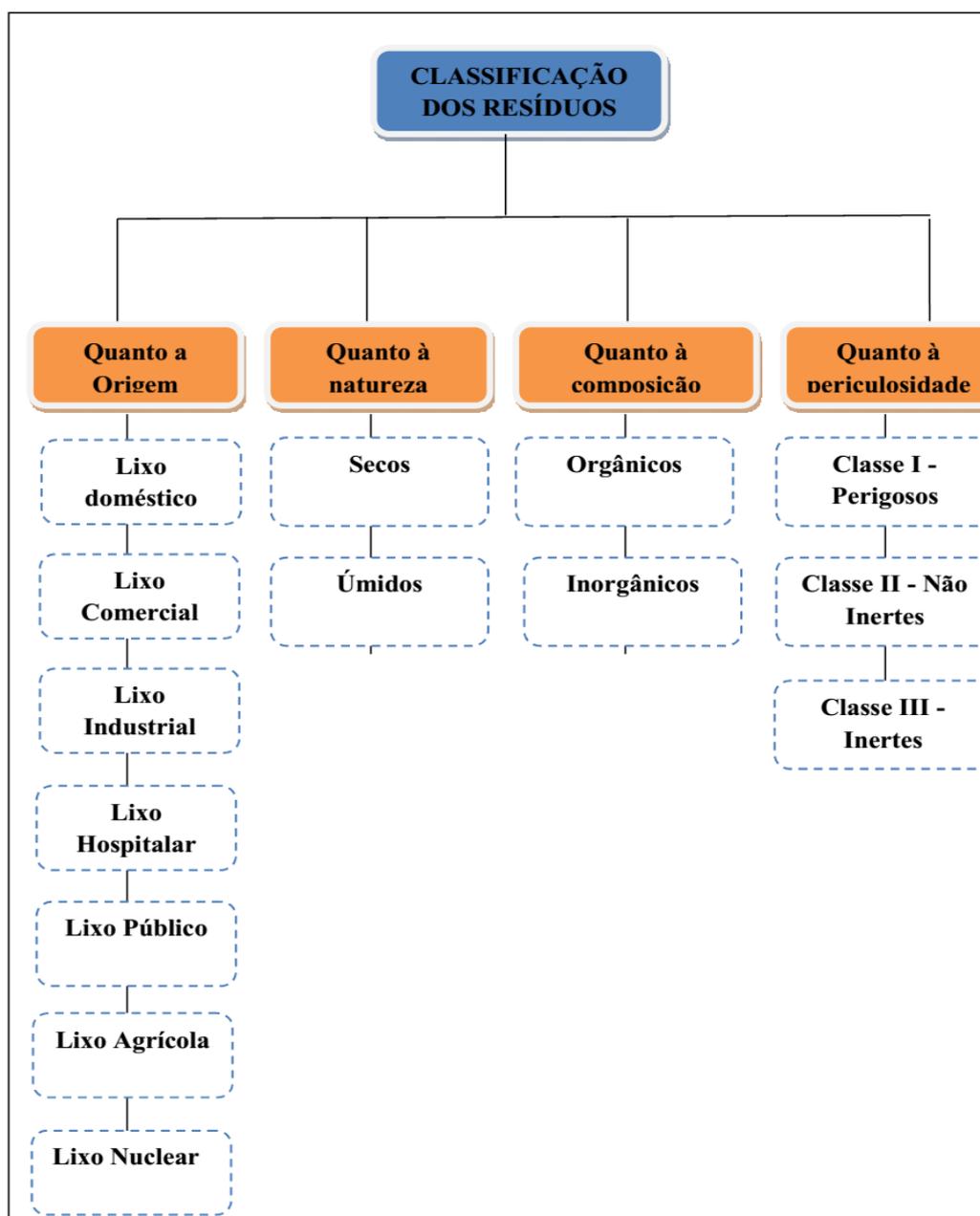


Figura 2.1 – Classificação dos Resíduos Sólidos.
Fonte: Adaptado de NBR 10.004/04. (2016).

Segundo a Figura 2.1, os resíduos Classe I perigosos são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características.

Os Resíduos Classe II - Não Inertes são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como:

combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

Os resíduos Classe III – Inertes são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis.

Os resíduos inclusos na Classe I - Perigosos, somente podem ser dispostos em aterros construídos especialmente para tais resíduos, ou devem ser queimados em incineradores especiais. Nesta classe, inserem-se os resíduos da área rural, basicamente, as embalagens de pesticidas ou de herbicidas e os resíduos gerados em indústrias químicas e farmacêuticas. (NBR 10.004 2004).

Segundo Cempre (2008), existe ainda a classificação física, química e biológica dos resíduos sólidos que também apresentam importância na sua avaliação, podendo assim ser classificadas como:

- 1) Físicas (Composição gravimétrica;
- 2) Peso específico, Teor de umidade, compressibilidade e geração per capita);
- 3) *Química* (Orgânicos e Inorgânicos).

As características de cada tipo de resíduo exigem um modelo de gestão adequado, que não tenha como objetivo apenas a coleta e o afastamento, mas o tratamento ideal para cada um, com a finalidade de evitar problemas de saúde pública e contaminação ambiental, impactos sociais e econômicos.

2.1.3 - Formas de tratamento

Segundo MACHADO (2013), “O Tratamento de Resíduos Sólidos consiste no uso de tecnologias apropriadas com o objetivo maior de neutralizar as desvantagens da existência de resíduos ou até mesmo de transformá-los em um fator de geração de renda como a produção de matéria prima secundaria”.

Para MOTA (2014), “no que se refere ao tratamento dos resíduos sólidos, pode ser afirmado que na maioria dos casos não é realizado adequadamente, e com isso surgem os impactos ambientais causados pelos lançamentos inadequados de resíduos sólidos urbanos e que tem de forma alarmante prejudicado a saúde humana, principalmente no aparecimento de doenças do tipo hepatite, febre tifóide entre outras,

isso tudo por não existir no gerenciamento dos mesmos a prioridade de redução dos mesmos através da reciclagem que sem dúvida nenhuma trazem benefícios tanto ao meio ambiente como a população”.

Assim, define-se como tratamento dos resíduos sólidos a técnica de coleta que começa na reciclagem, terminando na disposição final desse resíduo.

Há várias formas de destinação do lixo, sendo as principais as seguintes:

2.2 - RECICLAGEM

Segundo o Relatório Conclusivo de Auditoria Operacional de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU do Tribunal de Contas da União - TCU (2010), a incineração é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas dos mesmos, tornando-os produtos ou insumos.

Do ponto de vista econômico a reciclagem, segundo CALDERONI (2003), não reciclar significa deixar de auferir rendimentos da ordem de bilhões de reais todos os anos. Segundo o mesmo autor, a economia de matéria-prima constitui o principal fator de economia, seguida da economia de energia elétrica.

Essa técnica de eliminação de resíduos é hoje a mais adequada, pois consiste na transformação dos resíduos em outro produto utilizável, bem como, traz inúmeros benefícios a população e ao meio ambiente. A população ele gera empregos e renda, ao meio ambiente ele beneficia com a redução da poluição.

2.2.1 - Os lixões

Conforme dados coletados no Relatório Conclusivo de Auditoria Operacional de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU do Tribunal de Contas da União - TCU (2010), lixão é uma área de disposição final de resíduos sólidos sem nenhuma preparação anterior do solo; isto é: não tem nenhum sistema de tratamento de chorume (líquido preto que escorre do lixo), contaminando o solo e o lençol freático. O lixão, além de ser um foco de doenças, odores, também é um problema social.

Para MACHADO (2013), os lixões é o apelido de uma forma inadequada de disposição final de resíduos que são depositados a céu aberto realizado pela própria população ou pelas prefeituras municipais. Traz perigos à saúde pública como: poluição

das águas subterrâneas, proliferação de animais como insetos e roedores, má cheiro, sendo prejudicial à saúde da coletividade em geral e aos catadores de lixo.

Os lixões são assim, uma forma de coleta de lixo inadequada que pode causar poluição ao meio ambiente, bem como, afetar diretamente a saúde da população humana que residem próximos aos lixões.

2.3 - A CONSTRUÇÃO CIVIL – RCC E O MEIO AMBIENTE, RCC NO AMAZONAS

2.3.1 - A construção civil

“A construção civil é um dos setores mais relevantes da economia brasileira, com cerca de 172.703 empresas atuantes no mercado, a construção civil passa por uma fase de grande crescimento” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2014).

O setor da construção civil é composto por uma enorme quantidade de atividades, devido a sua magnitude é chamado de macro complexo da construção, que é um conjunto de atividades econômicas, diferentes e interligadas umas às outras. É importante ressaltar que a construção tem um papel fundamental para o progresso nacional, uma vez que edifica obras que sustentam o progresso, gera empregos diretos e indiretos, renda para a população e aprimoram recursos tecnológicos inovadores (ERDEI, 2011).

O que a torna uma área de destaque, pois a mesma é responsável por uma parte da pizza do Produto Interno Bruto (PIB), bem como, garante ainda empregos, pois para que uma obra seja realizada envolve a contratação de colaboradores em massa. Outra vantagem da Construção Civil estar o fato de que este setor é quase que totalmente nacionalizado, ou seja, apenas 2% da matéria prima são importados, o que gera economia para o país.

Para OLIVEIRA (2012), este setor tem crescido muito nos últimos anos o que vem acarretando assim a adoção de mudanças e tendências para o setor industrial, uma vez que a mesma afeta diretamente a sociedade, gerando empregos.

Segundo ainda OLIVEIRA (2012), o Código 45 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) do IBGE, denomina as atividades da construção civil como preparação do terreno, as obras de edificações e de engenharia civil, as instalações

de materiais e equipamentos necessários ao funcionamento dos imóveis e as obras de acabamento, contemplando tanto as construções novas, como as grandes reformas, as restaurações de imóveis e a manutenção corrente.

Dessa forma, o setor de construção civil assume parcela crescente no desenvolvimento econômico do país, uma vez que além de gerar empregos, inclusive para pessoas com baixo grau escolar, gera também mudanças consideráveis na economia, pois a mesma possui um nível altíssimo de investimentos que por sua vez se transforma em produtividade, se transformando por fim em lucros.

Essa parcela que a Construção Civil assume no PIB, pode ser confirmada na informação coletada no site da Câmara Brasileira da Indústria da Construção e adaptado pelo autor do artigo conforme demonstração da Tabela 2.1 e da Figura 2.1 abaixo.

Tabela 2.1 – Cadeia produtiva no PIB brasileiro.

Construção Civil	64,70%
Industria de Materiais	16,80%
Comércio de Materiais	8,10%
Serviços em gerais	6,50%
Maquinas e equipamentos	1,60%
Outros	2,30%

Fonte: CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.

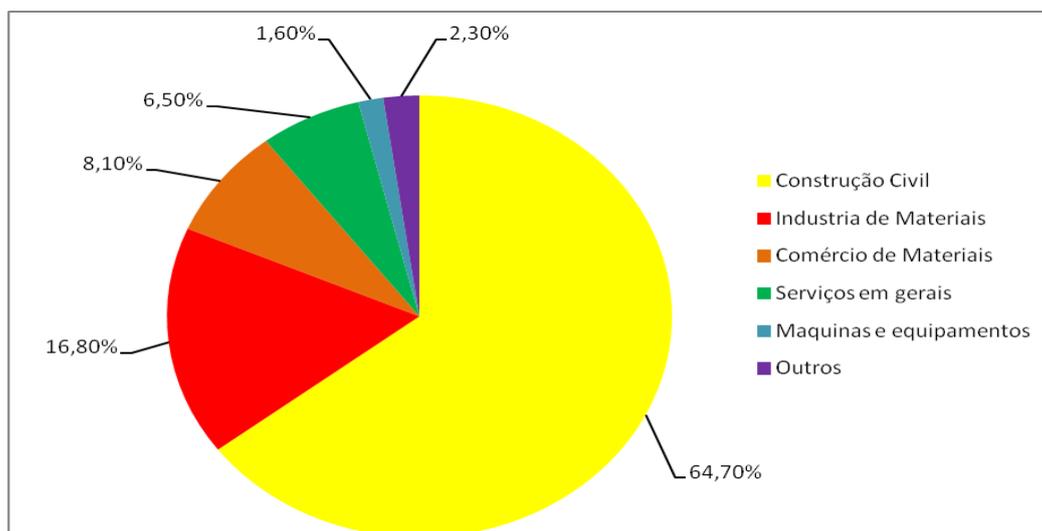


Figura 2.2 – Cadeia produtiva no PIB brasileiro.

