

# **Estudo de Viabilidade na Incorporação de Resíduo da Indústria de Papel na Produção de Argamassas de Múltiplo-Uso**

**Afonso Rangel Garcez de Azevedo**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Campos dos Goytacazes – RJ

Abril, 2015

# **Estudo de Viabilidade na Incorporação de Resíduo da Indústria de Papel na Produção de Argamassas de Múltiplo-Uso**

**Afonso Rangel Garcez de Azevedo**

"Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil".

Orientador: Prof. Jonas Alexandre

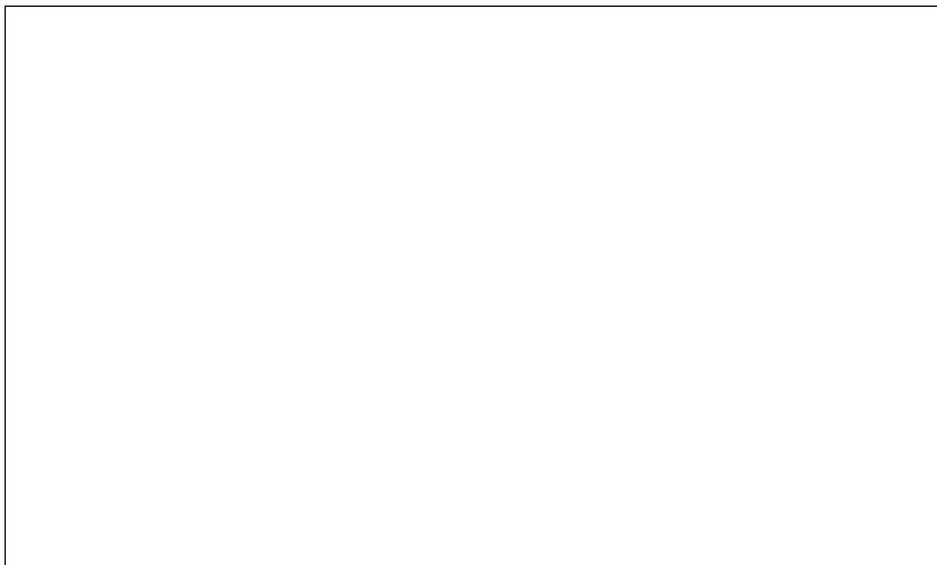
Co-orientador: Prof. Carlos Mauricio Fontes Vieira

Campos dos Goytacazes – RJ

Abril, 2015

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**



# **Estudo de Viabilidade na Incorporação de Resíduo da Indústria de Papel na Produção de Argamassas de Múltiplo-Uso**

**Afonso Rangel Garcez de Azevedo**

"Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil".

Aprovado em 13 de Abril de 2015

Comissão Examinadora:

---

Profa. Crislene Rodrigues da Silva Moraes (D.Sc.), UFCG

---

Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc.), UENF

---

Prof. Carlos Mauricio Fontes Vieira (D.Sc.), UENF  
Co-orientador

---

Prof. Jonas Alexandre (D.Sc.), UENF  
Orientador

*A minha família, Luiz Cláudio, Celma e  
Monique, por todo o apoio recebido durante este trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Nunca poderia me esquecer de agradecer a diversas pessoas que me ajudaram, de forma direta e indireta, na conclusão deste difícil trabalho:

- à Deus, por nunca ter me abandonado e sempre esteve ao meu lado;
- à minha família, em especial aos meus pais e minha irmã, que entenderam momentos de ausência ou de dificuldades;
- ao Prof. Jonas Alexandre (orientador), pela orientação e apoio, não só neste trabalho, mais ao longo dos últimos anos em diferentes situações;
- ao Prof. Gustavo Xavier, pela paciência e ajuda em sanar problemas e orientações;
- ao professor Carlos Mauricio, pelo apoio, incentivo e sugestão do material trabalhado;
- ao professor Leonardo Pedroti, pela constante ajuda em elucidar problemas laboratoriais, sempre se mostrando prestativo e atencioso;
- Ao professor Sergio Neves Monteiro, pelo sempre incentivo na conclusão deste trabalho.
- aos técnicos Milton Pereira Soares e Vanúzia Almeida dos Santos Ferreira, do laboratório de Mecânica dos Solos, pelo apoio nos diversos ensaios elaborados;
- aos inúmeros amigos que conheci durante o curso e durante meu tempo na UENF, que sempre me ajudaram em momentos difíceis e incentivaram na conclusão deste curso;
- à FAPERJ e CAPES pelo apoio financeiro na execução deste trabalho;
- à Cia Paduana de Papeis – COPAPA, que prontamente nós ajudou e forneceu o material necessário a pesquisa.

## ÍNDICE

<b>FICHA CATALOGRÁFICA</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativa	3
1.2.1 Aproveitamento do resíduo sólido industrial	3
1.2.2 Consumo dos recursos naturais	5
1.3 Estrutura da dissertação	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
2.1 Conceito de argamassa de múltiplo-uso	7
2.2 Histórico	8
2.3 Resíduos Sólidos	8
2.4 A indústria de Papel	10
2.5 O resíduo proveniente da indústria do papel	12
2.6 A celulose	13
2.7 Materiais constituintes da argamassa	14
2.7.1 Cimento Portland	14
2.7.2 Agregados	16
2.7.3 Cal hidratada	16
2.7.4 Água	20
2.7.5 O lodo primário da produção de papel	21
2.8 Propriedades das argamassas	22
2.8.1 Trabalhabilidade	22
2.8.2 Resistência mecânica	24
2.8.3 Massa Especifica e Teor de Ar Incorporado	25
2.8.4 Retenção de Água	25
2.8.5 Absorção de Água por Capilaridade	26
2.9 Histórico de Trabalhos	27
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1 Materiais utilizados	37
3.1.1 Cimento	37
3.1.2 Areia	37
3.1.3 Cal hidratada	37
3.1.4 Resíduo	38
3.1.5 Índice de atividade pozolânica	39
3.2 Preparo das argamassas	40
3.3 Ensaio das argamassas no estado fresco	41
3.4 Ensaio das argamassas no estado endurecido	46

<b>4. RESULTADOS E DISCURSSÕES</b>	<b>51</b>
4.1 Atividade Pozolânica do Resíduo	51
4.2 Ensaio no estado fresco	51
4.3 Ensaio no estado endurecido	51
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>65</b>
5.1 Conclusão	65
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	66
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>76</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução da produção de papel no Brasil	4
Figura 2.1 - Desenho esquemático de uma máquina de papel Fourdrinier. (a) Caixa de entrada; (b) Mesa de formatação de folha; (c) Cilindros de prensagem; (d) Cilindros secadores; (e) Tratamento superficial; (f) Bobina de enrolamento	10
Figura 2.2 - Vista da Estação de Tratamento de Efluentes da COPAPA	12
Figura 2.3 - Resíduo úmido após tratamento primário	12
Figura 2.4 - Evolução da produção de celulose no Brasil	14
Figura 2.5 - Representação esquemática da mesa de fluidez ou consistência	23
Figura 2.6 - Representação do ensaio de resistência a flexão (a) compressão simples (b) em argamassas	24
Figura 2.7 - Resistência dos corpos de provas estudados (MPa)	32
Figura 2.8 - Consistência das argamassas analisadas	33
Figura 2.9 - Difratograma de raios-X do lodo. C = caulinita; Cc = calcita.	34
Figura 2.10 - Micrografias de MEV do lodo. (a) 30 x; (b) 500 x; (c) 1000 x; (d) 3000 x	36
Figura 3.1 - Resíduo em forma de pó	38
Figura 3.2 - Ensaio de condutividade	39
Figura 4.1 - Teor de ar incorporado nos diferentes níveis de incorporação estudados	53
Figura 4.2 - Retenção de água nos diferentes níveis de incorporação estudados	54
Figura 4.3 - Resultados médios dos ensaios de resistência à tração na flexão	55
Figura 4.4 - Resultados da resistência à tração na flexão aos 28 dias	56
Figura 4.5 - Resultados médios dos ensaios de resistência à compressão	57
Figura 4.6 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias	57
Figura 4.7 - Coeficientes de capilaridade nos diferentes níveis de incorporação	58
Figura 4.8 – Resultados da densidade de massa aparente no estado endurecido	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Produção de cimento em 2013 no mundo. Fonte: OFICEMEN 2013	16
Tabela 2.2 - Classificação dos agregados conforme origem.(BAUER, 1999 apud WATANABE, 2004)	17
Tabela 2.3 - Classificação da areia conforme módulo de finura (MF) – NBR 7211.(BAUER, 1999 apud WATANABE, 2004)	17
Tabela 2.4 - Características químicas e físicas de cales.(PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007)	20
Tabela 2.5 - Fatores que influenciam a resistência mecânica das argamassas de revestimento	24
Tabela 2.6 - Média das resistências à compressão simples e da tração na compressão diametral dos corpos de provado compósito do tipo 1	28
Tabela 2.7 - Média das resistências à compressão simples e da tração na compressão diametral dos corpos de provado compósito do tipo 2	29
Tabela 2.8 - Composição dos traços de argamassas estudos	31
Tabela 2.9 - Composição química do lodo (% em peso)	35
Tabela 3.1 - Ensaio a serem realizados na argamassa no estado fresco e respectivas normas	41
Tabela 3.2 - Ensaio a serem realizados na argamassa no estado endurecido e respectivas normas	46
Tabela 4.1 - Classificação estabelecida por LÚXAN et al. (1989)	51
Tabela 4.2 - Teor de água e Índice de consistência	52
Tabela 4.3 - Parâmetros obtidos com o ensaio de absorção de água por capilaridade	59
Tabela 4.4 - Absorção de água e índice de vazios das argamassas estudadas	59
Tabela 4.5 - Classificação de argamassas quanto a resistência a compressão (Fonte: NBR 13281/2005)	61
Tabela 4.6 - Classificação de argamassas quanto à resistência a tração na flexão (Fonte: NBR 13281/2005)	61
Tabela 4.7- Classificação de argamassas quanto densidade de massa no estado endurecido (Fonte: NBR 13281/2005)	62
Tabela 4.8 - Classificação de argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade (Fonte: NBR 13281/2005)	62
Tabela 4.9 - Classificação de argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade (Fonte: NBR 13281/2005).	62
Tabela 4.10 - Classificação de argamassas quanto à retenção de água (Fonte: NBR 13281/2005)	63
Tabela 4.11 - Classificação das argamassas segunda a NBR 13281/2005	64

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose
CH	Cal Hidratada
COPAPA	Cia Paduana de Papeis
CP	Cimento Portland
LAMAV	Laboratório de Materiais Avançados
LECIV	Laboratório de Engenharia Civil
<i>NBR</i>	Norma Brasileira Regulamentadora
OFICEMEN	Agrupacion de Fabricantes de Cemento de Espanã
RPC	Resíduo de Papel COPAPA
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SINAPI	Índice Nacional de Preços da Construção Civil
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense
<i>UFV</i>	Universidade Federal de Viçosa