Fonte: CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.

Segundo os dados acima do gráfico 1, observa que a Cadeia Produtiva da Construção tem a fatia maior do PIB brasileiro, assumindo assim um percentual de 64,7%, seguindo com 16,8% a indústria de materiais. Em terceiro lugar aparece o comércio de materiais que assume um percentual de 8,1% da fatia. Em quarto lugar surgem os serviços de maneira geral com 6,5%. Apresentando percentuais não muito significativos estão as máquinas e equipamentos e outros tipos de produtividade.

A importância da construção civil tem um papel fundamental na elevação da capacidade de produção da economia em geral. Apesar dela não produzir máquinas e equipamentos e nem elevar diretamente a formação técnica das pessoas, é ela que constrói prédios, estradas, portos, faculdades e uma infinidade de outros tipos de construção que aumentam direta ou indiretamente a capacidade de produção da economia. Tudo que é criado por esse setor da economia possui um proveito muito significativo para a economia e para sociedade, pode-se até discutir eventuais problemas, notadamente quando envolvem pessoas do setor público, porém não se deve jamais duvidar da importância da construção civil para a economia brasileira (CASTRO, 2012).

Dessa forma, observa-se que a construção civil assume papel de suma importância na economia brasileira, principalmente pelo fato de ser um setor que investe na empregabilidade consequentemente gerando empregos e facilitando assim a vida daqueles que não tiveram a oportunidade de estudar, ou seja, a massa de empregos da construção civil abrange os colaboradores que não possuem grau escolar elevado.

No entanto, diante desse desenvolvimento, surgem também os desafios que o setor enfrenta principalmente no que diz respeito à escassez de mão de obra qualificada, pois, não há profissionais voltados a essa área, para que possam suprir as demandas do setor.

2.3.2 - Os resíduos sólidos na construção civil – RCC

Segundo a definição da ABRECON, os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo da Construção Civil (RCC) é todo resíduo gerado no processo construtivo, de reforma, escavação ou demolição. Desta forma, pode-se dizer que o entulho inclui os restos de tijolo, argamassa, concreto, madeira, aço e outros materiais advindos da construção, reforma e/ou demolição de estruturas diversas como residências, pontes e prédios.

Segundo ABNT NBR 10004, RCC – Resíduos de Construção Civil, comumente chamados de “entulhos”, eram classificados como Resíduos Classe II – Inertes. Ou seja, resíduos que, submetidos ao teste de solubilização, não tiveram qualquer de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

A Resolução de número 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. As Resoluções classificam-nos em quatro diferentes classes:

- Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (tijolo, concreto, etc);
- Classe B – resíduos reutilizáveis/recicláveis para outras indústrias (plástico, papel, etc);
- Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias viáveis que permitam sua reciclagem (gesso e outros) e
- Classe D – resíduos perigosos (tintas, solventes, etc), ou contaminados (de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros).

De acordo com o Art. 2º da Resolução CONAMA nº307, seguem as seguintes definições:

- I. Resíduos da construção civil (RCC): são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;
- II. Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;
- III. Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

- IV. Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;
- V. Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;
- VI. Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;
- VII. Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;
- VIII. Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;
- IX. Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando a preservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;
- X. Áreas de destinação de resíduos: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

Ao disciplinar os resíduos da construção civil, a Resolução CONAMA nº 307 leva em consideração as definições da Lei de Crimes Ambientais, de fevereiro de 1998, que prevê penalidades para a disposição final de resíduos em desacordo com a legislação. Essa resolução exige do poder público municipal a elaboração de leis, decretos, portarias e outros instrumentos legais como parte da construção da política pública que discipline a destinação dos resíduos da construção civil.

Neste sentido, SOUZA (2005) afirma que em relação à quantidade de materiais, estima que em um metro quadrado de construção de um edifício são gastos em torno de uma tonelada de materiais, demandando grandes quantidades de cimento, areia, brita, etc.

2.3.3 - RCC e o meio ambiente

Com a chegada da globalização e do avanço tecnológico, as empresas foram se enquadrando na visível cobrança da sociedade no que diz respeito à preservação do meio ambiente em que a mesma se encontra inserida. Assim as empresas da área de construção civil não poderiam ficar de fora, até mesmo porque, atualmente é uma das principais responsáveis por este impacto, tendo em vista a grande quantidade de material descartado nos canteiros de obras, sofrendo assim, uma cobrança por parte das autoridades e da própria sociedade, para que se adquiram técnicas de preservação do meio ambiente em suas atividades.

Segundo BARROS (2012), nos últimos anos, a quantidade gerada de resíduos da construção civil também aumentou sobremaneira, como consequência do desenvolvimento econômico de alguns países, incluindo o Brasil, no qual o aumento do crédito à população proporcionou o acréscimo na indústria da construção civil.

Para DA SILVA (2013), a construção civil é a área que mais afeta o meio ambiente, tendo em vista os resíduos provenientes das matérias primas utilizadas nas obras. Dessa forma ela cita alguns exemplos: “Blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, concreto, tijolos e assemelhados; madeira; plásticos (sacaria de embalagens, aparas de tubulações etc.); papelão (sacos e caixas de embalagens dos insumos; utilizados durante a obra) e papéis (escritório); metal (ferro, aço, fiação revestida, arame etc.); serragem; gesso de revestimento, placas a cartonadas e artefatos; telas de fachada e de proteção; EPS-poliestireno expandido (isopor); restos de tintas, vernizes; resíduos perigosos presentes em embalagens plásticas e de metal, instrumentos de aplicação como broxas, pincéis, trinchas e outros materiais auxiliares como panos, trapos, estopas são alguns exemplos de resíduos gerados na construção civil”.

Esse dado alarmante revela a necessidade de políticas de controle, coleta, transporte e disposição final e que viabilizem o emprego desses resíduos de construção e demolição reciclados como matéria-prima na confecção de novos materiais (DIAS, 2007).

Infelizmente por vezes esses materiais exemplificados na citação acima, são jogados em qualquer local, principalmente em terrenos abandonados, o que causa grande prejuízo ao meio ambiente, bem como, afeta diretamente a saúde humana.

Outro problema da construção civil em se tratando dos impactos ao meio

ambiente está a grande utilização de recursos naturais que segundo John (2000), assumem um percentual de 15% a 50% de todos os recursos extraídos da natureza. Ou seja, a indústria da construção civil promove diferentes alterações ou impactos no sistema ambiental, por conta dessa utilização em massa dos recursos naturais.

Em concordância com FRAGA (2006), “destaca que a extração de recursos naturais é desnecessárias que poderiam ser evitados com a reutilização e/ou reciclagem do entulho gerado. Portanto se os resíduos oriundos do RCC fossem segregados na hora do descarte poderia haver um aproveitamento maior, diminuindo assim a extração dos recursos naturais e aumentando a vida útil dos aterros sanitários”.

Mas, mesmo diante dessa utilização dos recursos naturais, sem duvida nenhuma o maior impacto causado ao meio ambiente por conta da Construção Civil, é justamente a geração demasiada de resíduos (RCC).

Segundo GAEDE (2008), em 1999, por meio da Agenda 21, foram definidos alguns critérios como base para a Sustentabilidade da indústria da construção civil, no qual podemos citar algumas das mais importantes:

- Redução do consumo energético e da extração dos recursos minerais;
- Conservação das áreas naturais e de biodiversidade;
- Manutenção da qualidade do ambiente construído;
- Redução das perdas de materiais com o melhoramento dos processos construtivos;
- Reciclagem dos resíduos da indústria da construção civil, para que estes sejam empregados como materiais de construção; e
- Durabilidade e manutenção de edificações.

Observa-se com isso, a importância da destinação correta dos RCC, uma vez que os mesmos são em grandes volumes e responsável por degradação do meio ambiente em massa, ressaltando ainda que a extração dos recursos naturais também são os causadores da degradação ambiental.

Para MARQUES NETO (2009), a grande quantidade de RCC, produzidas e destinadas de maneira inadequada, afeta a sociedade sob três dimensões:

- 1) Dimensão econômica: onde se refere aos custos de limpeza pública para remoção e aterramento dos resíduos. Estes serviços são executados pelos órgãos municipais, gerando custos mais elevados;

- 2) Dimensão social: relaciona-se às pessoas que tem a catação como sua única atividade ou forma de sobrevivência, vivendo geralmente no entorno das áreas de deposição; e
- 3) Dimensão ambiental: se refere às áreas de disposição clandestina e irregular. Tais áreas, via de regra, são as mais vulneráveis da cidade (córregos, áreas de proteção ambiental, áreas de mananciais, entre outras).

Ou seja, a quantidade exacerbada de Resíduos da Construção Civil, afeta a sociedade como um todo em todos os aspectos, seja econômico, social ou ambiental, pois fora os impactos que causam no solo, no ar, na fauna ou na flora, afetam sobremaneira a parte empregatícia, que poderia incluir e dar acesso a saúde, principalmente das pessoas não muito favorecidas economicamente.

2.3.4 - Os resíduos sólidos no Amazonas

Na cidade de Manaus, existe um Plano Diretor dos Resíduos Sólidos, criado através do Decreto Nº 1349 de 09 de novembro de 2011, no Item 8.9, sobre os resíduos de Construção e demolição, os pequenos geradores devem acondicionar os resíduos em sacos plásticos resistentes com capacidade mínima de 20 litros (capacidade de saco de até 20 kg). Os grandes geradores devem acondicionar seus resíduos conforme estabelecido no Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil elaborado pelo Município.

Segundo dados do PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL (2010), na região Norte o estado do Amazonas é o maior gerador de resíduos por habitante, em média 1,156 kg/habitante/dia ultrapassando a média nacional de 1,079 kg/habitante/dia. Este resultado demonstra a grande geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no estado do Amazonas. A Tabela 2.3 e a Figura 2.3 apresentam os percentuais e o local para onde são destinados os resíduos no estado do Amazonas.

Tabela 2.2 – Destinação dos resíduos no Amazonas.

Aterros sanitários	53,8%
Aterros controlados	23,2%
Lixões	23%

Fonte: Adaptado de ABTBOL *et al.* (2013).

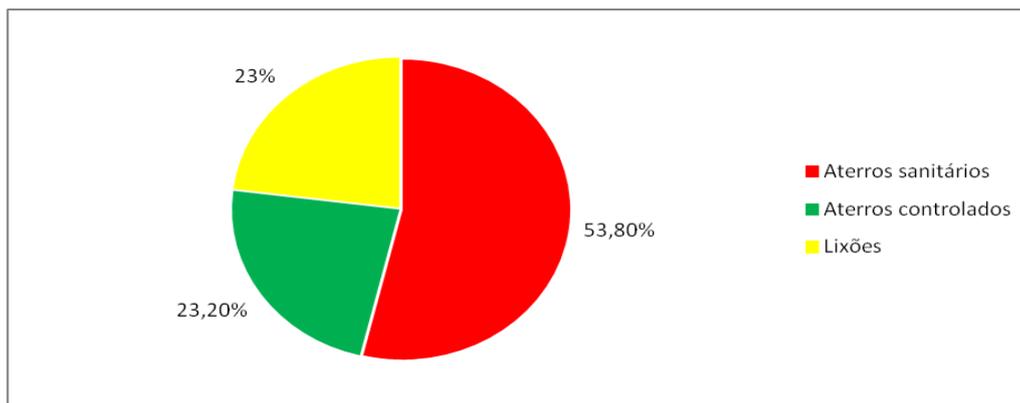


Figura 2.3 – Destinação dos resíduos no Amazonas
 Fonte: Adaptado de ABTBOL *et al.* (2013).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais do Brasil, 53,8% dos resíduos sólidos são destinados a aterros sanitários, 23,2% são destinados a aterros controlados e 23% são colocados em lixões.

Segundo ABTBOL *et al.* (2013), “os resíduos da construção civil e os resíduos domiciliares são depositados de forma irregular sem nenhum tipo de tratamento ou separação. Diariamente são depositadas em média 50 toneladas de resíduos (domésticos hospitalares e de construção civil). O mesmo relatou o processo de início de adaptação do DRS de Iranduba ao que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos”.