## RESUMO

A construção civil é conhecida como um setor altamente dinâmico para a economia de um país. Diversos índices sociais e econômicos podem ser aferidos para dar sustentabilidade a este setor, como por exemplo, taxa de geração de empregos, contribuição na arrecadação de impostos, aumento do nível de escolaridade em alguns setores e a movimentação indireta na economia, provocado pelas empresas produtoras de insumos. Entretanto alguns impactos negativos são gerados, uns dos principais é a geração de resíduos sólidos, que acaba denegrindo sua imagem. O problema da geração de resíduos sólidos não se restringe somente a construção civil, o setor industrial de uma maneira geral é um grande contribuinte neste aspecto. Os resíduos sólidos podem ser de origem doméstica ou industrial, daí surge um dos principais problemas, que são os quantitativos gerados. Baseado na necessidade de se dar uma correta destinação e otimizar os recursos surge a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para a utilização de resíduos sólidos industriais em outras atividades produtivas. Um dos setores que consegue absorver esta demanda é a construção civil, com a perspectiva de adoção de novos materiais de construção, que adotem por incorporação ou adição, parte ou a totalidade dos resíduos. No município de Santo Antônio de Pádua, localizado no noroeste fluminense, está situada a Companhia Paduana de Papeis – COPAPA, que funciona há mais de 50 anos e produz cerca de 36.000 toneladas de papéis por ano, juntamente com esta produção são gerados cerca de 13.320 ton/ano de resíduo, que hoje não tem um destino adequado. De acordo com esta demanda, surge a necessidade do estudo de incorporação do resíduo proveniente da indústria de papel, chamado de Resíduo de Papel COPAPA (RPC), que neste trabalho estudou-se a viabilidade da incorporação do RPC na produção de argamassa de múltiplo uso. Foi analisada a incorporação do RPC em substituição à cal, em diferentes proporções, no traço da argamassa. Foram confeccionadas argamassas com traço 1:1:6 (cimento, cal, areia) por ser este o mais utilizado na região. A substituição da cal pelo RPC seguiu as seguintes proporções: 0% (argamassa de referência), 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% (em relação à massa de cal) que possibilitou a realização dos ensaios tecnológicos no estado fresco (determinação do índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água) e ensaios tecnológicos no estado endurecido

(determinação da resistência à compressão e flexão, absorção de água, densidade de massa no estado endurecido e determinação do coeficiente de capilaridade), além de ensaio de atividade pozolânica no resíduo estudado. Ao final, verificou-se a viabilidade da utilização deste resíduo na produção de argamassas, sendo que deve-se fixar a incorporação em níveis inferiores aos de 20%, devido a dificuldade em confeccionar argamassas com trabalhabilidade adequada, além de algumas propriedades que não obtiveram resultados mínimos para as aplicações analisadas.

**Palavras-chave:** argamassa, resíduo de papel, COPAPA.

## ABSTRACT

The civil construction, known as a highly dynamic sector for a country economy, having several economic and social indications can be measured to give sustainability to this sector, as employment generation tax, tax collection contribution, an improvement at level education in some sectors and indirectly movement of economy, caused by companies of raw material producing. However, few negatives impacts are generated, which the principal is solid waste generation, denigrating its image. The problem of solid waste generation isn't restricted at civil construction sector, the industry in general is a huge contributor in this aspect. The origin of solid waste can be domestic or industrial, emerging one of the main problem which are the quantitative generated. Based at necessity to give the right destination and to optimize the resources, shows up the development necessity of search to use industrial solid waste in others productive activities. One of the absorbing sector is the civil construction, with a adoption perspective of new construction materials, by incorporation or addition, partly or entirely the solid waste. At municipally of Santo Antonio de Padua, located at Fluminense northwest, is located the Companhia Paduana de Papeis – COPAPA, which operates at more than 50 years and produced about 36.000 tons of paper per year, jointly this production are generated about 13.320 ton/year of waste, that today have not an appropriate destiny. According to this demand, occur the necessity of study about waste felled from paper industry incorporation, called COPAPA Paper Waste (RPC). In this job was studied the viability of RCP incorporation at multiple use mortar production. Will be analyzed the substitution of lime by RCP incorporation in different proportions at mortar trace. Were made mortar trace with 1:1:6 (cement, lime, sand) because this trace is the most used in the region. The lime substitution by RPC follow the following proportions: 0% (mortar reference), 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% (in relation of lime mass) to make possible the execution of technological tests on fresh (consistency determination, incorporated air and water retention) and technological tests in the hardened state (water absorption, determination of compressive and flexural resistance, hardened state mass density, and capillary coefficient determination), besides the pozzolanic activity test in studied waste. In the end, was verified the viability of waste use at mortar production, should be set up the incorporation at levels below 20%, due the difficult of

made mortar with appropriate workability, also some properties did not get minimal results for the analyzed applications.

**Keywords:** mortar, paper waste, COPAPA.

## 1. INTRODUÇÃO

A cada ano a legislação dos países em desenvolvimento vem se tornando mais restritiva quanto ao descarte de resíduos sólidos, sejam indústrias ou domésticos, conforme se pode observar em diversos encontros mundiais relacionados ao tema. No Brasil pode-se exemplificar esta situação a partir da obrigatoriedade de construção de aterros sanitários em todos os municípios, eliminando assim todos os lixões existentes, esta situação foi regida pela lei número 12.305 de 2010. Deve-se levar em consideração, além da lei citada anteriormente, a redação do plano nacional de gestão de resíduos sólidos, que foi de grande importância para o desenvolvimento sustentável do país. Uma das políticas adotada pelo plano nacional de gestão de resíduos sólidos foi a obrigatoriedade das grandes indústrias geradoras de resíduos a darem uma correta destinação aos mesmos, seja pelo pagamento do descarte ou pela adoção de uma política de reaproveitamento interno ou externo.

A Construção Civil no Brasil passa por um período de grandes avanços, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Índice Nacional da Construção Civil (SINAPI, 2013) apresentou variação positiva em 7,28% nos últimos 12 meses, mostrando que o setor encontra-se em franca expansão, com percentuais acima da média de crescimento da economia do país. O crescimento pode ser justificado por grandes obras de habitação promovidas pelo governo federal como o programa “Minha Casa Minha Vida”, que desde o ano de 2009 instituiu políticas de construção e repasse de habitações a população de grande vulnerabilidade socioeconômica, e grandes obras de infraestrutura promovidas pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado no ano de 2007 pelo então presidente Luiz Inácio Lula da Silva, além de outros programas de governos estaduais e municipais e das grandes linhas de financiamentos para aquisição de habitações para a classe média, financiadas pelos bancos públicos (CAIXA e Banco do Brasil).

Dentre os diversos materiais de construção existentes pode-se destacar a argamassa como um dos mais utilizados, seja para revestimento ou para fim de assentamento de alvenarias. O estudo de novas técnicas de aplicação e de preparo de novas misturas é de extrema importância para as grandes construtoras e

incorporadoras do país, pois podem impactar financeiramente suas atividades, gerando economia de recursos o que é essencial a sobrevivência dessas empresas.

A concepção de um novo material de construção deve ser respaldada por pesquisas serias e coerentes que embasem os construtores e deem ao mesmo segurança para sua utilização, buscando sempre que o novo material tenha uma resistência adequada, de acordo com a sua finalidade e consequente durabilidade.

A importância de um estudo aprofundado nas propriedades da argamassa de revestimento é justificada por essa estar entre os produtos mais utilizados na construção civil. As argamassas são utilizadas nos revestimentos e assentamentos de alvenaria e como produto básico para diversos usos na construção civil (YOSHIDA E BARROS, 1995).

### **1.1 Objetivos**

O objetivo principal desta pesquisa é o estudo da viabilidade da incorporação do resíduo de papel COPAPA (RPC), proveniente da Companhia Paduana de Papeis (COPAPA) em argamassas de múltiplo uso, e classificar as argamassas produzidas segundo os requisitos da ABNT pela NBR 13281(2005). Para isso foram confeccionados corpos de prova prismáticos com substituição da cal em diferentes proporções, podendo-se assim comparar os valores encontrados em diferentes propriedades estudadas, como a resistência mecânica, teor de ar incorporado, índice de capilaridade e outros, com aqueles encontrados na argamassa de referência (sem adição de resíduo).

O objetivo específico deste trabalho foi avaliar as características físicas e mecânicas das argamassas confeccionadas com resíduo e fazer uma comparação de desempenho com uma argamassa com cal hidratada de uso comercial (produção de uma argamassa como referência)

Os objetivos específicos são:

- Ensaio de atividade pozolânica do resíduo.
- Realização de ensaios tecnológicos no estado fresco, nos diferentes traços estudados, seguindo as normas da ABNT.

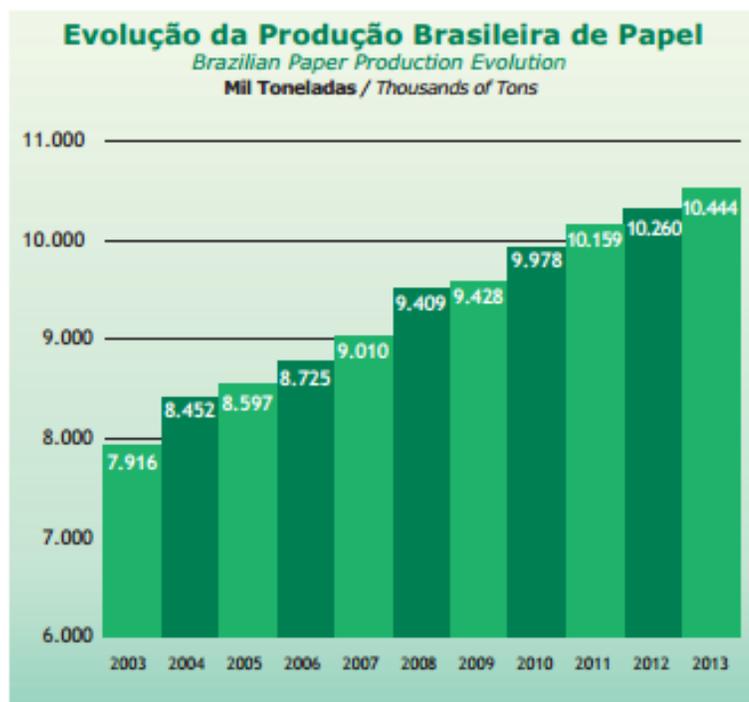
- Realização de ensaios tecnológicos no estado endurecido em corpos de prova prismáticos seguindo as normas da ABNT.
- Classificar a argamassa utilizada de acordo com os resultados obtidos.
- Determinar a viabilidade ou não da incorporação deste resíduo, e em caso positivo, indicar a proporção ótima do mesmo na composição da argamassa.

## **1.2 Justificativa**

Este trabalho justifica-se em duas vertentes, a primeira refere-se com o aproveitamento de resíduos sólidos industriais em processos produtivos, que é uma questão ambiental de extrema importância nos dias atuais, à segunda característica relevante que justifica este trabalho é a possibilidade de redução no consumo da cal hidratada na produção de argamassas, além de ser um recurso natural que deve ser preservado esta tem um valor econômico considerável dentro da composição de argamassas, comparativamente a outros insumos, podendo refletir no custo final de um projeto.

### **1.2.1 Aproveitamento do resíduo sólido industrial**

O Brasil destaca-se na produção de papel em suas diferentes vertentes, segundo dados da Associação Brasileira de Celulose – BRACELPA, a produção de papel em 2013 chegou a 10.444 mil toneladas (Figura 1.1), e vem crescendo ao longo dos anos. Conseqüentemente ao aumento na produção de papel e seus derivados nota-se o aumento na produção de resíduo proveniente desta indústria, o que constitui um importante problema ambiental a ser gerenciado.