2.3.5 - Os RCC no Amazonas

A produção de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) é uma atividade importante para a economia do Brasil, respondendo por cerca de 4% do PIB nacional, dentro de um mercado que fechou o ano de 2010 com crescimento de 12%. Trata-se de uma atividade produtiva com diversas cerâmicas espalhadas pelo Brasil, e que produz anualmente 2,5 bilhões de peças. Contudo, diante da existência de um mercado consumidor que por razões históricas é o maior do Brasil, a concentração nacional das indústrias ceramistas está localizada na região sudeste (ANICER, 2010).

Segundo MACIEL *et al.* (2012), no estado do Amazonas, a produção de cerâmica vermelha está concentrada nos municípios de Manacapuru e Iranduba. Entretanto, este último, tradicionalmente apresenta-se como o principal polo oleiro-cerâmico do estado, com um total de 25 olarias instaladas e associadas a ACERAM.

Para PINHEIRO (2015), a indústria cerâmico-oleiro é muito conhecida pelos problemas ambientais que ocasiona. Em Iranduba, foi possível observar que o

aglomerado de fábricas tem gerado vários danos ambientais, dentre os quais merecem destaque: os alagamentos de áreas residenciais situadas em terras mais baixas em decorrência da abertura de cavas no solo e seu posterior abandono, a emissão de gases poluentes na atmosfera, o descarte de resíduos de cerâmica em locais não apropriados, Figura 2.3, entre outros problemas ambientais.

Para DIAS (2004), a indústria da cerâmica é responsável pela produção de insumos, constituindo grande consumidora de matérias-primas naturais, e gerando resíduos isentos de qualquer mistura, como por exemplo, de materiais cimentícios.



Figura 2.4 – Pedacos de cerâmica jogados nas ruas em Iranduba/AM
Fonte: PINHEIRO (2015).

Do ponto de vista tecnológico, os resíduos cerâmicos apresentam potencialidade de uso como agregado para concreto, argamassa ou artefatos de cimento, onde participam como fíler inerte — possivelmente com alguma atividade pozolânica, material para sub-base ou base de pavimentação, e, ainda, poderiam ser reaproveitados no próprio processo de produção da indústria cerâmica (DIAS, 2004).

De acordo com dados obtidos junto a ACERAM (Associação dos Ceramistas do Amazonas), existem 32 olarias cadastradas para a produção do tijolo furado, produto mais consumido na indústria da construção civil na região.

Segundo MOTA (2014), em Manaus, são aproximadamente 60 empresas de coleta de resíduos de construção civil cadastradas na Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP, que atuam mercado dos resíduos, de acordo com dados fornecidos pela própria secretaria dados outubro/2013. A maioria destes materiais é destinada diretamente para o aterro sanitário municipal.

Segundo PIKANÇO (2012), as olarias do Amazonas em se tratando de reutilização dos resíduos, algumas trituram e reutilizam o material no próprio processo produtivo, enquanto que outras doam o material para ser utilizado na manutenção das estradas rurais e, finalmente, algumas empresas vendem ainda no pátio da fábrica o resíduo gerado a partir da produção de tijolo por R\$10,00 um metro cúbico ou R\$ 5,00, caso seja resíduo da produção de telhas cerâmicas.

Para MOTA (2014), a possibilidade da reutilização de materiais e aplicação de técnicas que se desenvolvem a cada dia, dentro dos próprios canteiros de obras é uma prática que está sendo executada através do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil (PGRSCC) e de algumas empresas do ramo da construção em Manaus.

2.4 - A CERÂMICA BRANCA

Para MOTA (2001), a expressão “cerâmica branca” é provém do fato de que, no passado, devido aos esmaltes serem transparentes procurava-se produzir corpos cerâmicos brancos e isentos de manchas, diferenciando-se, pela temperatura de queima, composição da massa, tipos de fundentes, absorção de água pela peça. A massa é constituída basicamente por argilas com queima branca, caulins, quartzo e geralmente feldspato, como fundente.

Ou seja, este tipo de cerâmica, inclui os materiais constituídos por um corpo branco e recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor. Nesse grupo estão às louças sanitárias, louças de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmicas artísticas (decorativa e utilitária) e cerâmicas para aplicação diversa (química, elétrica, térmica e mecânica) (NBR 6698/83 e NBR 6699/85).

Vale ressaltar que o segmento de louça sanitária tem forte participação nas exportações, com mais de 2,5 milhões de peças/ano, gerando um volume de exportações da ordem de US\$ 30 milhões. Da mesma forma, o segmento de isoladores participa com mais de US\$13 milhões nas exportações (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA BRANCA E DE REVESTIMENTO).

2.4.1 - Materiais que compõem a cerâmica branca

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas classificadas em naturais e sintéticas. As naturais mais utilizadas industrialmente são: argila, caulim, quartzo, feldspato, filito, talco, calcita, dolomita, Magnesita, cromita, bauxita, grafita e zirconita. As sintéticas, incluem entre outra alumina (óxido de alumínio) sob diferentes formas (calcinação, eletrofundida e tabular e tabular); carbetos de silício e produtos químicos inorgânicos os mais diversos” (ANFACER, 2001).

Matérias primas naturais usadas na fabricação da cerâmica branca são compostas principalmente por minerais cristalinos inorgânicos, não metálicos, formados processos geológicos complexos. Suas propriedades cerâmicas são grandemente determinadas pela estrutura cristalina e pela composição química dos seus constituintes essenciais e pela natureza e quantidade dos minerais acessórios presentes. A Tabela 2.3 apresenta a composição para as cerâmicas branca.

Tabela 2.3 – Composição da cerâmica branca.

Material	Características
Argila	Composta basicamente de argilominerais com uma elevada quantidade de caulinita e impurezas como materiais orgânico, principalmente quartzo, pirita.
Feldspato	Grupo de minerais formados por alumino- silicatos ou alcalinos terrosos combinados com proporções de potássio, sódio, cálcio, lítio e, ocasionalmente, bário e cério. Por terem temperatura de fusão baixa os feldspatos potássico e sódico, são empregados, nas massas cerâmicas e nos vidrados, como geradores de “massa vítrea”.
Caulim	Argilas extremamente plásticas que apresentam granulométrica fina e cor branca após a queima, em atmosfera oxidante, também chamadas de “Ball- clays” são compostas basicamente por caulinita, um argilo- mineral de formulação $Al_2 O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, sem muita contaminação de matéria orgânica ou outro mineral.
Quartzo	É uma fase da sílica, sendo este o segundo mineral mais comum encontrado. O quartzo apresenta transformação alotrópica da fase α para a fase β ($573^\circ C$) acompanhado de uma grande variação de volume e de sua denominação. Sua presença na composição da massa cerâmica branca é fundamental, já que este material garante a correta relação da transformação de caulim em mulita, controle de dilatação impedindo deformações da peça e ajuste de viscosidade da fase líquida formada durante a queima.
Talco	Material considerado um em escala Mohs de dureza, é a maneira mais econômica de introduzir MgO na massa cerâmica, trata- se de um silicato hidratado de magnésio com fórmula $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$.

Fonte: Adaptado de MELLO (2011).

As substâncias capazes de formar argilas são denominadas de argilominerais. São silicatos hidratados de alumínio ferro e magnésio, comumente com percentagem de álcalis e alcalino-terrosos. Junto com estes minerais vem à sílica pura, alumina, ferro,

cálcio, magnésio e matéria orgânica. Observe que os elementos formadores de vidro estão presentes (sílica, álcalis e calcário).

2.4.2 - Classificação da cerâmica branca

Para MELLO (2011), o setor de cerâmica branca é bem abrangente tendo uma classificação usual, por quantidade de absorção de água pela peça, separando porcelana, grês e faiança, a Tabela 2.4 apresenta a classificação para a cerâmica branca.

Tabela 2.4 – Classificação da Cerâmica Branca.

Tipo	Características
Porcelana	Classificada como uma cerâmica que absorve menos que 0,5% de água devido à baixa quantidade de poros; A porcelana é fabricada a partir de argila plástica e caulim: que garante qualidade mecânica e brancura na peça, quartzo e feldspato com alto nível de pureza.
Grês	São designados os materiais com baixíssima absorção, geralmente entre 0,5% e 3%. Feito a partir de matérias-primas com menos pureza, podendo conter granito e outros tipos de rochas cerâmicas, sendo o feldspato parcialmente substituído por uma rocha metamórfica de granulometria fina, o filito.
Faiança	Compostos por materiais semelhantes às grês, porém com a incorporação de fundentes que contém calcita e dolomita. As peças são fabricadas em temperaturas inferiores a 1250 °C e possuem porosidade maior que 3% consequentemente menor resistência mecânica. Seus produtos incluem aparelhos de jantar e de chá, xícaras e canecas.

Fonte: Adaptado de MELLO (2011).

2.5 - OS RESÍDUOS DA CERÂMICA

A fabricação da cerâmica tem perda razoável de material, cujo descarte como entulho era inevitável, devido às dificuldades de reutilização no processo industrial. O mesmo ocorria com o material descartado após o consumo.

Nas etapas de manuseio e transferência das peças secas para os fornos, para o estoque e, por último na expedição, algumas peças são quebradas e os índices de quebra é muito alto. O percentual de quebras varia de um item para outro. Enquanto o tijolo tem um índice total de 2,28% e a lajota, 2,01%, que são índices aceitáveis, a telha tem 8,17%, que é um índice alto, que precisa ser reduzido. Ele reflete os maiores cuidados

necessário para manusear este produto de design alongado que o torna mais frágil quando comparado com os outros itens.

Em relação a esse material descartado disponível, alguns aspectos podem contextualizar o problema, já que não existem sistemas para recuperação desses resíduos nem qualquer controle sobre a sua disposição. Martins *et al.*(2002), relaciona os problemas do descarte adequado da cerâmica vermelha:

1. Se não ocorre à disposição adequada dos resíduos gerados nas empresas da região, existe o problema ambiental. Ainda que a NBR 10.004 classifique materiais desse tipo como inertes, não existem estudos sobre a solubilidade do resíduo no meio a que ficará expostos;
2. Se ocorre a disposição em aterros, os custos para manutenção e prevenção de contaminação futura de lençóis freáticos são maiores do que aqueles associados à reciclagem desses materiais;
3. As empresas deverão atender ao preconizado na ISO 14.000, em relação ao Gerenciamento Ambiental e proteção ao meio ambiente;
4. Para cada metro cúbico de material reciclado, um metro cúbico de material não estará ocupando local em aterro sanitário, além de que um metro cúbico de material deixará de ser extraído do meio ambiente, no caso, areias;

PINTO (1999) diz que no Brasil eram gerados anualmente cerca de 90 kg de resíduo cerâmico por habitante e a quase totalidade deste material era lançada no meio ambiente, sem nenhum tratamento. De acordo com este autor, a maioria das argilas com as quais se fabricam blocos cerâmicos em estado natural possui pequena atividade pozolânica, mas torna-se reativa quando calcinada em temperaturas da ordem de 700 a 900 °C. Este material, quando moído, apresenta composição físico-química dentro das especificadas pela ASTM 618 (American Society for Testing and Materials- ASTM, 1992) para uso como adição mineral em misturas com cimento Portland.

XAVIER *et al.* (2008) realizaram estudos no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense para avaliar a influência da adição de um resíduo mineral de cerâmica vermelha tratado (RTM) na resistência de argamassas e concreto de cimento portland.

Segundo MARTINS *et al.* (2002), os valores de resistência mecânica em compressão obtidos para a argamassa confeccionada com o uso do resíduo industrial, superam aqueles obtidos com a argamassa obtida no canteiro de obra. Os fatores determinantes para essa ocorrência podem ser, em conjunto, a diferença no teor de água

utilizado na confecção das argamassas (mesmo estando na consistência padrão, ocorre pequena diferença entre os teores), a natureza dos agregados utilizados e a presença de finos no resíduo industrial. A somatória dessas influencias pode ter resultado na melhor resistência mecânica da argamassa desenvolvida com o resíduo. Uma visão da influência da granulometria na fluidez da argamassa pode ser estimada pela análise utilizando o critério de Andreassem.