**Figura 1.1–Evolução da produção de papel no Brasil**  
Fonte: BRACELPA (2014).

Atualmente, segundo a BRACELPA, existem sindicalizadas 45 empresas distribuídas em todo o território nacional. No noroeste fluminense, mais precisamente no município de Santo Antônio de Pádua está localizada a Companhia Paduana de Papeis – COPAPA, empresa fundada em 1960 que destaca-se na região pela sua produção que hoje é de 36.000 ton/ano. Juntamente com sua produção a COPAPA gera uma considerável quantidade de resíduo durante o processo de produção, segundo dados da empresa são gerados em média 13.320 ton/ano de resíduo que atualmente não tem um descarte definido e adequado.

A indústria da construção civil demonstra um grande potencial na reciclagem de resíduos de outros seguimentos industriais, conforme pode ser verificado em diversos temas de estudo nos principais centros de pesquisas do país, inclusive na Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, que destaca-se neste setor.

Sendo assim devido à importância de se prever um destino adequado a este material, seguindo os requisitos ambientais da legislação vigente, mostrou-se

importante o desenvolvimento desta dissertação, com o propósito de verificar a hipótese de mais uma alternativa de aproveitamento do resíduo em estudo.

### 1.2.2 Consumo dos recursos naturais

Segundo Relatório do Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense (1999), a cal, um dos produtos minerais mais consumidos do mundo, é fabricada por um processo de aquecimento dos carbonatos a uma temperatura em torno de  $1.110^{\circ}\text{C}$ , gerando óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e eliminando gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Nesse processo, é consumida grande quantidade de minério, em torno de 2 toneladas para 1 de cal virgem produzida.

Além da grande quantidade de minérios extraídos para obtenção da cal, há outra questão importante neste processo, sendo esta, o uso de recursos energéticos para se fabricar este produto. Segundo dados do RPDIM de 1999, a lenha foi o energético predominante no processo de transformação deste material no período compreendido entre 1987 a 1996, com participação de 49,4%, seguido dos resíduos de madeira 44,9% e eletricidade 5,8%.

Sendo assim pode-se concluir que a busca de metodologias de diminuição do uso de cal em argamassas é de extrema importância, pois proporciona uma redução na exploração dos recursos naturais, sejam quanto matéria prima ou quanto ao valor energético na sua produção.

## 1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho é composta por seis capítulos.

O primeiro foi colocado a importância do tema, as justificativas e os objetivos da pesquisa, além da introdução de toda temática do trabalho.

No Capítulo dois está apresentada uma revisão bibliográfica sobre argamassa, descrevendo conceitos, funções, propriedades, materiais constituintes e alguns trabalhos sobre o tema estudado.

O Capítulo três descreve o programa experimental e os ensaios realizados nos laboratórios da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em seguida, no Capítulo quatro são apresentados os resultados dos ensaios em forma de tabelas e gráficos, sendo analisados e discutidos.

O Capítulo cinco apresenta as conclusões dos ensaios realizados e do projeto experimental e, também, sugestões para trabalhos futuros.

O Capítulo seis apresenta todas as referências bibliográficas que foram utilizadas para execução deste trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão apresenta estudos de todos os constituintes de uma argamassa de múltiplo uso assim como da indústria produtora de papel. Os estudos foram realizados para a identificação das principais propriedades das argamassas e suas características, além de avaliar a incorporação de diferentes resíduos em argamassas, mostrando a influência desta incorporação em diferentes propriedades deste material.

Será apresentada uma revisão sobre o histórico dos principais estudos já desenvolvidos relacionados à incorporação deste resíduo em argamassas e outros materiais de construção e suas considerações e resultados.

### 2.1 Conceito de argamassa de múltiplo-uso

Segundo (BOLTSHAUER, 1963*apud* SELMO, 1989), a argamassa vem sendo empregada em assentamento e revestimento dos blocos de pedra que constituem as paredes das edificações, há mais de 2.000 anos. O mesmo autor relata que os gregos e os romanos preparavam misturas de cal, areia e água, ou adicionavam gesso para obter o estuque, que constitui uma especialidade para revestimentos internos, em certos casos, adicionavam também na mistura o pó de mármore. Os romanos fizeram uso amplo das argamassas, tanto no assentamento das alvenarias, como nos revestimentos de seus edifícios e possuíam o conhecimento de modificá-las, sendo o ligante predominante daquela época a cal.

Segundo a NBR 13529/2013, que define argamassa para fins de revestimento como sendo “uma 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”. Nesta mesma norma são definidos outros termos inerentes a argamassas e que serão discutidos ao longo deste trabalho.

BAÍA e SABBATINI (2008),relataram que os revestimentos de argamassas têm, em geral, as seguintes funções:

- Proteger as vedações e a estrutura contra a ação direta de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;

- auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, como: isolamento termo acústico, estanqueidade à água e aos gases;
- regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final;
- contribuir para a estética e valorização da construção.

## **2.2 Histórico**

Segundo relatos históricos o primeiro uso de argamassa como um material construtivo deu-se a cerca de 11.000 anos, em Israel. Esta constatação deve-se ao fato de após escavações realizadas em 1985 ter-se encontrado um piso polido de cerca de 180m<sup>2</sup> composto por pedras e uma argamassa de cal e areia. Há registros de outras aparições mais antigas, a cerca de 5.600 a.C. em uma laje de 25 centímetros de espessura, na região onde encontra-se hoje a Iugoslávia. Sugere-se que a expansão do uso deste material de construção nas demais civilizações europeias deve-se a estes fatos.

De acordo com WESTPHAL (2004), no Brasil o uso da argamassa passou a ser mais evidente no primeiro século para assentamento de alvenaria de pedra (largamente utilizada na época). A cal utilizada como aglomerante era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado.

## **2.3 Resíduos Sólidos**

Segundo LÉBEIS (2003), os resíduos sólidos podem ser definidos como os restos das atividades humanas, sejam elas domésticas, comerciais, industriais ou de serviços e que são considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. São resíduos da manufatura, construção, preparo de alimentos, recreação, agricultura e outras atividades que usam os materiais e então deles se descartam. Normalmente apresentam-se sob estado sólidos, semi-sólido ou semilíquido.

SEWELL (1978) define os resíduos sólidos como o conjunto dos produtos indesejados e não aproveitados das atividades humanas, que não devem fluir diretamente para os rios ou se elevar imediatamente para o ar.

Segundo a NBR 10004/2004, define-se resíduos sólidos, como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, 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.

Resíduo gerado seja pela atividade industrial ou doméstica, que não tem um destino correto ou definido não deve ser jogados em qualquer lugar, sem o devido tratamento ou cuidado prévio. Segundo as novas diretrizes ambientais vigentes no Brasil, instituída pela política nacional de resíduos sólidos, as indústrias geradoras são as responsáveis pelo seu correto destino, seja sendo colocados em aterros sanitários ou utilizando-os em outra cadeia industrial. É neste sentido que pesquisas que deem uma finalidade adequada e ambientalmente correta para estes resíduos sólidos são fundamentais para o desenvolvimento da cadeia produtiva no Brasil.

De acordo com a NBR 10004/2004, os resíduos sólidos são classificados em três classes:

- Resíduos classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam riscos à saúde pública em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Resíduos classe II A – Não inertes. Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B- Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006/2004, não tiverem nenhum

de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

## 2.4 A indústria de Papel

Segundo FARDIM (2002) a invenção do papel é atribuída a um membro da corte imperial chinesa, chamado Ts'aiLun, em 105 a.c. Desta época até 1798, ano em que a primeira máquina de papel foi construída, todo o papel produzido no mundo foi feito manualmente. A máquina de papel foi inventada pelo francês Nicholas Louis Robert e aprimorada na Inglaterra por Bryan Donkin e John Gamble. O trabalho destes homens foi financiado pelos irmãos Fourdrinier e, por isso a máquina foi batizada como máquina de papel Fourdrinier.

Posteriormente outros tipos de máquinas foram desenvolvidos, seguindo a mesma metodologia de Fourdrinier. Uma máquina de papel tem um conjunto de componentes que consiste em: caixa de entrada, seção de formatação da folha, seção de prensagem, seção de secagem, seção de tratamento superficial (opcional) e seção de enrolamento, como se pode observar na Figura 3.1.

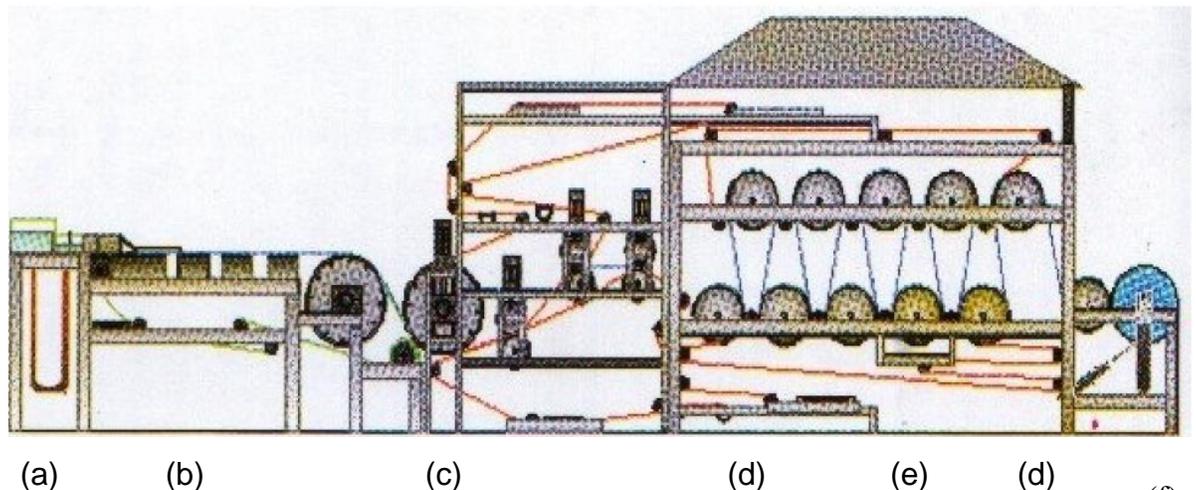


Figura 2.1 – Desenho esquemático de uma máquina de papel Fourdrinier. (a) Caixa de entrada; (b) Mesa de formatação de folha; (c) Cilindros de prensagem; (d) Cilindros secadores; (e) Tratamento superficial; (f) Bobina de enrolamento. (FONTE: FRADIM, 2002)

As etapas de fabricação e conversão do papel envolvem várias interações químicas de superfície. Refino, preparação de massa, revestimento e interações são importantes para a consolidação e desempenho do produto. Interações entre fibras e

partículas coloidais, polímeros, minerais e corantes são fundamentais para a fabricação do papel. As matérias-primas utilizadas para a fabricação do papel podem ser resumidas em matérias-primas fibrosas e matérias-primas não fibrosas.

Segundo LÉBEIS (2003) as matérias-primas fibrosas podem ser de origem vegetal, animal e artificial. As fibras usadas na fabricação de pasta celulósica para papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias-primas vegetais, sendo várias as fibras vegetais usadas na fabricação de pasta celulósica para papel, desde a sua invenção. Inicialmente foram utilizadas fibras que necessitavam de menor processamento, como, por exemplo, trapos, fibras provenientes de linho de algodão. O aumento do consumo de papel ao longo dos anos, levou à procura de novas fontes de fibras vegetais, encontrando-se na madeira uma excelente matéria-prima.

KUAN, et al (1988) relatou que na seleção de uma dessas matérias-primas fibrosas de origem vegetal, deve-se considerar os seguintes fatores:

- Ser disponível em grande quantidade o ano todo;
- Possibilitar uma exploração econômica;
- Ser facilmente renovável;
- Fornecer ao produto final as características desejadas.

Ainda segundo KUAN, et al (1998), uma folha contendo exclusivamente fibras celulósicas não possui as características do papel que geralmente são desejadas e adequadas para o uso normal. Uma folha produzida exclusivamente de fibras de celulose é porosa, sendo sua superfície pouco lisa e pouco resistente; Quando umedecida, as propriedades mecânicas decaem a valores muito baixos e a opacidade é insatisfatória. Para conseguir as características comuns aos papeis atualmente existem no mercado, a indústria adiciona matérias-primas não fibrosas, ou seja, produtos inorgânicos para dar ou melhorar certas propriedades do papel.

## 2.5 O resíduo proveniente da indústria do papel

Após o processo de fabricação de papel, é gerado o resíduo que se encontra na forma líquida com um elevado teor de sólidos em suspensão, este material passa por um processo de tratamento primário de flotação (Figura 2.2 e 2.3), este processo é realizado na estação de tratamento de efluentes da Cia Paduana de Papeis – COPAPA, onde após este processo o resíduo fica armazenado para transporte até as indústrias de cerâmica vermelha do Norte Fluminense, que já utilizam este material nos seus produtos (ANEXO A).



Figura 2.2 –Vista da Estação de Tratamento de Efluentes da COPAPA (FONTE: Próprio autor)



Figura 2.3– Resíduo úmido após tratamento primário. (FONTE: Próprio autor)

O resíduo resultante do processo de fabricação do papel, neste trabalho chamado de Resíduo de Papel COPAPA (RPC), não é considerado tóxico para sua manipulação, e está inserido na Classe II-A– não inertes, segundo a NBR 10004/2004. É composto basicamente de caulim, celulose, traços não significativos de substâncias químicas e água. A produção atual de papel da COPAPA é de 36.000 ton/ano, gerando um montante de 13.320 ton/ano de resíduo.

Segundo a literatura e dados fornecidos pelas empresas a umidade do resíduo varia de 65% a 70% e a composição média é de aproximadamente 60% de caulim e 40% de celulose.

A porcentagem pode variar em alguns momentos em função do processo produtivo, fazendo com que a quantidade de celulose alcance até 60% na composição do resíduo.

Segundo VAZ et al (1989) as soluções de aterro e incineração são, até agora, os processos mais largamente usados no mundo, não só para a indústria de celulose e papel, como também para lixos e biomassas resíduas em geral.

Diz NOLASCO (1993) que devido ao alto teor de umidade e baixo poder calorífico, a incineração deste resíduo torna-se dispendiosa, sendo necessário adicionar líquido combustível ao material.

## **2.6 A celulose**

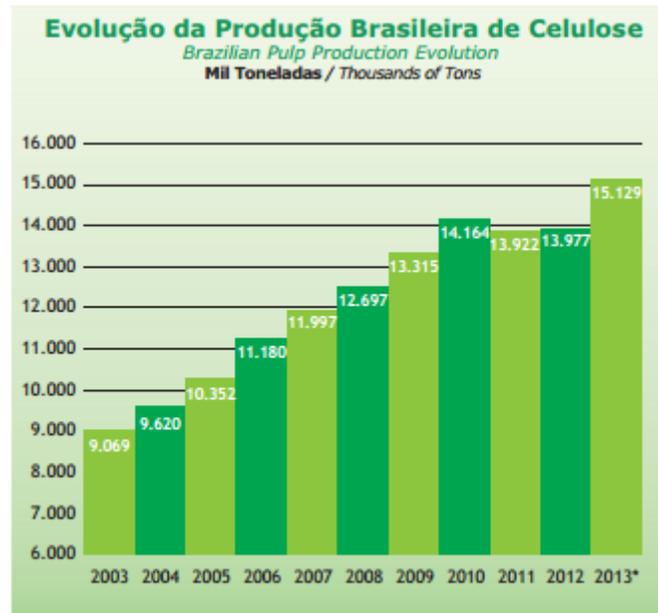
LÉBEIS (2003) define celulose como um composto natural existente nos vegetais, de onde é extraída, podendo ser encontrada nas raízes, troncos, frutos e sementes.

Segundo NOLASCO (1993) a celulose é o principal componente das fibras vegetais, e é constituída de dois núcleos químicos bastantes similares entre si, que se reúnem formando pares. Esses pares se repetem por “n” vezes, formando cadeias cujo tamanho varia em função da origem da celulose, da idade e de fatores ambientais. É possível encontrar cadeias de 200 até 10.000 unidades repetitivas, sendo comum os valores de 600 a 2.000.

Ainda de acordo com LÉBEIS (2003), as células vegetais, por terem forma alongada e de pequeno diâmetro (finas), são frequentemente chamadas de “fibras”,

sendo que a celulose é um dos seus principais componentes. A lignina e a hemicelulose são outros componentes relevantes encontrados nas células vegetais. As fibras podem ser consideradas cilindros ocos. Conforme o tipo de madeira, podem variar em largura, diâmetro, resistência e flexibilidade, e, dependendo do tipo de cozimento a que foram submetidas, variam também em rigidez e resistência ao tratamento mecânico.

Segundo dados da Associação Brasileira de Celulose – BRACELPA a produção de celulose vem aumentando nas últimas décadas, apesar de uma leve queda no ano de 2011 e 2012, este decréscimo deve-se ao aumento das importações desse produto no Brasil, conforme pode ser visto na Figura 2.4.



**Figura 2.4– Evolução da produção de celulose no Brasil.**

**Fonte: BRACELPA (2014).**

## 2.7 Materiais constituintes da argamassa

### 2.7.1 Cimento Portland

Segundo CALLISTER (1991): “O cimento é produzido por moagem e íntima mistura de argila e minerais portadores de cal nas proporções apropriadas e a seguir aquecimento da mistura até cerca de 1400° C num forno rotativo; este processo, às

vezes conhecido como calcinação, produz mudanças físicas e químicas nas matérias primas. O produto "Clinker" resultante é então moído para dar um pó fino ao qual uma pequena quantidade de gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) para retardar o processo de cura. Este produto é o cimento Portland. As propriedades do cimento Portland, incluindo o tempo de cura e a resistência mecânica final, num grande grau, depende de sua composição”.

No ano de 1756 o inglês John Smeaton deu um grande passo no desenvolvimento do cimento, ele conseguiu obter um produto com elevada resistência através da calcinação de calcários moles e argilosos. Já no ano de 1818 o francês Vicat teve resultados similares aos obtidos por John, sendo considerado o inventor o cimento artificial.

Mas foi em 1824 que o inglês Joseph Asdin queimou pedras calcárias e argilas conjuntamente, transformando as mesmas em um pó fino. Foi notado após este procedimento que após a secagem a mistura tornava-se extremamente dura e resistente, podendo ser comparado a pedras naturais, além de não dissolver-se em água. A mistura foi patenteada pelo inventor com o nome de cimento Portland, que fez menção graças as propriedades de durabilidade que foram similares as obtidas nas rochas da ilha britânica de Portland (ABCP).

Atualmente, o cimento Portland é o principal material de construção empregado pelo homem. Segundo dados do OFICEMEN (2013), a produção mundial de cimento Portland em 2013 foi pouco superior a 4.000 milhões de toneladas, uma alta de 7,5% em relação ao produzido no ano anterior. Os dados dos principais produtores pode ser verificado na Tabela 2.1 abaixo.

**Tabela 2.1 - Produção de cimento em 2013 no mundo. Fonte: OFICEMEN 2013**

Ranking 2005	Ranking 2013	País / Região	Mil Toneladas 2005	Mil Toneladas 2013	Evolução em %
1º	1º	China	1.038	2.300	122%
2º	2º	Índia	217	280	29%
3º	3º	Estados Unidos	100	77,8	<b>-22%</b>
5º	4º	Irã	65	75	15%
13º	5º	Brasil	36	70	94%
10º	6º	Peru	42	70	67%
8º	7º	Rússia	48	65	35%

Alguns especialistas creditam na produção de cimento o índice de desenvolvimento e atividade econômica de um país, por este material ser de grande importância, logo a análise dos dados oriundos da Tabela 2.1 torna-se importante.

No Brasil, o mercado da indústria cimenteira tem cerca de 15 grupos produtivos, nacionais e internacionais, com mais de 90 plantas de produção já instaladas e em operação. A capacidade de operação de indústria cresceu de forma vertiginosa nos últimos anos motivados pelo aquecimento do setor da construção civil.

A indústria de cimento brasileira, se comparada com outras, é moderna e tecnologicamente atualizada fazendo com que esta tenha uma performance boa, sendo altamente rentável, dentro dos padrões de sustentabilidade exigidos pelos órgãos fiscalizadores.

### 2.7.2 Agregados

A NBR 9935/2011 define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa. O agregado destinado ao preparo da argamassa é o agregado

miúdo (areia) e sua definição é apresentada como “uma areia natural ou artificial, resultante do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo igualou inferior a 4,75 mm (NBR 7211/2009). A Tabela 2.2 define a classificação dos agregados de acordo com sua origem, já a Tabela 2.3 mostra a classificação do agregado miúdo conforme módulo de finura.

**Tabela 2.2 - Classificação dos agregados conforme origem.  
(BAUER, 1999 *apud* WATANABE, 2004)**

CLASSIFICAÇÃO		ORIGEM
Naturais	Densidade leve	Inorgânico constituído da matéria prima de fontes naturais. Ex: Pedras pomes, escória vulcânica ou turfo.
	Densidade média	Encontrados fragmentos na natureza já sob a forma de partículas. Ex: Areia de barranco, minas e rios
Artificiais	Densidade leve	Encontram-se os agregados da família dos inorgânicos leves celular granulados, obtidos por processos especiais de fabricação para a utilização em concretos leves. Ardósias, escória de alto forno, argila, cinzas volantes.
	Densidade média	Necessitam ser triturados para obter a forma das partículas dos agregados miúdos e/ou grãos em condições apropriadas para a utilização no concreto normal. Ex: Britagem de rochas estáveis.
	Alta densidade	Necessitam ser triturados para obter a forma das partículas dos agregados miúdos e/ou grãos em condições apropriadas para a utilização no concreto pesado: Barita, hematita e magnetita.

**Tabela 2.3 - Classificação da areia conforme módulo de finura (MF) – NBR 7211.  
(BAUER, 1999 *apud* WATANABE, 2004).**

Classificação	MF
Muito finas	1,35 < MF < 2,25
Finas	1,71 < MF < 2,78
Médias	2,11 < MF < 3,28
Grossas	2,71 < MF < 4,02

Segundo FREITAS (2007), “na composição das argamassas predomina normalmente o material inerte de origem mineral, em que se observa com mais frequência o quartzo, de diâmetro entre 0,06 mm e 2,0 mm em sua composição granulométrica”. Caso esse diâmetro para argamassa não esteja nesta faixa, pode-se adequar esta para uma melhor aplicação.