Para DUTRA (2016), a indústria da cerâmica branca, setor da construção civil, gera uma quantidade significativa de resíduos no processo de fabricação e de utilização dos materiais cerâmicos. Tais resíduos são despejados, geralmente, na natureza, sem um destino fixo.

No Brasil, há a Lei nº 12.305 que constitui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), que fala acerca do descarte de resíduos sólidos e propõe uma hierarquia de destinação adequada (Art. 9º). Neste trabalho, a reutilização apresenta-se como melhor destino, hierarquizado como a terceira possibilidade, uma vez que não deixarão de ser gerados e nem é possível o controle da redução, pois são provenientes de processos produtivos de outras indústrias, não cabendo à indústria ceramista o controle.

2.5.1 - A reciclagem dos resíduos da fabricação de cerâmica na produção de argamassa

Segundo LEVY (1997), por mais que tenham evoluído as técnicas e métodos construtivos adotados em algumas regiões do país e por mais difundida que esteja a utilização de revestimentos internos à base de gesso, no Brasil, ainda predominam processos construtivos onde se utilizam revestimentos internos ou externos com argamassas de cimento Portland, cal, areia, saibro e outras adições. Na prática, constata-se e percebe-se facilmente que, neste processo construtivo, sempre haverá a geração de uma parcela de entulho e esta parcela por mais que seja reduzida, dificilmente poderá ser extinta.

As propriedades dos agregados reciclados podem variar bastante, devido a composição do resíduo processado, do equipamento utilizado, da distribuição granulométrica, da absorção de água, entre outros fatores. Estas propriedades são diferentes das dos agregados convencionais, que determinam algumas diferenças nas

condições de aplicação e nas características de argamassas em que forem usados (NENO, 2010).

PEDROZO (2008) desenvolveu um trabalho com o objetivo de avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino nas propriedades de concretos e argamassas. Foram produzidas argamassas com diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) pelo agregado miúdo reciclado considerando uma relação a/c constante de 0,66.

MIRANDA e SELMO (1999) apresentaram uma análise do desempenho de revestimentos de argamassas com entulho reciclado variando-se a composição do entulho e traços, por procedimentos racionais de dosagem. Diferente das propostas até então que se limitavam a argamassas com entulho, em traços empíricos ditados pela prática ou pelo fabricante do equipamento de moagem envolvido, sem fundamento tecnológico de dosagem (MIRANDA e SELMO, 1999).

As argamassas com reaproveitamento de resíduos podem possuir desempenho compatível com as determinações normalizadas, desde que se tome o devido cuidado no desenvolvimento do traço (determinação e avaliação de desempenho). Dentre os benefícios encontrados destacam-se a contribuição para a preservação ambiental, por se tratar de método construtivo Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento.

2.6 - ARGAMASSAS

As argamassas e concretos podem ser considerados misturas homogêneas complexas de materiais orgânicos (polímeros) ou inorgânicos (agregado miúdo para argamassa, e agregado graúdo para concreto) e de produtos especiais a eles incorporados chamados de aglomerantes (cimento Portland) (SABBATINI, 1984).

Tanto argamassas como concretos são materiais baratos e facilmente disponíveis. A argamassa é definida como qualquer produto ou massa produzida a partir do uso de um meio cimentante, podendo ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, ou seja, são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. Dispondo-se dos mesmos insumos, obtém-se variados tipos de concretos, que,

de forma geral, são influenciados pelo traço, tipo, método de cura e tempo de mistura (NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.6.1 - Definição das argamassas

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2001) define-se argamassa como: “Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

2.6.2 - Propriedades das argamassas

As principais propriedades das argamassas nos seus estados fresco e endurecido são:

- **Tempo de pega:** É um fenômeno químico resultante das reações do cimento, onde o agregado deve ser inerte. Existe a perda da plasticidade e aquisição de resistência. Após toda solidificação, o processo continua aumentando a dureza e a resistência. A da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, propriedades essencialmente físicas, conseqüente, entretanto, a um processo químico de hidratação. É um fenômeno artificialmente definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho (GALVÃO, 2013; SIQUEIRA, 2008).

No processo de hidratação, os grãos de cimento que, inicialmente, se encontram em suspensão, aglutinam-se paulatinamente uns aos outros, por efeito de floculação, conduzindo à construção de um esqueleto sólido, finalmente responsável pela estabilidade da estrutura geral.

O prosseguimento da hidratação em subseqüentes idades conduz ao endurecimento responsável pela aquisição permanente de qualidades mecânicas, características do produto acabado. A pega e o endurecimento são dois aspectos do mesmo processo de hidratação do cimento, vistos em períodos diferentes – a pega na primeira fase do processo e o endurecimento na segunda e última fase do mesmo (SIQUEIRA, 2008). A partir de certo tempo após a mistura, quando o processo de pega alcança determinado estágio, a pasta não é mais trabalhável, não admite operação de

remistura. Tal período de tempo constitui o prazo disponível para as operações de manuseio das argamassas e concretos, após o qual esses materiais devem permanecer em repouso, em sua posição definitiva, para permitir o desenvolvimento do endurecimento (SIQUEIRA, 2008).

- **Trabalhabilidade:** A trabalhabilidade é um termo que se refere às propriedades do concreto fresco, ou seja, às propriedades do concreto antes que se inicie a pega e seu endurecimento. Chama-se de trabalhabilidade à facilidade de manuseio, transporte, lançamento e adensamento. O concreto deve apresentar trabalhabilidade assegurando plasticidade máxima, segregação mínima e consistência apropriada.

Na tecnologia dos concretos, esse termo tem sido usado frequentemente para abranger todas as qualidades necessárias a uma mistura, o que pode incluir, sob a mesma denominação geral, o requisito estabilidade, que significa dizer que a mistura é capaz de resistir à segregação e à exsudação. Obviamente, o nível de trabalhabilidade exigido para um concreto depende da situação para qual o material será empregado (CASTRO, 2007).

- **Durabilidade:** A durabilidade é definida como a vida útil de um material sob dadas condições ambientais. Essa propriedade começa a ter maior atenção por parte da comunidade científica e técnica, visto que as peças de concreto têm vida útil a ser considerada. Esta propriedade não precisa estar relacionada diretamente com a resistência mecânica, tendo outras propriedades como permeabilidade e difusibilidade de íons com maior influencia nessa propriedade. Devem ser considerados os efeitos físicos que influenciam negativamente a durabilidade como desgaste da superfície, fissuras causadas pela pressão de cristalização de sais nos poros e exposição a temperaturas extremas (GALVÃO, 2013).
- **Retração:** A retração é um processo sofrido pelas argamassas, principalmente, nas primeiras idades. No estado endurecido, a retração ocorre logo após o endurecimento da argamassa, resultante da reação química dos aglomerantes. A retração consiste na diminuição de volume do concreto desde o fim da cura até atingir um estado de equilíbrio compatível com as condições ambientes. A retração resulta em poros capilares que podem se tornar perigosos levando a um concreto mais permeável (SANTOS, 2008; GALVÃO, 2013).

- **Permeabilidade:** O comportamento dos materiais de construção em relação à umidade é largamente dependente da absorção de água dos mesmos. A permeabilidade de uma argamassa está relacionada à passagem de água pela camada de argamassa, que é um material poroso e permite a percolação da água tanto no estado líquido como no de vapor, e depende basicamente da quantidade e do tipo de aglomerante utilizado, da granulometria do agregado e das características do substrato. A argamassa no estado endurecido permite a penetração de água por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. A permeabilidade é uma propriedade que deve ser evitada, já que é a capacidade de se deixar ser atravessado por água, mesmo nos casos onde não é necessária impermeabilização, já que a umidade pode levar as armaduras ao processo de corrosão (SANTOS, 2008; GALVÃO, 2013).
- **Exsudação:** A exsudação é uma forma de segregação na qual parte da água da mistura tende a migrar para a superfície do concreto recém lançado. É um fenômeno que deve ser evitado e é causado pela incapacidade dos constituintes sólidos da mistura em reter toda a água de amassamento quando eles se assentam em direção ao fundo. Como resultado da exsudação, o topo de qualquer camada de concreto lançada pode ter excesso de água e, caso a água seja aprisionada pelo concreto sobreposto, o resultado será uma camada de concreto porosa, fraca e não durável. Isso pode ser evitado pelo retardo das operações de acabamento até que a água de exsudação tenha evaporado, por outro lado, se a evaporação da água da superfície do concreto é mais rápida que a velocidade de exsudação, pode ocorrer a fissuração por retração plástica (NEVILLE & BROOKS, 2013). Observa-se que a exsudação não é necessariamente prejudicial. A relação água/cimento efetiva pode ser diminuída, com consequente aumento da resistência.
- **Resistência Mecânica:** A resistência mecânica é uma propriedade de estado endurecido, que é definida como a propriedade das argamassas de suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas, devido à abrasão superficial e ao impacto. Após seu endurecimento, independente do tipo de aplicação, as argamassas sempre serão submetidas a algum tipo de esforço mecânico. As argamassas de assentamento são solicitadas à compressão e as de revestimento à abrasão superficial, impacto, tensões de cisalhamento decorrentes de movimentações do substrato e variações térmicas (SANTOS, 2008).

2.7 - ATIVIDADES POZOLÔNICA

2.7.1 - Definições de atividades pozolânicas

Para TANACA *et al.* (2017), a complexidade inerente à atividade pozolânica, sobretudo pela variabilidade das características físico-químicas das adições minerais e pelo montante de fatores intervenientes na interação com a cal, dificulta a padronização de metodologia normativa para a classificação e hierarquização destes materiais.

Segundo a definição mais formal a NBR 12653/1992, são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

As pozolanas são materiais naturais ou artificiais que contém sílica em forma reativa. - São materiais silicosos ou sílico-aluminosos que têm pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, finamente pulverizadas e na presença de umidade, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando produtos com capacidade cimentante (OLVEIRA, 2010).

Um material pozolânico é definido como um material silicioso ou silicoaluminoso, sem valor cimentício direto, mas que, na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio (à temperatura ambiente), para formar compostos que possuem propriedades de cimento (ASTM C618 *apud* SAID-MANSOUR *et al.*, 2011).

2.7.2 - História das atividades pozolânicas

No mundo, segundo OLIVEIRA (2010), há mais de 2000 anos atrás, os Romanos utilizavam um material nas construções, chamado “Pulvis Puteolonis”, que era uma espécie de cinza de origem vulcânica, encontrada em uma localidade denominada de Pozzuoli, na Baía de Nápoles – Itália, nas imediações do Vesúvio. - Este material tornou-se popularmente conhecido como Pozzolana, cuja mistura com cal e agregados, foram amplamente empregada com sucesso em várias edificações do Império Romano, como nos aquedutos, no Coliseu e nas Termas.

Registros históricos comprovam que pozolanas misturadas com água e cal já eram usadas a cerca de 2000 anos atrás pelos romanos em construções que continuam praticamente intactas até os dias atuais (MASSAZZA, 1998).

No Brasil, os cimentos com adição pozolânica começaram a ser comercializados em 1969, no Rio Grande do Sul, por iniciativa da S.A. Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, utilizando cinzas volantes coletadas na Termoelétrica de Charqueadas. Anteriormente, havia o uso esporádico de argila calcinada na obra da barragem de Jupuíá, no Rio Paraná, cuja fábrica iniciou sua operação em 1965 (SILVA, 2010).

Segundo OLIVEIRA (2010), no Brasil o material pozolânico que é amplamente utilizado, é o fly ash, também conhecido como cinza volante, proveniente da queima do carvão mineral em usinas termelétricas. Devido ao seu extraordinário desempenho como material pozolânico, o fly ash tem sido utilizado na produção do Cimento Portland Pozolânico (CP – IV), na construção de barragens hidrelétricas, em concreteiras, em fábricas de fibrocimento, siderúrgicas, entre outras.

2.7.3 - Como ocorre a atividade pozolânica

A utilização de material pozolânico se dá de duas formas, como adição ao cimento Portland durante sua fabricação, gerando os cimentos compostos (forma mais usual em países como Brasil, França e Alemanha), ou como adição ao concreto (como é o caso nos Estados Unidos). Independente da forma, o resultado final é semelhante: a adição mineral interage química e fisicamente com os produtos de hidratação do cimento Portland, modificando a microestrutura da pasta (SILVA, 2010).