TRISTÃO *et al.* (2005) afirmam existir uma grande variedade de areias para argamassas, isso é possível, graças as suas diferentes características geométricas de

seus grãos (esfericidade, arredondamento e rugosidade), que acabam interferindo na confecção dos traços dos materiais nas argamassas utilizadas nas obras.

Segundo MARGALHA *et al.* (2007), a argamassa ganha coesão através da ligação dos grãos da areia ao aglomerante (cimento), sendo de imensa importância a qualidade do agregado para um bom comportamento global da pasta. A mistura da areia separa as partículas de cal, o que facilita a reação química da carbonatação e, por outro lado, permite distribuir as retrações que eventualmente ocorram por toda a massa.

A análise da granulometria de um agregado define a proporção de cada diâmetro da areia. Esta análise tem grande influência nas propriedades das argamassas produzidas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Segundo REDDY e GUPTA (2008), estas influências são:

- Argamassas com areia fina exigem aproximadamente 25 à 30% a mais de água em seu traço;
- A granulometria da areia influencia mais na resistência à compressão das argamassas de cimento-cal do que nas argamassas de cimento. Para uma determinada consistência, a resistência à compressão da argamassa diminui com o aumento da finura da areia;
- A retenção de água das argamassas de cimento aumenta com o aumento na finura da areia, já a retenção de água de argamassas de cal-cimento não é sensível à variação na granulometria da areia;
- A granulometria das areias afeta grandemente os valores de retração por secagem de ambas as argamassas, aumento de 1 para 3 e 2,7 vezes para argamassas de cimento e argamassas de cimento-cal, respectivamente.

### 2.7.3 Cal Hidratada

A cal é um produto de origem mineral, que graças as suas diversas aplicações, está entre os dez produtos mais consumidos do mundo. Provém da calcinação de calcários hidratados ou não (GUIMARÃES, 2002).

Segundo GUIMARÃES (2002), os tipos de cales são:

- cal virgem cálcica (óxido de cálcio – CaO);

- cal hidratada cálcica (hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$ );
- cal virgem dolomítica (óxidos de cálcio e magnésio –  $\text{CaOMgO}$ );
- caldolomítica hidratada normal, tipo N (hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio –  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{MgO}$ );
- caldolomítica hidratada, especial tipo S (hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio -  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ );
- tipos intermediários (classificados como cales magnesianas) das cales cálcicas e dolomíticas e a cal hidráulica.

A cal virgem é obtida a partir da calcinação do calcário a elevadas temperaturas em fornos industriais e, da sua reação com a água, obtém-se a cal hidratada utilizada na composição de argamassas de assentamento e revestimento (MELLO *et al.*, 2007).

Nas argamassas, a cal forma juntamente com a água e os inertes que a encorpam, uma mistura pastosa que penetra nas reentrâncias e vazios dos blocos construtivos, cimentando-os, principalmente pela recristalização dos hidróxidos e de sua reação química com o anidrido carbônico do ar. Durante o endurecimento, as partículas muito finas de hidróxidos se aglomeram, formando cristais que aumentam em número e tamanho, à medida que a água se evapora. Esses cristais se entrelaçam, formando uma malha resistente que retém os agregados (GUIMARÃES, 2002).

Segundo (REGO e CINCOTTO, 1999 *apud* MELO *et al.*, 2007) a cal pode proporcionar às argamassas qualidade de desempenho com relação à função de aglomerante. No estado fresco, podem-se destacar como propriedades:

- A plasticidade e a retenção de água. A plasticidade é obtida a partir do contato da água com as partículas da cal hidratada, as quais são muito finas e funcionam como lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia presentes na argamassa, proporcionando maior trabalhabilidade e boa aderência.
- A segunda propriedade mencionada é obtida pela excelente capacidade que a cal possui de reter água em torno de suas partículas. Esta característica é importante no desempenho da argamassa, relativo ao

sistema alvenaria/revestimento, por não permitir a absorção excessiva de água pela alvenaria. Ao reagir com o CO<sub>2</sub> a cal libera a água retida em torno de suas partículas e assim colabora também na cura do cimento.

Segundo (CARASEK *et al.*, 2007), no estado endurecido pode-se destacar a capacidade de absorver deformações, devido ao baixo módulo de elasticidade das argamassas à base de cal. A carbonatação da cal ocorre lentamente, o que faz com que a mesma funcione tamponando eventuais fissuras ocorridas no endurecimento, contribuindo assim para a durabilidade.

A norma NBR 7175/ 2003 especifica os requisitos exigidos no recebimento da cal hidratada, a ser empregada em argamassas para a construção civil. Os valores estabelecidos pela ABNT são máximos e mínimos e contemplam as características físicas e químicas, ilustradas na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 - Características químicas e físicas de cales.  
(PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007)**

<b>QUÍMICAS</b>			
<b>Compostos</b>	<b>Limites</b>		
	<b>CH - I</b>	<b>CH - II</b>	<b>CH - III</b>
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> ) na fábrica .no depósito	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxido de Cálcio e magnésio não hidratado calculado	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO <sub>T</sub> + MgO <sub>T</sub> )	≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%
<b>FÍSICAS</b>			
Finura (% retida acumulada) peneira 0,6000mm peneira 0,075 mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água	≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia	≥ 3,0%	≥ 2,5%	≥ 2,2%
Estabilidade	Ausência de		
	cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade	≥ 110	≥ 110	≥ 110
Legenda: CH - I; CH - II; CH - III = Tipos de cales			

#### 2.7.4 Água

Segundo (MATTOS, 2001), uma das funções da água nas argamassas é a combinação química que há entre ela e os aglomerantes, fazendo com que estes endureçam e a argamassa acabe ganhando resistência. Outra função está relacionada à trabalhabilidade à mistura (OP CIT.). Portanto, pode-se resumir o papel da água da seguinte maneira: Quanto mais água em contato com os constituintes da argamassa (aglomerante e agregado), maior será a trabalhabilidade do produto cimentício, porém, menor será sua resistência mecânica.

#### 2.7.5 O lodo primário da produção de papel

O principal resíduo da indústria de papel e celulose é o lodo. Este resíduo na maioria das vezes é disposto em aterros industriais ou sanitários, embora sendo classificado como resíduo comercial e tem um enorme efeito desfavorável sobre o desenvolvimento da indústria de papel. Este lodo é composto de materiais fibrosos orgânicos, materiais argilosos inorgânicos e alguns constituintes diferentes (CHINTSON *et al.*, 1998), sendo dependente das características do processo e das técnicas de reaproveitamento empregadas. Pode variar muito de uma unidade fabril para outra, mesmo nos casos em que os produtos finais são semelhantes. De modo geral, esses resíduos não são classificados como perigosos, sendo enquadrados como classe II A – não inertes, conforme descrito na NBR 10.004/2004.

Durante este trabalho o lodo primário oriundo da produção de papel será denominado simplesmente como resíduo de papel (RP), o mesmo é originário da Cia Paduana de Papéis – COPAPA, empresa situada no município de Santo Antônio de Pádua, noroeste do estado do Rio de Janeiro, que atualmente dispõe do mesmo em aterros sanitários gerando elevados custos.

A utilização de resíduos sólidos industriais como matéria prima, e sua transformação em produtos para serem comercializados se apresenta como uma alternativa importante para as empresas que querem se tornar mais competitivas no mercado global, além de uma grande importância para o meio ambiente, pois as fontes de matéria prima tornam-se cada vez mais escassas.

A incorporação de resíduos em argamassas pode, inclusive, trazer benefícios ao produto final, caso o resíduo possua uma composição químico-mineralógica que venha

interagir de forma a melhorar algumas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco como após sua cura “estado endurecido”.

Segundo NOLASCO (1993) a produção de papel gera ao longo do seu processo diversos resíduos cada qual com suas características específicas, e seu aproveitamento já foi estudado e sua aplicação comprovada. Cada um destes resíduos pode ser absorvido por um determinado nicho industrial graças à identificação das propriedades de cada tipo de resíduo.

## **2.8 Propriedades das argamassas**

### **2.8.1 Trabalhabilidade**

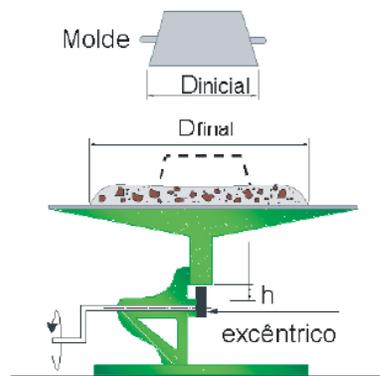
SABBATINI (1984) afirma que a trabalhabilidade é uma propriedade que esta principalmente relacionada com a consistência. Em termos práticos, pode-se dizer que a trabalhabilidade é a facilidade de manuseio de um material. Pode-se assim dizer que uma massa trabalhável distribui-se facilmente quando assentada, não apresenta segregação durante o transporte, não gruda nas ferramentas durante a aplicação, não endurece em contato com superfícies absorvivas e permanece plástica o suficiente até o final de sua utilização.

A trabalhabilidade é uma importante característica atrelada às argamassas de revestimento e esta determinará a facilidade com a qual o traço pode ser misturado, transportado, aplicado e acabado, em condições de homogeneidade. Segundo CARASEK (2007) a complexidade desta propriedade seve-se a diversos fatores conforme segue abaixo:

- **Consistência:** É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas.
- **Plasticidade:** É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.

- Retenção de água e consistência: É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
- Coesão: Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
- Exsudação: É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade.
- Densidade de massa: Relação entre a massa e o volume de material.
- Adesão inicial: União inicial no estado fresco ao substrato.

Para a determinação da consistência em argamassas utiliza-se a mesa de consistência (*flow-table*), este ensaio consiste em medir o espalhamento horizontal da argamassa moldada em um tronco de cone padronizado, após a submissão de inúmeros impactos e retirada da forma, conforme verificado na Figura 2.5.



**Figura 2.5 - Representação esquemática da mesa de fluidez ou consistência.**  
Fonte: CARDOSO (2009).

### 2.8.2 Resistência mecânica

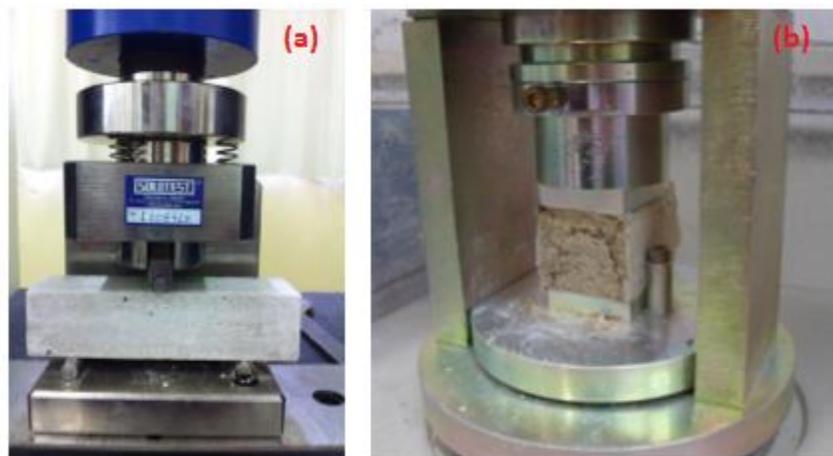
Segundo definição expressa por SELMO (1989), a resistência mecânica é definida como “a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento”.

Os fatores que influenciam a resistência mecânica dos revestimentos e na sua evolução estão apresentados na Tabela 2.5.

**Tabela 2.5 - Fatores que influenciam a resistência mecânica das argamassas de revestimento.**

<b><i>Aumento de consumo de cimento</i></b>	Resistência mecânica das argamassas são melhoradas
<b><i>Pequenos volumes de cal na argamassa</i></b>	Resistência mecânica aumenta
<b><i>Teores mais elevados de cal</i></b>	Resistência mecânica diminui
<b><i>Incorporador de ar</i></b>	Diminui a massa volumétrica aparente, reduzindo também a resistência mecânica
<b><i>Relação água/cimento em argamassas</i></b>	Afeta muito a resistência mecânica

Atualmente existem diferentes ensaios, normalizados por organismos nacionais e internacionais, para a determinação da resistência mecânica em argamassas. No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, seguindo a NBR 13279/2005 que determina a resistência à compressão simples e a tração através de flexão (Figura 2.6) utilizando corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm).



**Figura 2.6 – Representação do ensaio de resistência a flexão (a) compressão simples (b) em argamassa. Fonte: Pereira, H.R.S, Valentina, L.V.O.D, Witmiszyn, L.**

### 2.8.3 Massa Específica e Teor de Ar Incorporado

A massa específica de uma argamassa é determinada através da relação entre massa da argamassa e o seu volume:

- Massa específica absoluta: Não são considerados os vazios existentes no volume do material.
- Massa específica relativa: Também pode ser chamada de massa unitária. Consideram-se os vazios presentes.

As argamassas em geral podem apresentar teor de ar incorporado em excesso no estado fresco, este fato deve-se pelo processo de mistura mecânica ou pelo uso de aditivos que tem esta finalidade específica.

Segundo MATTOS (2001), o teor de ar incorporado é a quantidade relativa de bolhas de ar incorporadas, intencionalmente ou não, na argamassa no estado fresco durante o seu processo de mistura. Quanto maior for o teor de ar incorporado, maior a trabalhabilidade da argamassa, porém, em excesso pode reduzir a resistência de aderência dos revestimentos, logo deve-se controlar esta propriedade em argamassas.

ISAIA (2007) afirma que há uma série de fatores que interferem no ar incorporado são eles: tipo de misturador, tempo de mistura, relação a/c, granulometria do agregado, viscosidade, velocidade de mistura, tamanho do recipiente de mistura em relação ao misturador, presença de aditivo incorporador de ar, dentre outros. Quando nenhum agente é incorporado, os valores obtidos são geralmente baixos e praticamente independentes destes fatores devido à instabilidade das bolhas.

### 2.8.4 Retenção de Água

A definição retratada por CINCOTTO *et al.* (1995) e SILVA (2006) diz que a retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato, ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal.

Segundo MATTOS (2001), a retenção de água influencia na argamassa o tempo disponível para sua aplicação, regularização e desempenho. Há uma mudança também em algumas propriedades no estado endurecido, influenciando as reações dos aglomerantes durante a cura. Esta propriedade pode ser relacionada com a retenção de consistência e retração por secagem. A primeira, porque a argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície dos materiais, possibilitando que as reações de hidratação dos aglomerantes se processem; Já segundo CARNEIRO (1999) a segunda a retenção de água influencia na retração por secagem, que é uma das principais causas de fissuração das argamassas no estado endurecido, devido à velocidade de evaporação da água de amassamento, prejudicando a estanqueidade e a durabilidade do revestimento.

#### 2.8.5 Absorção de Água por Capilaridade

Afirma NEVILLE (1997) que a porosidade em compósitos de cimento, geralmente expressa em porcentagem, é a medida da proporção ao do volume total ocupado pelos poros. O volume de poros é um fator preponderante para a capacidade do compósito em resistir à carga, enquanto que a permeabilidade é afetada pela intercomunicabilidade dos poros. Ou seja, caso o volume de poros seja grande e os poros estejam interligados, a permeabilidade é alta. Por outro lado, se os poros forem descontínuos, a permeabilidade será baixa, mesmo com um elevado volume de poros.

Para se determinar através de uma análise a microestrutura e a porosidade das argamassas a determinação da absorção de água é um ensaio de grande importância, já que em materiais cimentícios, como argamassas, a permeabilidade influencia diretamente a durabilidade desses materiais.

## 2.9 Histórico de Trabalhos

### 2.9.1 Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas.

LÉBEIS (2003) estudou a viabilidade do uso de resíduo proveniente da indústria de papel em argamassas. Para este estudo foram realizados ensaios de caracterização do resíduo estudado assim como ensaios resistência a compressão simples, resistência à tração na compressão diametral, absorção de água por capilaridade e ensaios de resistência a aderência nas argamassas no estado endurecido. Foram desenvolvidos neste estudo corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5 x10 cm. O resíduo estudado neste trabalho foi utilizado em seu estado natural, não passando por nenhum tipo de beneficiamento. Foram moldados dois tipos de traço, o Tipo 1 (composto de cimento e areia, na proporção 1:3, mais adição de resíduo), que utilizou superplastificante para dispersão das partículas e fixou a relação água/cimento em 0,65. Já o compósito do Tipo 2 (composto de cimento, cal, área média e resíduo, seguindo a proporção 1:2:9) tem relação água/aglomerante não inferior a 0,98 quando incorporado 5% de resíduo.

Foram incorporados 0, 5, 10, 15 e 20% de resíduo em proporção de cimento (tipo 1) e em proporção de aglomerante (tipo 2).

Os resultados das médias das resistências à compressão e a tração na compressão diametral dos compósitos do tipo 1 seguem na Tabela 2.6.

**Tabela 2.6– Média das resistências à compressão simples e da tração na compressão diametral dos corpos de provado compósito do tipo 1.**

% Adição	Idade	Resistência à compressão (Mpa)	Tração na compressão diametral (Mpa)
0	3	9,55	-
	7	14,64	-
	28	15,41	1,99
5	3	5,64	-
	7	10,93	-
	28	18,43	2,51
10	3	6,28	-
	7	10,30	-
	28	12,73	2,27
15	3	5,38	-
	7	9,29	-
	28	12,03	1,95
20	3	4,55	-
	7	6,88	-
	28	11,59	1,69

Já os resultados dos compósitos do tipo 2 seguem na tabela 2.7 abaixo.

**Tabela 2.7–Média das resistências à compressão simples e da tração na compressão diametral dos corpos de provado compósito do tipo 2.**

% Adição	Idade	Resistência à compressão (Mpa)	Tração na compressão diametral (Mpa)
0	28	2,16	0,14
5	28	2,08	0,19
10	28	2,25	0,24
15	28	2,16	0,27

Segundo LÉBEIS (2003) pode-se concluir com a análise de todos os resultados de seu trabalho que:

- Para a relação água/ aglomerante utilizada, a adição de 5% de resíduo nos compósitos de argamassas de cimento, indicou melhorias nas propriedades mecânicas, tanto na compressão axial, quanto na tração por compressão diametral. O aumento verificado na absorção de água por capilaridade para esse teor de adição, não foi acentuado, e, portanto, podemos concluir que a adição de 5% de resíduo nos compósitos foi benéfica e ideal.
- Para os teores de 10 e 15% de adição de resíduo nas argamassas de cimento, pode-se constatar uma diminuição nas condições gerais das propriedades estudadas, mas que não inviabilizam sua utilização face aos propósitos indicados, ou seja, regularização de pisos e enchimento de lajes.
- As argamassas de revestimento apresentaram para todos os teores de adição incorporados, uma tendência de melhoria ou manutenção na resistência à compressão axial e na resistência à tração na compressão diametral. Porém, cabe-se observar que, com o desenvolvimento dos trabalhos, pôde-se constatar durante a realização dos ensaios no laboratório, que a incorporação superior a 10% de resíduo, para a relação

água/aglomerante utilizada, não produz trabalhabilidade suficiente para a utilização em assentamentos de blocos de revestimentos.

- Os resultados obtidos com os ensaios de resistência de aderência à tração nas argamassas de revestimento, mostraram que, independentemente dos teores de adição, sem chapisco não há aderência, e, portanto, a utilização em assentamentos de blocos não é recomendada. Por outro lado, com a execução prévia de chapisco, as argamassas de revestimento, para todos os teores de adição, apresentam uma aderência mínima com o substrato, indicando ser viável a utilização como revestimento em alvenarias de vedação. A adição de 5% de resíduo, com relação à massa de aglomerante, mostrou-se também ser a mais eficiente nas argamassas de revestimento.

#### 2.9.2 Estudo para utilização de resíduo da fabricação de papel na construção rodoviária.

SILVA JUNIOR, W.S. (2010) avaliou, em laboratório, as propriedades físicas e mecânicas de misturas de solo, cal e resíduo da fabricação de papel, visando sua utilização rodoviária. Foram realizados ensaios de compactação, extremamente importante para avaliar desempenho de materiais geotécnicos, além de ensaios de compressão simples, diametral e triaxial. Foram escolhidos teores de 0 a 40% de incorporação de resíduo e teores de 0, 5 e 10% de cal. Avaliou-se também a rigidez do material mediante o módulo tangencial inicial e o módulo de resiliência. Os corpos de prova foram ensaiados sem imersão e após imersão em água de 4 horas, decorridos 7 dias de cura em câmara úmida. Posteriormente foi analisado a influência do tempo de cura para 0, 2, 7, 28 e 84 dias de permanência em câmara úmida. Foram executados ensaios de lixiviação e solubilização que demonstraram que o resíduo não apresenta nenhum perigo. Os resultados mostraram que a adição do resíduo e a influência da água agiram como agentes redutores das propriedades mecânicas. Entretanto as misturas de solo-cal e solo-cal-resíduo atendem as especificações técnicas da Stateoftheart 5 – Lime stabilization (TRB, 1987) oferecendo assim uma solução viável

para a utilização destas misturas na construção rodoviária, além de verificar-se que um aumento no tempo de cura e teor de cal conduziram a valores maiores de aplicação destes resíduos em camadas de base e sub-base de pavimentos.

2.9.3 Potencialidade do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas.

O trabalho de M.L. MARQUES, et al. (2014) teve como objetivo analisar os resultados de uma possível integração do resíduo da indústria de celulose (dregs/grits) na construção civil, através da incorporação deste como agregado miúdo em argamassas. Foram confeccionadas argamassas com diferentes percentuais de substituição de agregado miúdo natural (areia fina e areia média) por dregs/grits (DG) para avaliar as propriedades do compósito. Os corpos de prova de argamassas foram submetidos à ensaio mecânico de resistência à compressão axial e índice de consistência para verificar a trabalhabilidade da mistura. A Tabela 2.8 mostra algumas características do traço a ser estudado e níveis de incorporação estudados.

**Tabela 2.8 – Composição dos traços de argamassas estudados.**

Traço	Cimento (g)	Areia fina branca (g)	Areia media lavada (g)	Dregs (g)	Água(g)
Controle	400	460	460	0	200
10% de dregs	400	414	414	92	200
20% de dregs	400	368	368	184	200
30% de dregs	400	322	322	276	200

Os corpos de prova cilíndricos de dimensões 50 mm x 100 mm, em triplicata para cada traço, foram confeccionados utilizando cimento do tipo CP V ARI (Alta resistência

inicial). A distribuição do agregado miúdo foi na proporção de 50% de areia fina (branca) e 50% de areia média (lavada). Manteve-se a relação água/aglomerante 0,5 constante para todos os traços.