Segundo OLIVEIRA (2010), a utilização de materiais pozolânicos em matrizes cimentícias é bastante comum, principalmente os materiais provenientes dos resíduos dos fornos metalúrgicos (microssílica) para confecção de concretos de alto desempenho ou pozolanas naturais para produção de cimentos compostos.

As pastas cimentícias promovem, através de ligação química, um abrigo seguro para muitos dos elementos tóxicos presentes nos resíduos industriais e agroindustriais, sendo capaz de fornecer uma solução econômica e tecnológica para o manuseio e controle de resíduos de forma a causar menor dano ao meio ambiente, além de promover melhorias técnicas aos produtos cimentícios (OLIVEIRA, 2010).

Segundo ainda OLIVEIRA (2010), o passo mais importante do desenvolvimento dos concretos, neste último século, foi à utilização de subprodutos

com propriedades pozolânicas, como a cinza volante, a escória de alto forno, a sílica ativa e, recentemente, os resíduos da cinza da casca de arroz e o metacaulim.

2.7.4 - Classificação das atividades pozolânicas

Os materiais pozolânicos podem ser divididos em naturais e artificiais (NBR 12653/1992; MONTANHEIRO *et al.*, 2002a; entre outros).

Pozolanas naturais são aquelas cuja origem é vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido (65% de SiO₂) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica.

Já as pozolanas artificiais são materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade pozolânica (NBR 12653/1992), e podem ser divididas em argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais.

Os materiais pozolânicos estão atualmente presentes em uma grande parcela dos concretos empregados no mundo, seja por motivos ligados à redução do impacto ambiental e econômico ou pelas melhorias relacionadas a durabilidade. (GOBBI, 2014).

A classificação segundo a NBR 12653/92, é feita com base na origem dos materiais pozolânicos, que os divide em três classes distintas, segundo a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Resumo da Classificação das Atividades Pozolônicas.

Classe	Observação
N	Pozolanas naturais e artificiais, materiais vulcânicos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.
C	Cinza volante produzida pela combustão do carvão mineral em usinas termoeletricas.
E	Pozolanas que diferem das classes anteriores.

Fonte: Adaptado de NBR 12653/92.

MEHTA e MONTEIRO (1994) propõem uma classificação mais abrangente para as adições minerais, de acordo com suas características pozolânicas ou cimentantes. A classificação apresenta os materiais divididos em dois grupos: materiais naturais e subprodutos. Os materiais naturais são processados com a intenção única de produzir uma pozolana e seu processamento inclui em geral britagem, moagem e classificação granulométrica. Os subprodutos não são os produtos primários de suas indústrias produtoras, e no seu processamento podem requerer a secagem ou a pulverização.

SILVEIRA e RUARO (1995) salientam que as pozolanas naturais (argilas calcinadas) e artificiais (subprodutos industriais) dos fornos de usinas termoeletricas, que possuem propriedades pozolânicas são empregadas como fonte de incorporação mineral em concretos e provocam o aparecimento de dois efeitos: o efeito microfiller e o efeito pozolânico.

2.7.5 - Características químicas e físicas das pozolanas

A NBR 12653/92, que é análoga à americana ASTM C618-95, estabelece algumas exigências mínimas com relação às propriedades químicas e físicas das pozolanas as quais estão de acordo com as Tabelas 2.6 e 2.7.

Tabela 2.6 – Características Químicas das pozolanas.

Propriedades Químicas	NBR 12653/92			
	Classe	N	C	E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (% mínima)		70,0	70,0	50,0
SO ₃ (% máxima)		4,0	5,0	5,0
Teor de umidade (% máxima)		3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo (% máxima)		10,0	6,0	6,0
Alcalis disponível em Na ₂ O (% máxima)		1,5	1,5	1,5

Fonte: Adaptado de NBR 12653/92.

Tabela 2.7 – Características Físicas das pozolanas.

Propriedades Químicas	NBR 12653/92			
	Classe	N	C	E
Material retido na peneira # 45 µm (% máxima)		34,0	34,0	34,0
Índice de atividade pozolânica: Com cimento, aos 28 dias em relação ao controle (% mínima)		75,0	75,0	75,0
Com cal, aos 7 dias em MPa		6,0	6,0	6,0
Água requerida (% máxima)		115	110	110

Fonte: Adaptado de NBR 12653/92.

Para MEHTA (1987), estes óxidos, quando presentes em estado não cristalino ou pouco cristalino, participam ativamente na reação pozolânica; porém, a exigência mínima da soma destes constituintes assume que eles devem estar sempre presentes na forma reativa, o que é raramente encontrado. A maioria das pozolanas naturais contém

grandes quantidades de quartzo e feldspato, que são altamente cristalinos e não reagem com a cal.

A atividade pozolânica de um agregado no cimento pode ser avaliada pelo aumento de resistência à compressão final da amostra devido à formação de fases hidratadas adicionais, e caracterizada pelo menor teor de hidróxido de cálcio presente na amostra após a reação pozolânica. Em ambos os casos, os resultados são comparados com base a amostras de cimento hidratadas sem agregados, no mesmo período de hidratação (DONATELLO *et al.*, 2009; DWECK *et al.*, 2009 e 2008; DA CUNHA *et al.*, 2008a e 2008b; PINTO *et al.*; 2007; PACEWSKA *et al.*, 2004).

COUTINHO (2006) cita dois métodos distintos para a determinação da reatividade de pozolanas: a) O Índice de Atividade – que se baseia na determinação da resistência mecânica em pastas e argamassas e b) Pozolanicidade – que se baseia num ensaio químico para avaliar o grau de combinação do Ca(OH)_2 com a pozolana. Existem alguns métodos para a avaliação da pozolanicidade: Entre eles pode-se citar o Método Chapelle, o método Fratine (NBR 5753), a difração de raios X, a determinação do consumo de hidróxido de cálcio pela termogravimetria e a determinação do calor de hidratação por meio de técnicas calorimétricas.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados neste trabalho estão especificados a seguir:

- Estufa: marca DE LEO;
- Moinho de bolas: marca CIMAQ S.A, modelo Work Index série 005;
- Mufla: marca QUIMIS;
- Balança analítica: marca GEHAKA, modelo BG2000;
- Difrátômetro de raios X: marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) com goniômetro PW3050/60 (θ / θ);
- Moinho de bolas: marca MARCONI, modelo MA500/CFT;
- Moinho de discos: marca MARCONI, modelo MA700.
- Espectrômetro de fluorescência de raios X: marca PANalytical, modelo Axios Minerals;
- Microscópio eletrônico de varredura (MEV-FEG): marca Zeiss, modelo Sigma-VP;
- Metalizador de ouro: marca Emitech, modelo K550X;
- Detector de EDS: marca IXRF, modelo Sedona-SD.

3.2 - MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

3.2.1 - Resíduo de cerâmica branca (RCB)

A elaboração das argamassas para este estudo foi realizada na Usina de Materiais (USIMAT) do Laboratório de Engenharia Química (LEQ) da Universidade Federal do Pará. O RCB utilizado nos experimentos é proveniente da cidade de Manaus o qual será empregado como agregado miúdo para a elaboração das argamassas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Resíduo de cerâmica branca

3.2.2 - Sílica

A sílica utilizada nos experimentos é a mesma comercializada na região metropolitana de Belém.

3.2.2 - Cimento

O cimento utilizado para a formulação das argamassas foi o cimento Portland tipo CP II E-32,

3.3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

De acordo com a Figura 3.2, antes de iniciar o processo de caracterização há o preparo das matérias-primas, onde o (RCB) foi secado em um secador de bandejas (estufa) a 105 °C durante 24 h, com o intuito de remover o excesso de umidade que havia no material. Após a obtenção do material seco, foi realizada a cominuição (britagem e moagem) Figura 3.3. Em seguida, o RCB e a sílica passaram por uma classificação. As granulometrias do RCB e da sílica foram ajustadas para a malha abaixo de 100 *mesh* Figura 3.4. Após o ajuste, o RCB foi analisado com as técnicas de fluorescência e difração de raios X.



Figura 3.2 – Fluxograma do procedimento experimental.



Figura 3.3- (A) britador de mandíbula, (B) moinho de bolas e (C) material em processo de fragmentação.

Após as etapas de cominuição, o RCB e a sílica foram classificados pela operação de peneiramento, Figura 3.4, nas peneiras ABNT $\frac{3}{4}$ (19,1 mm). O material passante na peneira de 100# (150 μm) foi analisado através das técnicas de Fluorescência de raios X e Difratomia de raios X, e posteriormente foi utilizado na

elaboração dos traços das argamassas.



Figura 3.4 - Peneiras granulométricas

A Figura 3.5 mostra o RCB a areia e o cimento após os processos de secagem, cominuição e peneiramento.

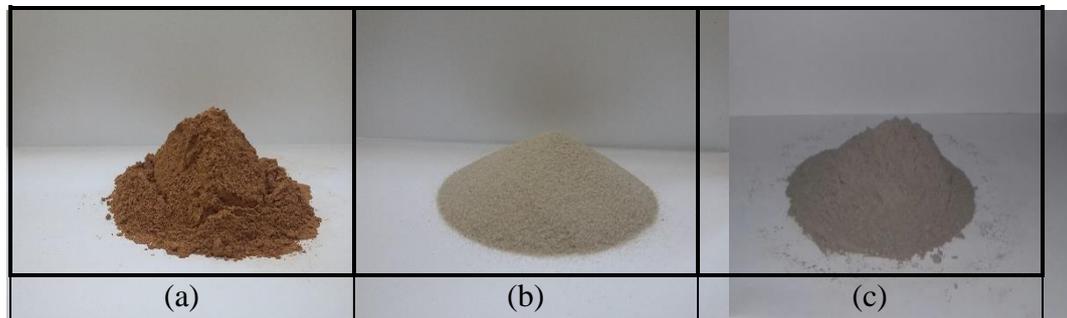


Figura 3.5 – RCB seco, moída e peneirada (a). Areia peneirada (b). Cimento (c).

De acordo com a Figura 3.2, após a caracterização do RCB, foi realizado o preparo das argamassas. Os percentuais dos materiais utilizados para a elaboração dos traços para a obtenção das argamassas foram definidos de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Traços elaborados.

Materiais	TRAÇOS DE ARGAMASSAS (TR)				
	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5
RCB (%)	50	40	30	20	10
Areia (%)	43	53	63	73	83
Cimento (%)	7	7	7	7	7

Após a definição dos percentuais de cada material a serem utilizados na elaboração dos traços das argamassas, partiu-se para a confecção dos corpos-de-prova.

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se formas cilíndricas de policloreto de vinila (PVC) com dimensões de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro conforme recomendado pela Norma NBR - 7215 (ABNT, 1991). Na Figura 3.7 pode ser observado os moldes dos corpos-de-prova cilíndricos.

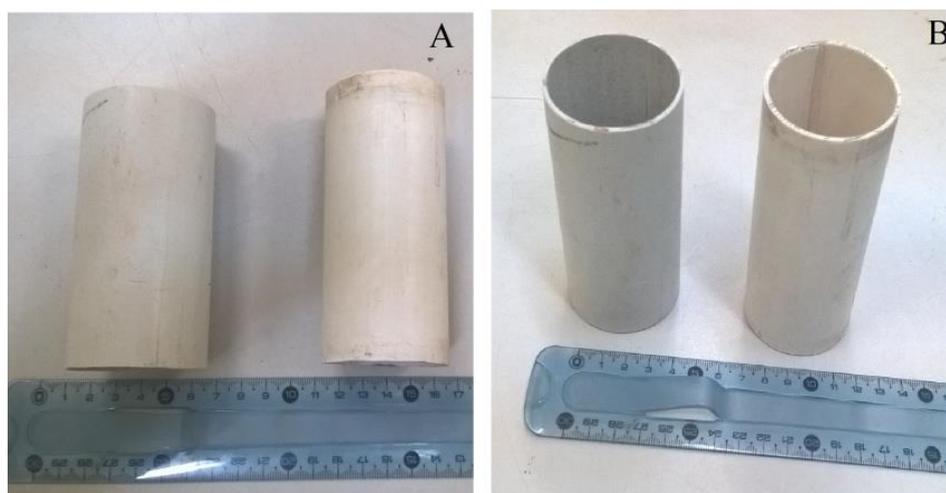


Figura 3.6- Moldes dos corpos-de-prova cilíndricos (A) e (B) elaborados com PVC.