Os corpos de prova foram curados em câmara úmida até a data de realização do ensaio de resistência à compressão axial. Os resultados da resistência a compressão e do índice de consistência seguem na figura 2.7 e 2.8 respectivamente.

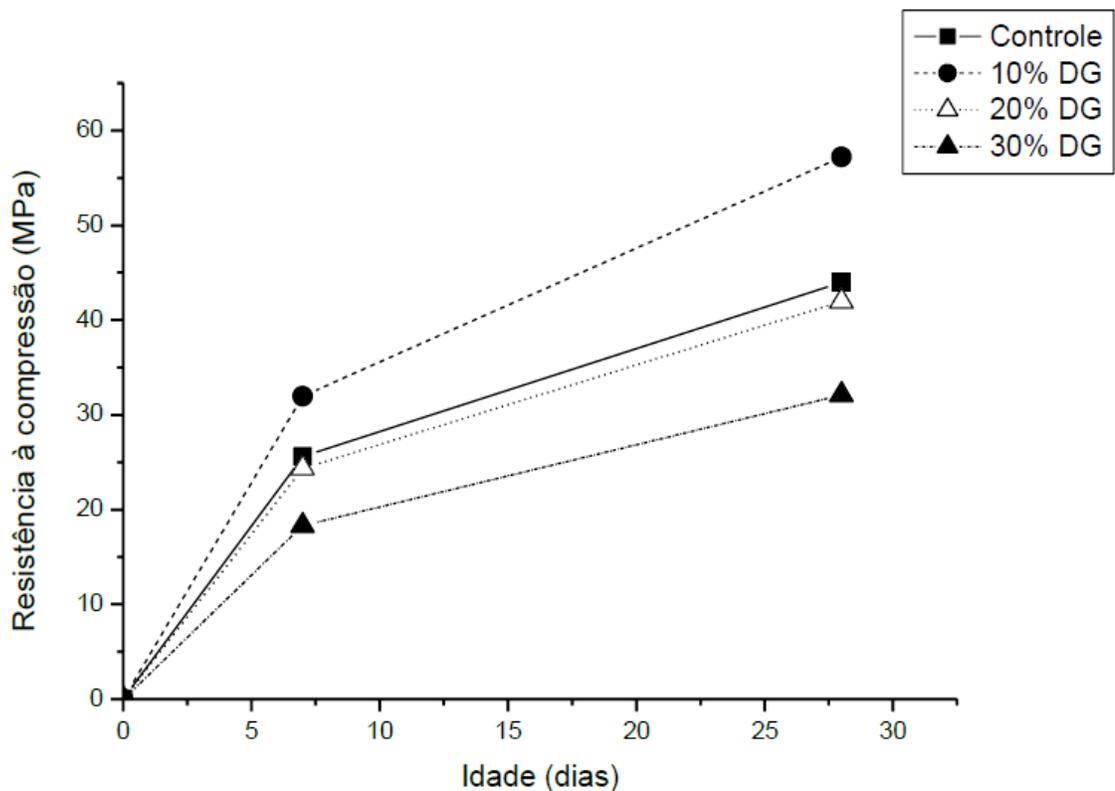
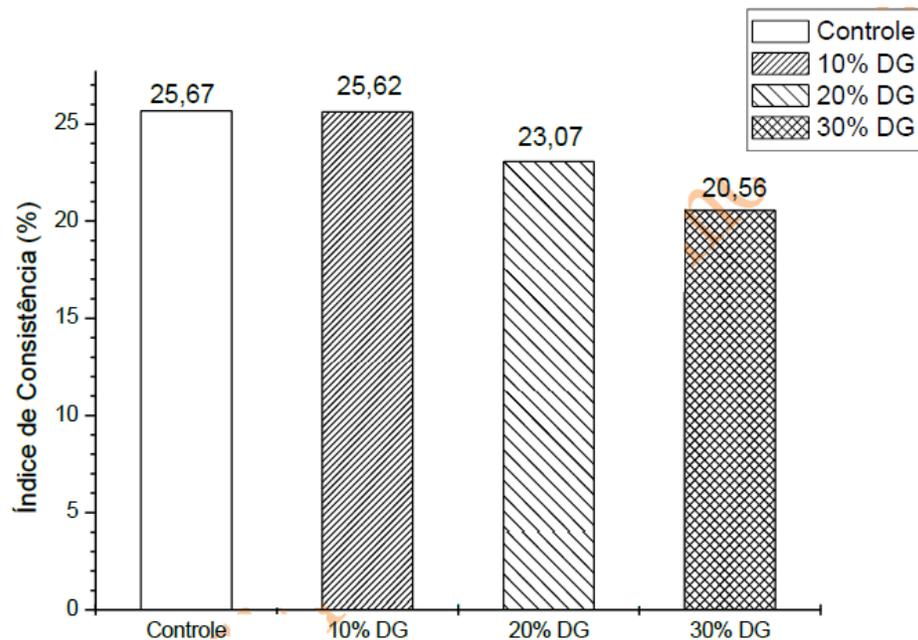


Figura 2.7 – Resistência dos corpos de provas estudados (MPa)



**Figura 2.8 – Consistência das argamassas analisadas**

Os resultados indicaram um bom potencial de aproveitamento do resíduo na produção de argamassa de revestimento de paredes, substituindo em até 10% em massa de agregado. Este aproveitamento, além de favorecer a redução da extração da areia nos leitos dos rios, pode contribuir para um gerenciamento adequado para estes resíduos.

2.9.4 Caracterização física de solo e resíduo da indústria de papel e celulose (gritts) para fabricação de tijolos de solo-cimento.

L.A.MIRANDA, et al. (2009) caracterizou os materiais constituintes dos tijolos de solo-cimento com adição de resíduo da indústria de papel, chamado de grits, buscando um destino para este resíduo sólido diferente dos aterros sanitários tradicionais. Assim serão confeccionados tijolos com incorporações de grits de 0, 25,50, 75 e 100%. Neste trabalho foram feitos ensaios de análise granulométrica, determinação de limite de liquidez e plasticidade, ensaio prático da caixa e ensaio de compactação. O traço adotado em volume é de 1:14:0 (cimento:solo:gritts) para o traço de referência, e os demais seguindo as proporções de substituição. Os resultados mostraram que todos os traços atendem as normas de tijolos de solo-cimento e podem ser utilizados, entretanto

a incorporação de 100% não é recomendada devido a não existência de plasticidade necessária para fabricação de tijolos o que dificultaria seu processo de produção.

#### 2.9.5 Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica vermelha.

Pinheiro, R.M. (2008) estudou a caracterização e a incorporação do lodo primário da estação de tratamento de efluentes nas propriedades físicas, mecânicas e microestrutural em peças de cerâmica vermelha. Para este estudo foram realizados ensaios de avaliação ambiental através de teste de monitoramento das emissões atmosféricas em escala industrial e ensaios de solubilização em cerâmicas incorporadas com 10% em peso de lodo. Além disso, foram realizados ensaios de caracterização do resíduo, como difração de raios-X (DRX), fluorescência de raios-X (FRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia ótica (MO), e análise térmica diferencial e térmica gravimétrica (ADT/TG) e espectrometria de massa (EM). O resultado da composição mineralógica pode ser observado na Figura 2.9

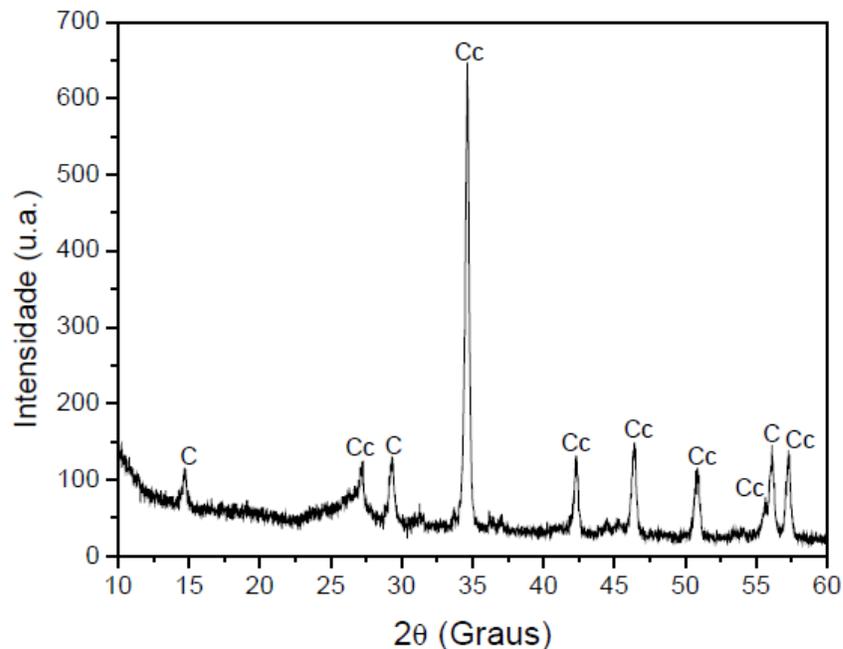


Figura 2.9 –Difratograma de raios-X do lodo. C = caulinita; Cc = calcita.