De acordo com a Tabela 3.1, foram elaborados 5 traços (Tr1, Tr2, Tr3, Tr4 e Tr5). Para cada traço foram moldados 3 corpos-de-prova (CPs). A massa de cada CP elaborado e a massa da mistura total utilizada para a confecção dos 3 CPs, podem ser vistas nas Tabelas 3.2 e 3.3, respectivamente.

Tabela 3.2- Massa utilizada para elaboração dos CPs.

Corpos-de-prova	Massa (g)
1 corpo-de-prova	250,00
3 corpos-de-prova	750,00

Tabela 3.3- Massa da mistura total utilizada para a elaboração dos CPs.

	RCB (g)	AREIA (g)	CIMENTO (g)	MASSA TOTAL (g)	% ÁGUA
Tr1	380	326,8	53,2	760	30
Tr2	304	404,8	53,2	760	30
Tr3	228	478,8	53,2	760	30
Tr4	154	562,1	53,2	770	30
Tr5	77	639,1	53,2	770	30

A literatura especializada para a obtenção de argamassas afirma que o teor de água utilizado para a elaboração de uma argamassa areia-cimento é de 25% da massa total da mistura. Para este trabalho, através de testes preliminares, foi estabelecida a utilização de 30% de água na mistura, teor que apresentou melhores resultados para a conformação dos CPs.

Conforme a Tabela 3.2, foi utilizada uma base de cálculo de 760 g para a elaboração de cada traço. Para os traços Tr4 e Tr5 foi utilizado em torno de 10g a mais da mistura em relação aos demais traços devido ao material ter apresentado uma contração mássica, não possibilitando a elaboração de todos os corpos de provas. Durante a preparação da mistura (RCB-Areia-Cimento), foram medidos em uma proveta 380 mL de água e 20 mL de plastificante, obtendo-se uma solução de 400 mL. Para cada traço, a solução foi adicionada à mistura e misturada manualmente com auxílio de um bastão até que a solução apresentasse uma textura pastosa.

Atingindo a textura desejada, a massa pastosa foi direcionada a um misturador mecânico da marca SOLDTEST (Figura 3.8), com capacidade de 130 litros e movimento planetário, o qual proporcionou a homogeneização da mistura em um intervalo de tempo de 15 minutos. Após essa etapa, a mistura foi deixada em repouso por quinze minutos, de acordo com a NBR 13276/05.



Figura 3.7- Misturador mecânico SOLDTEST.

Passando o período de repouso, a mistura foi novamente amassada por aproximadamente 1 minuto e, em seguida, adicionada em 3 moldes de corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura para cada traço de argamassa elaborado, de acordo com a NBR 7215/96, com o auxílio de uma espátula, dando assim, início ao processo de cura. Após todos os traços serem enformados, os mesmos foram armazenados para cura por 28 dias Figura 3.9.



Figura 3.8 - Corpos-de-prova no molde cilíndrico.

Após os 28 dias de cura, o material foi desenformado (Figura 3.10) e submetidos aos testes de absorção de água por imersão, porosidade aparente e os ensaios mecânicos de resistência a compressão.



Figura 3.9- CPs após 28 dias de cura

Após a cura de 28 dias dos corpos-de-prova, foram executados os ensaios de absorção de água por imersão e porosidade aparente, de acordo com a ABNT NBR 9778/87. Foi utilizada a balança analítica da marca GEHAKA – modelo BK 400 II.

A absorção por imersão é definida pela Eq. (3.1):

$$ABS_I = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Sendo M_{sat} é a massa do CP saturado e M_s é a massa do CP seco.

A massa específica (Mea) é representada pelo quociente da massa de cada CP seco, pela diferença da massa úmida com a massa imersa de cada CP. A massa específica foi calculada de acordo com a Eq. (3.2):

$$Mea = \frac{M_{CPS}}{(M_{UCP} - M_{ICP})} \quad (3.2)$$

Sendo M_{CPS} é a massa do CP seco, M_{UCP} é a massa do CP úmido e M_{ICP} é a massa do CP imerso.

A porosidade aparente é a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo calculada de acordo com a Eq. (3.3):

$$Mea = \frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_{sat} - M_l)} \times 100 \quad (3.3)$$

Sendo M_l é a massa do CP saturado, imerso em água. A Figura 3.11 apresenta as etapas para a obtenção das massas utilizadas nas Eqs. (3.1, 3.2 e 3.3).



Figura 3.10 - Etapas para a obtenção das massas utilizadas nas Equações 3.1, 3.2 e 3.3.

Os ensaios de resistências à compressão dos CPs de argamassas foram realizados de acordo com ABNT NBR 7215, após 28 dias de cura, utilizou-se uma prensa modelo EMIC SSH300, Figura 3.11, no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal do Pará.



Figura 3.11 - Prensa modelo EMIC SSH300

A resistência a compressão axial de cada CP é obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal dos CPs. Neste estudo, foram obtidos os valores das resistências para os 3 CPs elaborados, obtendo-se um valor médio para a resistência a compressão axial.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A Figura 4.1 apresenta a distribuição granulométrica para o cimento Portland, areia e o RCB (chamota). Observa-se, que a granulometria do cimento está abaixo da peneira com abertura de 100 μm , caracterizando-se um material muito fino. Visando a homogeneidade da mistura, a areia foi passada na peneira de 100 μm .

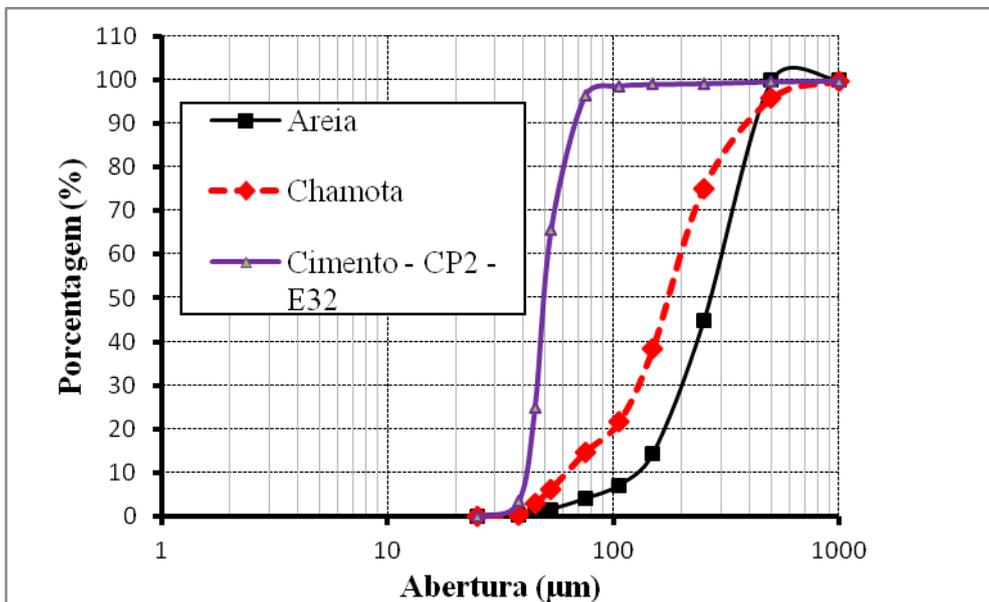


Figura 4.1-Distribuição granulométrica dos materiais

Após a moagem, o RCB apresentou largas distribuições granulométricas, Figura 4.1. Esse fato foi preponderante para que o resíduo fosse peneirado novamente na peneira de 100 μm , quanto menor o diâmetro mais reativo será o material, buscando a homogeneidade com o cimento e a areia e visando uma maior reatividade do RCB de acordo com suas característica pozolânica.

De um modo geral, a homogeneidade dos materiais, gera um melhor empacotamento dos grãos e uma boa plasticidade das argamassas.

4.2 - ANÁLISES POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

A análise por fluorescência de raios X foi realizada com o propósito de quantificar os compostos de ferro, alumínio, sílica e sódio presentes no RCB forma *in natura*. Com a quantificação destes compostos, e de acordo com a NBR-12653 de 1992, pode-se comprovar a utilização do RCB no processo de produção de argamassas como um material pozolânico. A Tabela 4.1 apresenta a composição química do RCB *in natura*.

Tabela 4.1 - Composição química do RCB na forma *in natura* calculada pela fluorescência de raios X.

Elementos	% m/m
Fe ₂ O ₃	8,18
Na ₂ O	1,18
TiO ₂	0,83
CaO	1,42
SiO ₂	66,62
Al ₂ O ₃	15,58
K ₂ O	3,84
MgO	1,79
SO ₃	-
P.F	9,10

Os resultados da Tabela 4.1 mostram que o RCB possui os compostos de ferro, alumínio, sílica e sódio dentro do percentual exigido pela norma NBR-12653 de 1992. A composição química inicial do RCB justifica a realização deste trabalho, pois através dessa análise, observa-se que o resíduo apresenta potencial para ser utilizado como material pozolânico nas misturas para a elaboração de argamassas.

4.3 - ANÁLISES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As análises por difração de raios X permitiram a identificação das fases minerais presentes no RCB. A Figura 4.2 mostra a análise mineralógica para o RCB, onde pode ser visualizada a presença dos minerais calcita, quartzo e a albita, os quais são muito reativos e apresentam atividade pozolânica quando entram em contato com o cimento.

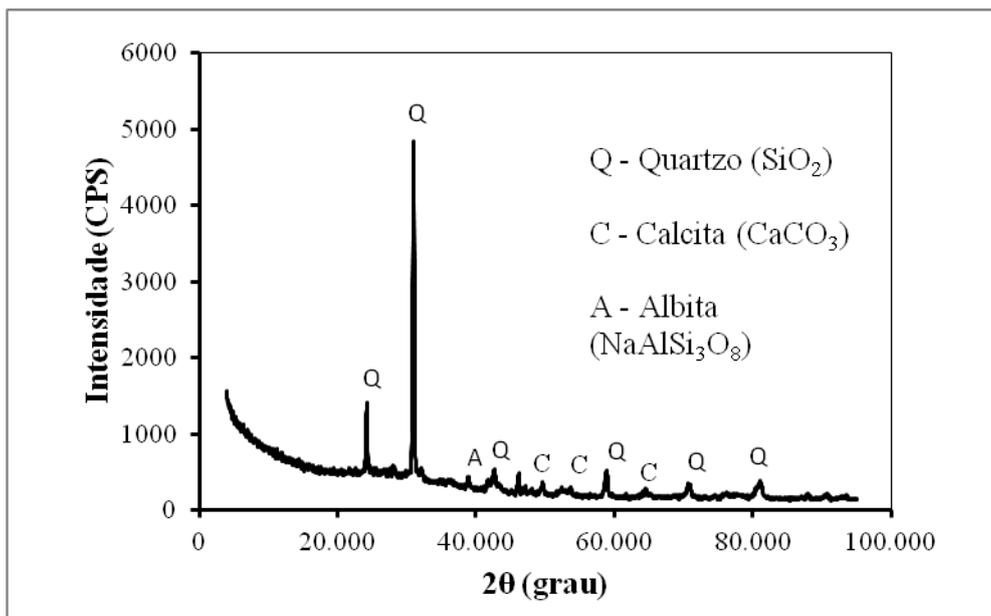


Figura 4.2 – Difratoograma do RCB.

Ainda pode ser observado no difratograma, picos de baixa intensidades, isso é um indicativo que a maior parte do material está no estado amorfo, confirmando novamente que o material possui boa reatividade.

4.4 - ANÁLISES DE POROSIDADE APARENTE

Da análise da Figura 4.3 nota-se que as porosidades aparentes das argamassas aumentam ligeiramente com o aumento do RCB.

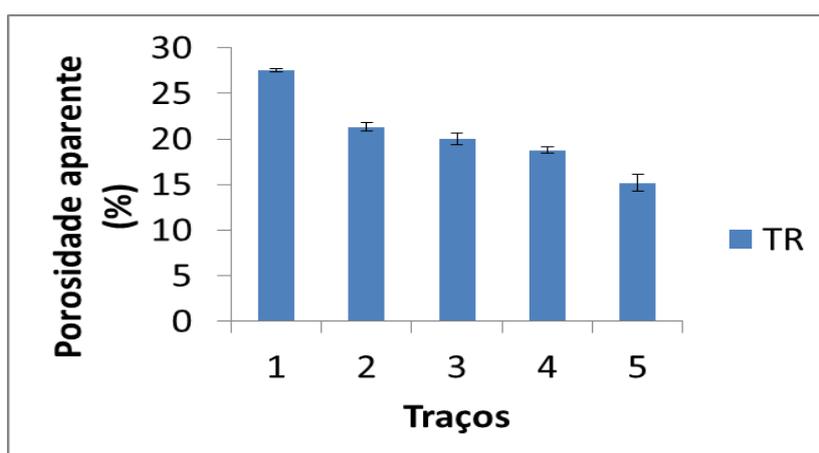


Figura 4.3 – Porosidade Aparente.

Justifica-se esse comportamento devido ao RCB, possui bastante finos, tornando-o um material de elevada porosidade. Esse fato está de acordo com a literatura

especializada no assunto, a qual afirma que materiais reciclados utilizados como agregados na elaboração de argamassas apresentarão maior porosidade que os agregados naturais.

4.5 - ANÁLISES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Figura 4.4 apresenta o comportamento das argamassas produzidas em relação a absorção de água.

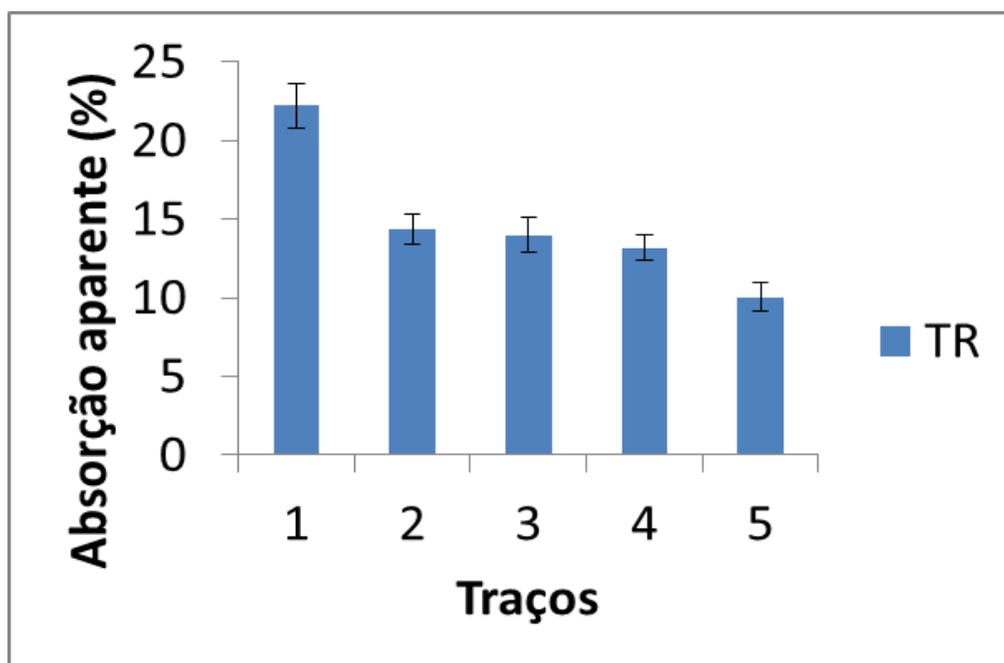


Figura 4.4 – Absorção de água.

Constata-se na Figura 4.4 que o aumento do percentual do RCB nas misturas contribui diretamente para o aumento da absorção de água das argamassas produzidas, isso já era de se esperar devido o RCB ser autamente poroso.

4.6 - ANÁLISES DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Na Figura 4.5 observa-se que os resultados das massas específicas aparentes das argamassas seguem o mesmo comportamento observado tanto para a porosidade como para a absorção de água, ou seja, estar associado à presença de materiais porosos que compõem o RCB.

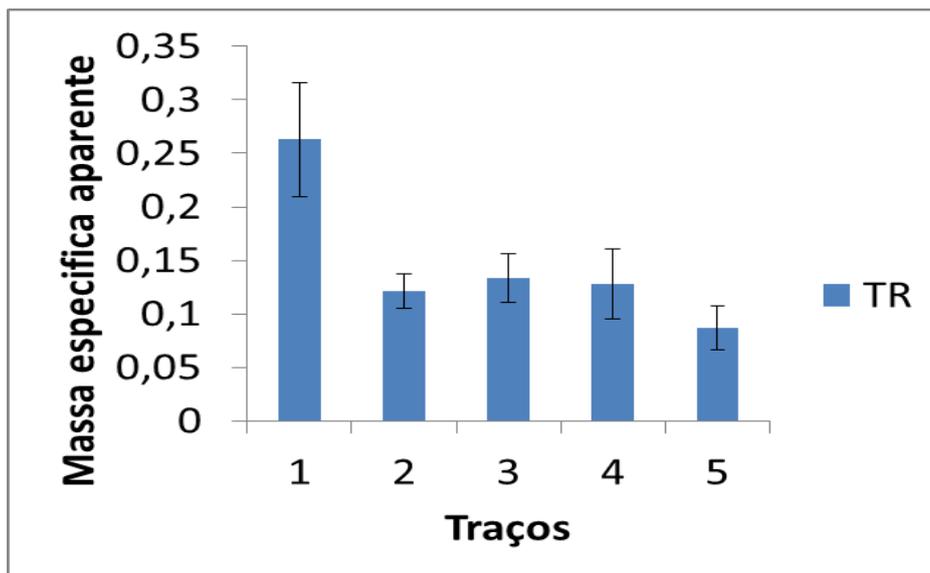


Figura 4.5 – Massa específica aparente

4.7 - ANÁLISES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Na Figura 4.6, pode ser observado o comportamento das argamassas produzidas quando as mesmas foram submetidas aos ensaios de compressão. Os resultados das resistências a compressão mais expressivos foram para o TR1, o qual ficou em torno de 2,5 MPa. Isto pode ser explicado pela composição granulométrica do RCB que possui elevado teor de material fino, conjuntamente com a característica pozolânica do RCB. Tais fatores ocasionam, na mistura, uma maior interação entre agregado (RCB)/cimento conduzindo ao aumento da resistência a compressão da matriz cimentícia.

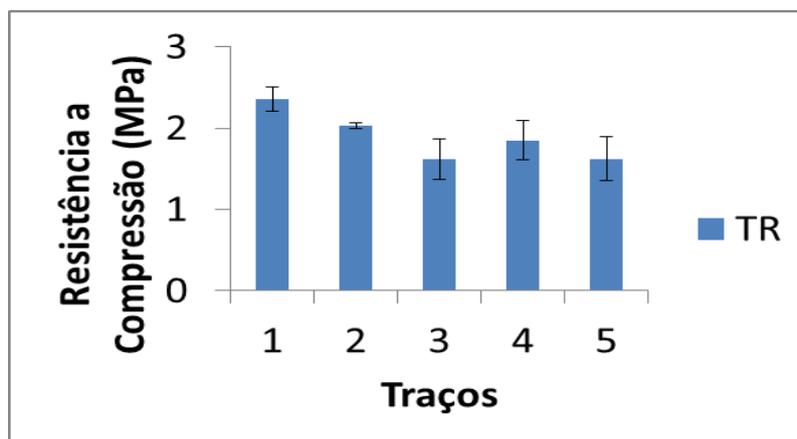


Figura 4.6 – Resistência a compressão dos CPs.

Outro fator que pode ter influenciado de forma positiva no desempenho da resistência mecânica à compressão para o TR1 é a redução da relação água-cimento devido à maior absorção de água do agregado, ou pela influência do plastificante na mistura que promove melhor dispersão das partículas de cimento na mistura.

Segundo MENEZES *et al.* (2009), de forma geral, o aumento da resistência das argamassas contendo resíduos está associado a uma ação física dos resíduos, que produz um arranjo mais eficiente na interface agregado-pasta de cimento, densificando esta zona e, conseqüentemente, aumentando a resistência da argamassa.

Comparando-se os resultados de resistência obtidos para as argamassas aos 28 dias de cura com a normalização ABNT NBR 13279 (ABNT, 1995), e de acordo com a Tabela 4.2, verifica-se que elas podem ser classificadas como argamassas Classe P1 e P2, em virtude de apresentarem resistência inferior a 2,0 MPa e estarem dentro do intervalo de 1,5 a 3,0 MPa, respectivamente.

Tabela 4.2 – Classificação das argamassas, ABNT NBR 13279.

Resistência à compressão em MPa	
Resistência à Compressão (Mpa) - ABNT NBR 13279	
Classe	Resistência à Compressão (Mpa)
P1	< 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	>8,0

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 – CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo são bastante animadoras em relação aos resultados de resistência à compressão axial obtidos. Esses resultados indicam a viabilidade da utilização do RCB para a utilização do mesmo como agregado miúdo na elaboração de argamassas.

A respeito das argamassas e dos resultados obtidos pode-se dizer que abre-se, na cidade de Manaus, uma nova linha de pesquisa, com a qual será possível a valoração não somente para o RCB mas para os RCC, em geral, empregando esses resíduos na produção de novos produtos.

As análises de difração e fluorescência de raios X mostraram que o RCB é composto essencialmente por óxido de silício, óxido de ferro, óxido de alumínio e óxido de sódio, os quais estão acima do percentual exigido pela NBR-12653, 1992, para o emprego em produção de argamassas como material com atividade pozolânicas.

As análises de resistência a compressão indicam que as argamassas produzidas segundo a normalização ABNT NBR 13279 (ABNT, 1995), podem ser classificadas como argamassas Classe PI e P2, ou seja, argamassas empregadas em assentamento e revestimento, respectivamente.

As análises de absorção, porosidade e massa específica, revelam que aumentando o percentual de RCB nas misturas, as argamassas apresentaram maior absorção de água e índice de vazios bem como aumento nas massas específicas. Contudo, pode-se considerar que os resultados obtidos foram satisfatórios, pois argamassas produzidas, estão dentro da especificação exigidas pelas normas regulamentadoras.

Todas as misturas elaboradas, possuem potencial para serem utilizadas na produção de argamassas. Mas do ponto de vista do maior reaproveitamento do RCB, a mistura mais indicada é a sugerida pelo TR1 (50 % RCB, 43 % areia, 7% cimento).

O estudo realizado, ainda possibilita a afirmação, de que o RCB pode substituir o agregado natural em até 50%, de acordo com o TR1, visto que apresenta um ganho

significativo em termos de consumo bem menor de cimento, implicando em um menor custo de produção.

5.2 - SUGESTÕES

Devido à grande abrangência do assunto abordado neste estudo, são apresentadas, a seguir, algumas sugestões para a continuação do presente trabalho:

- Realizar um estudo da melhor mistura obtida, adicionando à mistura aditivos de base orgânica (polímeros) e inorgânica (geopolímeros) visando o aumento da resistência a compressão das argamassas;
- Elaborar os modelos matemáticos em termos de análise reológica, os quais forneceram qual o ponto fluido ideal das argamassas, refletindo na melhoria do estado endurecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL: Associação Brasileira do Alumínio. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 12 de maio de 2016, 22h05min.

ABITBOL. Abraão Moses Bastos; LOPES, Marcileia Couteiro; GUIMARAES, David Franklin da Silva. **Caracterização Ambiental do Depósito de Resíduos Sólidos de Iranduba/Am. XVII COBREAP - Congresso Brasileiro De Engenharia De Avaliações E Perícias - Ibape/Sc – 2013.**

AGATIZINI-LEONARDOU, S. *et al.* Titanium leaching from red mud by diluted sulfuric acid at atmospheric pressure. **Journal of Hazardous Materials**, v. 157, n. 2-3, p. 579-586, 2008.

ALTUNDOGÄN, H. S. *et al.* Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on red mud. **Waste Management**, v. 20, pp. 761-767, 2000.

ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; NAVARRO, G. R. B. Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de Suas Propriedades Para Futuras Aplicações. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3, 2011, São Paulo. **Anais..** São Paulo, 2011. p. 2-3.

ARAÚJO, L.A. **Manual de Siderurgia**, vol 1. São Paulo, 1997, 470 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação de índice de consistência. Rio de Janeiro, 1995.

ATASOY, A. Reduction of ferric oxides in the red mud by the aluminothermic process. In: INTERNATIONAL ADVANCED TECHNOLOGIES SYMPOSIUM, 6, 2011, Elzasig. **Anais..** Elazig, 2011. p. 2-3.

BABISK, M. P. **Incorporação de lama vermelha em cerâmica vermelha.** 2015. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense.. Campos dos Goytacazes, 2015.

BALTAR, C. A. M. *et al.* Minerais de Titânio. In.: BRASIL. Centro de Tecnologia Mineral. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e especificações.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, dez. 2008. 990 p. ISBN 9788561121372.

BÁRDOSSY, G.; ALEVA, G. J. J. **Lateritic bauxites**. Developments in economic geology, 27. Amsterdam; New York: Elsevier, 1990. 624 p.

BRAGA, N. A.; FERREIRA, N. G.; CAIRO, C. A. A. Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 450-457, mar./abr. 2007.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro 2006**. Brasília, 2006. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/>>. Acesso em: 25 de maio de 2016, 21h11min.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário Mineral Brasileiro 2013**. Brasília, 2013. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/>>. Acesso em: 12 de maio de 2016, 23h35min.

BROCARD, G. **Pedras preciosas**. 2ª ed. São Paulo, 1989. 218 p.

BUZIN, Pedro Jorge Walburga Keglevich de. **Desenvolvimento de briquetes autorredutores a partir de carepas de processamento siderúrgico para utilização em forno elétrico à arco**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

CALDERONI, Sabatei. **Os bilhões perdidos nos lixos**. 4ª Ed. São Paulo. Humanitas. Editora. FFLCH/USP. 2003.

CONSTANTINO, V. R. L. *et al.* Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Química Nova**, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

CUNHA, M. V. P. O.; CORRÊA, J. A. M. Síntese e caracterização de hidróxidos duplos a partir da lama vermelha. **Cerâmica**, v. 57, n. 341, p. 85-93. mar. 2011.

COSTA, Maria Ivone Maia da. **Normalização de trabalhos acadêmicos**. Belém, 2013. 27p. Apostila do programa de pós-graduação em Engenharia Química da UFPA.

DANA, J. D.; FILHO, S. F. R. **Manual de Mineralogia**. V. 1. Rio de Janeiro, 1969. 354 p

DE FARIA, D. L. A.; SILVA, S. V.; DE OLIVEIRA, M. T. Raman Microspectroscopy of Some Iron Oxides and Oxyhydroxides. **Journal of Raman Spectroscopy**, v. 28, p. 873-878, 1997.

ERÇAG, E.; APAK, R. Furnace smelting and extractive metallurgy of red mud: recovery of TiO₂, Al₂O₃, and pig iron. **J. Chem. Technol. Biotechnol**, v. 70, n. 3, p. 241-246, 1997.

FIGUERÊDO, D. Vallory. **Manual para gestão de resíduos químicos perigosos de instituições de ensino e de pesquisa**. 1. ed. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química de Minas Gerais, 2006. 364 p. ISBN 85-60058-00-1.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Lama vermelha na Hungria corre para o rio Danúbio e ameaça causar catástrofe ecológica**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://m.folha.uol.com.br/mundo/2010/10/810346-lama-vermelha-na-hungria-corre-para-o-rio-danubio-e-ameaca-causar-catastrofe-ecologica.shtml>>. Acesso em: 25 de maio de 2016, 12h33min

GANCEV, R. K. **Concentração de bauxita por flotação reversa**. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.. São Paulo, 2009.

GARCIA, M. C. S. **Modificação do resíduo de bauxita gerado no processo Bayer por tratamento térmico**. 2012. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.. São Paulo, 2012.

GAMBOGI, J. Light metals - Titanium. **Engineering & Mining Journal**, v. 202, n. 4, p. 46 - 48, 2001.

GOOGLE. Google Earth Website, 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 03 de jun. de 2016, 15h52min.

GÓIS, C. C.; LIMA, R. M. F.; MELO, A. C. Sedimentação de resíduo Bayer utilizando flocculantes hidroxamatos e poliacrilamida. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 56, p. 119-122, 2003.

HABASHI, F. A short history of hydrometallurgy. **Hydrometallurgy**, v. 79, n. 1-2 p. 15-22, 2005.

HIND, R. A.; BHARGAVA, S. K.; GROCOTT, S. C. The surface chemistry of Bayer process solids: a review. **Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects**, v. 146, n. 1-3, p. 359-374, 1999.

HYDRO ALUNORTE, 2008, Folder, Rio de Janeiro.

HYDRO. **Bauxita e alumina – ponto de partida para a produção de alumínio**. Belém, 2012. Disponível em <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/Produtos/Bauxita-e-alumina/>>. Acesso em: 24 de maio de 2016, 11h26min.

HYDRO. **A Hydro no Brasil**. Belém, 2013. Disponível em <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/>>. Acesso em: 12 de maio de 2016, 23h50min.

JENKINS, R.; SNYDER, R. L. **Introduction to X-ray Powder Diffractometry**. New York, 1996. 387 p.

KASLIWAL, P.; SAI, P.S.T. Enrichment of titanium dioxide in red mud: a kinetic study. **Hydrometallurgy**, v. 53, n. 1, p. 73–87, 1999.

KHAITAN, S.; DZOMBAK, D.A.; LOWRY, G.V. Chemistry of the acid neutralization capacity of bauxite residue. **Environmental Engineering Science**, v. 26, n. 5, pp. 873-881, 2009.

KOVÁCS, T. *et al.* Radiological aspects of red mud disaster in Hungary. **Acta Geophysica**, v. 61, n. 4, p. 1026-1037, ago. 2013.

KOMNITSAS, K.; BARTZAS, G.; PASPALIARIS, I. Efficiency of limestone and red mud barriers: laboratory column studies. **Minerals Engineering**, n. 17, p. 183-194, 2004.

KRIMPALIS, N. *et al.* Magnetic properties in red mud after thermal treatment. **Journal of optoelectronics and advanced material**, v. 10, n. 5, p. 1085-1088, 2008.

LIU, Y. *et al.* Recycling of iron from red mud by magnetic separation after co-roasting with pyrite. **Thermochimica Acta**, v. 588, p. 11-15, 2014.

LIU, W.; YANG, J.; XIAO, B. Application of Bayer red mud iron recovery and building material production from aluminosilicate residues. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, p. 474-478, 2009.

MAGALHÃES, Edilson Marques. **Estudo da extração de compostos de ferro da lama vermelha visando a concentração e/ou extração de compostos de titânio**. 2012. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará.. Belém, 2012.

MAGALHÃES, E. M.; PASSOS, K. L. M; VIEGAS, B. M.; MACÊDO, E. N.; SOUZA, J. A. S. Mathematical modeling of leaching process of red mud in order to obtain the kinetics parameters. **Engenharia Térmica**, v. 14, p. 90-94, 2015.

MAGALHÃES, Fabiano. **Síntese e caracterização de óxidos de ferro e compósitos para aplicações no tratamento redox de efluentes aquosos**. 2008. 190f. Tese (Doutorado em Ciências - Química) – Universidade Federal de Minas Gerais.. Belo Horizonte, 2008.

MERCURY, J. M. R. *et al.* Estudo do comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas da lama vermelha. **Revista Matéria**, v. 15, n. 3, p. 445-460, 2010.

MISHRA, B.; STALEY, A.; KIRKPATRICK, D. Recovery and utilization of iron from red mud. **Light Metals**, 149-156, 2001.

MOYA, J.S.; MORALES, F.; GARCIA, A.V. Utilización Cerámica de los barros rojos de platas de alumina. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 26, n 21, pp. 21-29, 1987.

NASCIMENTO, Shirley Cristina Cabral. **Processo Bayer – Alunorte: Uma visão geral**. Belém, 2013. 49p. Apostila da Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

NOLDIN JÚNIOR, José Henrique. **Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores**. 2002. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.. Rio de Janeiro, 2002.

PALMER, S. J.; FROST, R. L. Characterisation of bauxite and seawater neutralised bauxite residue using XRD and vibrational spectroscopic techniques. **Journal of Materials Science**, v. 44, p. 55-63, 2009.

PERA, J.; BOUMAZA, R.; AMBROISE, J. Development of a pozzolanic pigment from red mud. **Cement and Concrete Research**, vol. 27, p. 1513-1522, 1997.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Belém, 2001. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/secex/sti/indbrasopodesafios/saber/josealmirfinal.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2016, 16h50min.

QUARESMA, Danielly da Silva. **Estudo hidrometalúrgico de compostos de titânio proveniente do resíduo do processo Bayer**. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará.. Belém, 2012.

QUN-HU, X.; YAN-WEI, C. Experimental study of iron recovering from high iron contained red mud by Bayer process. **Journal of Mineralogy and petrology**, v. 4, p. 7-12, 2011.

RAGHAVENDER, A. T. *et al.* Nano-ilmenite FeTiO₃: Synthesis and characterization. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 331, p. 129-132, 2013.

RAO, Y. K. A physico-chemical model for reactions between particulate solids occurring through gaseous intermediates. I- Reduction of hematite by carbon. **Chemical Engineering Science**, v. 29, p. 1435-1445, 1974.

RAO, M. *et al.* Iron recovery from red mud by reduction roasting-magnetic separation. **Light Metals**, v. 4, p. 125-130, 2013.

RED MUD. **RED MUD PROJECT**. Disponível em: < <http://redmud.org/>>. Acesso em: 20 de maio de 2016, 15h25min.

REIS, W. L. C. **Otimização da reciclagem de resíduos siderúrgicos por redução carbotérmica**. 2008. 147f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos.. São Carlos, 2008.

RESENDE, E. C. **Aplicação da lama vermelha como catalisador em processos oxidativos/redutivos**. 2012. 146f. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras.. Lavras, 2012.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Influência da temperatura de calcinação nas propriedades cimentícias do resíduo de bauxita**. 2011. 72f. Relatório Científico (Pós-doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos.. São Carlos, 2011.

ROCHA JÚNIOR, C. A. F.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F. Síntese de zeólitas do tipo faujasita: comparação entre caulim beneficiado e caulim *flint*. **Cerâmica**, v. 61, p. 259-268, 2015.

SCHUMANN, W. **Rochas e Minerais**. Rio de Janeiro, 1985. 223 p. ISBN 85-215-0209-5.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 322-338, 2007.

SINGH RAMAN, R. K.; GLEESON, B.; YOUNG, D. J. Laser Raman spectroscopy: a technique for rapid characterisation of oxide scale layers. **Materials Science and Technology**, v. 14, p. 373-376, 1998.

SNARS, K.; GILKES, R. J. Evaluation of bauxite residues (red muds) of different origins for environmental applications, **Applied clay science**, v. 46, pp. 13-20, 2009.

SOUZA, Jorge Raimundo da Trindade. **Orientações e normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Belém, 2011. 38p. Apostila da Faculdade de Química da UFPA.

SOUZA, José Antônio da Silva. **Estudo e Avaliação do uso de Resíduos do Processo Bayer como Matéria-Prima na Produção de Agregados Sintéticos para a Construção Civil**. 2010. 148f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

SOUZA, J. A., MACÊDO, E. N., QUARESMA, J. N. N. Reciclagem de Lama Vermelha como Matéria-Prima para a Indústria de Cerâmica Vermelha. In: Relatório Técnico, CONVÊNIO UFPA/ALUNORTE, 2006.

TANAKA, Rodrigo Satoshi. **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DtG)**. 2017.

TSAKIRIDIS, P. E. *et al.* Synthesis of TiO₂ nano-powders prepared from purified sulphate leach liquor of red mud. **Journal of Hazardous Materials**, v. 194, pp. 42-47, 2011.

WAN-CHAO, L.; JIA-KUAN, Y.; BO, X. Recovering iron and preparing building material with residues from Bayer red mud. **The Chinese Journal of Nonferrous Metals**, v. 1, p. 187-192, 2008.

WANG, S; ANG, H.M; TADÉ, M.O. Novel applications of red mud as coagulant, adsorbent and catalyst for environmentally benign processes. **Chemosphere**, v. 72, n. 11, p. 1621-1635, 2008.

XIAO-BIN, L. *et al.* Recovery of alumina and ferric oxide from Bayer red mud rich in iron by rection sintering. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 19, pp. 1342-1347, 2009.