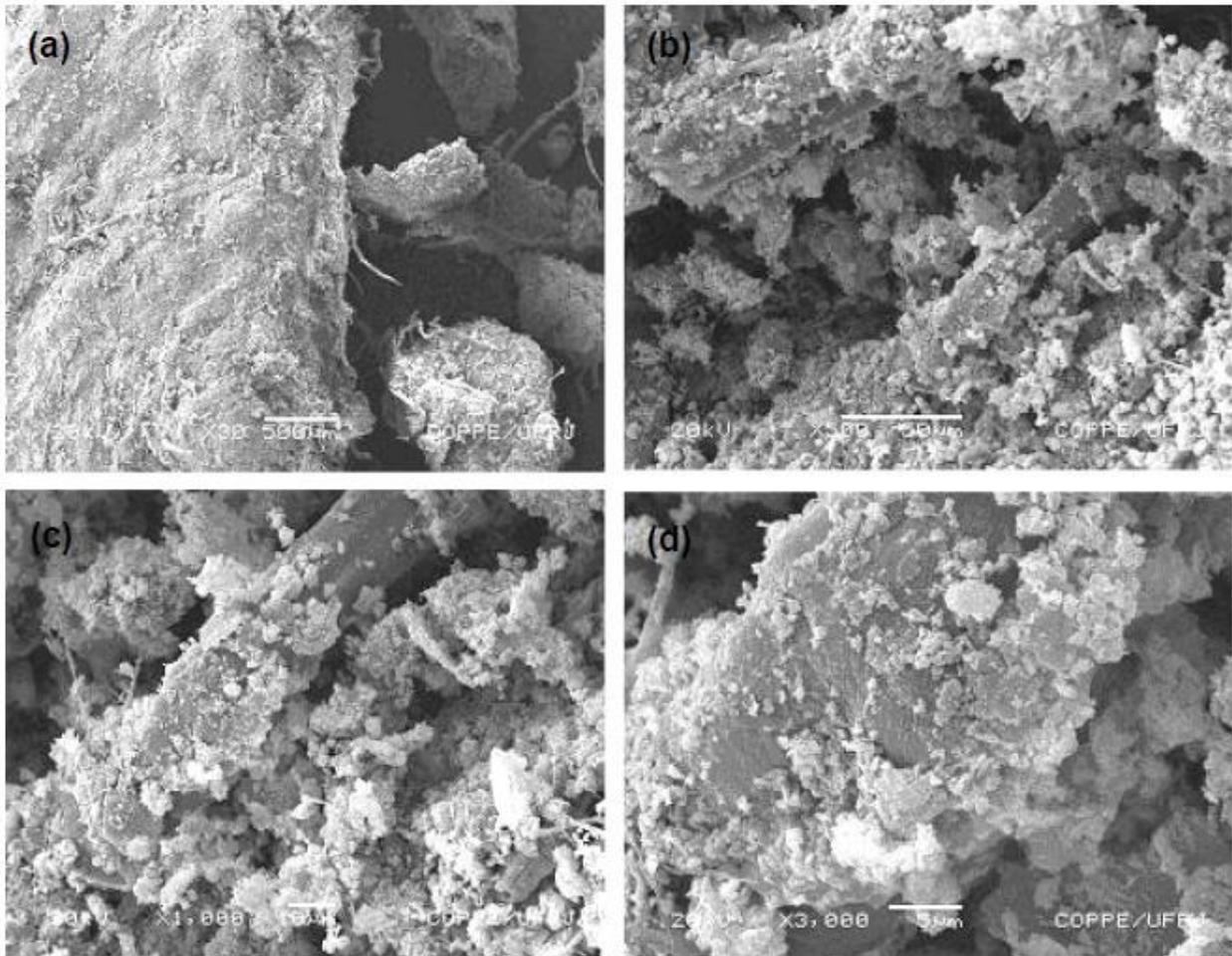
Ainda segundo Pinheiro, R.M. (2008) é possível observar que o lodo apresenta como fases cristalinas majoritárias a caulinita,  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , principal constituinte do caulim, e a calcita, carbonato de cálcio,  $CaCO_3$ . Estes materiais são constituintes das aparas de papel utilizadas no processo fabricação da indústria fornecedora do lodo. É importante salientar que a presença de caulinita no lodo pode ser considerada como um ponto favorável à incorporação em massa argilosa. Pois a presença deste mineral reduz as tensões que podem ser geradas, já que a caulinita é o principal constituinte da massa argilosa.

Quanto à composição química, Tabela 2.9, Pinheiro, R.M. (2008) observou que o lodo é constituído predominantemente de óxido de cálcio,  $CaO$ , sílica,  $SiO_2$ , alumina,  $Al_2O_3$  e carbono orgânico,  $C$ . O  $CaO$  está associado à calcita, conforme mostrado na Figura 17. Já o  $SiO_2$  e o  $Al_2O_3$ , estão combinados formando a estrutura da caulinita. O carbono está associado à presença de celulose. Os demais óxidos presentes,  $MgO$ ,  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3$ , são possivelmente de impurezas presentes no caulim e na calcita. A composição química (Figura 2.9) do lodo evidencia ainda mais a similaridade com a composição da massa argilosa. Esta similaridade nas composições, segundo a autora, se mostra favorável à reciclagem do lodo em cerâmica, pois com a sua adição não se altera significativamente as propriedades químicas das massas quando comparadas.

**Tabela 2.9 – Composição química do lodo (% em peso)**

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$C$
22,53	18,10	37,87	2,05	0,56	0,82	18,12

Pinheiro, R.M. (2008) descreve que segundo alguns aspectos morfológicos do lodo por meio de micrografias obtidas por MEV. Pode-se observar que o lodo apresenta pequenos tubos entrelaçados que representam as fibras de celulose. Na Figura 2.10 (a) o resíduo apresenta-se em forma mais compacta, possivelmente trata-se de um aglomerado constituído de celulose, calcita e caulinita. Já na Figura 2.10 (b), 2.10 (c) e 2.10 (d) ocorre o aparecimento bastante visível das fibras de celulose, com partículas associadas em sua superfície.



**Figura 2.10 –Micrografias de MEV do lodo. (a) 30 x; (b) 500 x; (c) 1000 x; (d) 3000 x.**

Após a caracterização do resíduo foram preparados copos de prova pelo método da prensagem com formulações de 0, 5 e 10% em peso do resíduo em massa argilosa para posterior determinação de propriedades físicas e mecânicas como a retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão com os corpos de prova queimados a 600, 700, 800 e 900 °C. A microestrutura de cerâmica queimada foi avaliada por MEV, MO e DRX. Os resultados indicam que a cerâmica vermelha pode ser um destino ambientalmente correto para este tipo de resíduo. Devido à presença de celulose, o resíduo contribui para a redução do consumo de combustível durante a etapa de queima. Entretanto, sugere-se a incorporação ao redor de 5 % em peso para evitar um aumento demasiado da porosidade da cerâmica queimada.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais utilizados

As argamassas que foram produzidas neste trabalho serão a base de cimento, cal hidratada, areia natural e resíduo proveniente da indústria produtora de papel.

##### 3.1.1 Cimento

Para a produção das argamassas foi utilizado o Cimento Portland tipo II, com adição de escória, CII E 32 da marca Votorantin, fabricado na planta industrial de Volta Redonda, Rio de Janeiro, que foi adquirido no mercado varejista da cidade de Campos em sacos de 50 Kg, a escolha deste tipo e fabricante deve-se ao fato de ser de grande utilização nas obras da região.

A massa específica do cimento foi obtida utilizando a NBR NM 23 (2001), utilizando o frasco de *LeChatelier*, este ensaio tornou-se essencial devido a necessidade de se obter estes parâmetros para o ensaio de teor de ar incorporado da argamassa no estado fresco, já que este parâmetro é utilizado para o cálculo.

##### 3.1.2 Areia

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa é proveniente da bacia do Rio Paraíba do Sul, localizada no município de Campos dos Goytacazes, sendo uma areia natural. Foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil – LECIV o ensaio de peneiramento a seco (análise granulométrica).

##### 3.1.3 Cal hidratada

Foi adotada a cal hidratada do tipo CHIII, da marca Supercal produzida no município de Formiga-MG, com validade de março de 2015. Esta marca foi escolhida devido este produto ser um dos mais utilizados no mercado de Campos dos Goytacazes e região, possuindo um alto grau de finura, conferindo a argamassa uma maior trabalhabilidade.

Existem diferentes tipos de cal, a CH I, CH II e CH III, o que diferencia um tipo do outro é basicamente a quantidade de anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ), enquanto a CH III pode conter até 13% de  $\text{CO}_2$  a CH I tem 5% como limite máximo.

### 3.1.4 Resíduo

O resíduo utilizado nesta pesquisa é proveniente do processo produtivo da indústria de papel, mais especificadamente da Cia Paduana de Papeis – COPAPA, indústria de papel localizada no município de Santo Antônio de Pádua no noroeste fluminense. Estes resíduos são destinados a estação de tratamento de efluentes da empresa que armazena o material para dar um descarte, que atualmente é em aterro sanitário.

O material foi cedido e transportado pela empresa até o campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, nas dependências do Laboratório de Engenharia Civil – LECIV, ao chegar este material apresenta-se extremamente úmido e segundo testes realizados em torno de 60 a 70% de água em sua composição (Figura 3.1)



**Figura 3.1 - Resíduo em forma de pó.**

Após seu recebimento e respectiva armazenagem o material deve passar por um processo de secagem para sua posterior homogeneização, o processo de secagem consiste em deixar o material exposto ao sol por um período de 24 horas e mais um ciclo em estufa a 110 °C com duração de 24 horas. Logo em seguida o material seguirá para o processo de moagem onde o mesmo ficará em rotação no moinho de bolas até que o material seja totalmente homogeneizado e esteja pronto para seu uso.

Segundo AMORIM *et al.* (2003), “as propriedades mecânicas das argamassas melhoram circunstancialmente com o aumento da superfície específica de resíduos inseridos nas argamassas”.

### 3.1.5 Índice de atividade pozolânica

Segundo LUXÁN *et al.* (1989) um método rápido para a avaliação de uma atividade pozolânica através da medição de condutividade que podem ser aplicadas a muitos produtos naturais. Neste método, é definido um índice de atividade pozolânica baseado na variação da condutividade elétrica de um material em uma solução saturada de hidróxido de cálcio em determinado intervalo de tempo.

A avaliação da pozolanicidade do material pela medição da condutividade pode ser classificada como: não pozolânico, pozolanicidade variável e boa pozolanicidade.

O ensaio de condutividade elétrica foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Ensaio de condutividade.

O procedimento utilizado foi:

- Colocar água para o banho em um béquer;
- colocar 70 ml de água destilada em outro béquer e aquecer até 40° C;
- adicionar 98,7 mg de  $\text{Ca(OH)}_2$  e o ímã de homogeneização no béquer menor;
- colocar na velocidade 4 e deixar estabilizar por 20 min;
- posicionar o termostato e condutivímetro na mesma altura;
- ligar o condutivímetro (primeira escala: 0-20 mS);
- adicionar 1,75 g de material (possível pozolana);

### 3.2 Preparo das argamassas

Todas as argamassas produzidas neste trabalho foram norteadas pela NBR 13276 (2005). Foi utilizado um misturador mecânico da EMIC (Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda) modelo AG-5, provido de uma cuba de aço com capacidade de aproximadamente cinco litros e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma, e em movimento planetário em torno do eixo da cuba.

Foram confeccionados traços de argamassa na seguinte proporção de materiais 1:1:6 (cimento:cal:areia), a escolha deste traço deve-se ao fato deste ser usualmente utilizado em obras da região. A incorporação do resíduo deu-se na substituição da massa de cal em diferentes proporções, conforme segue a seguir:

- 0% (com 0% de adição de resíduo e 100% de proporção de cal);
- 5% (com 5% de adição de resíduo e 95% de proporção de cal);
- 10% (com 5% de adição de resíduo e 90% de proporção de cal);
- 15% (com 5% de adição de resíduo e 85% de proporção de cal);
- 20% (com 5% de adição de resíduo e 80% de proporção de cal);
- 25% (com 5% de adição de resíduo e 75% de proporção de cal);
- 30% (com 5% de adição de resíduo e 70% de proporção de cal);

O traço sem adição de resíduo será denominado de referência e os demais serão com incorporação, não haverá alteração nas massas da areia e do cimento utilizado. A relação água aglomerante (cimento e cal) foi mantida em 0,65.

A utilização do resíduo deu-se em seu estado seco, após um período na estufa, evitando que este contribua para a quantidade de água na argamassa.

### 3.3 Ensaio das argamassas no estado fresco

Todas as argamassas que serão produzidas para serem ensaiadas deverão seguir a NBR 13276/2005. Para argamassas dosadas em laboratório à base de cimento e cal hidratada o preparo deve seguir as seguintes etapas:

- Preparar, com antecedência de 16 a 24 horas da utilização, uma argamassa de cal hidratada. Misturar em velocidade baixa durante 4 minutos no recipiente do misturador: areia, cal hidratada e água em quantidades de acordo com a dosagem e fazer a pesagem do material preparado.
- Após o intervalo de maturação, o material preparado é pesado novamente e acrescenta-se água eventualmente perdida por evaporação. Em seguida é acrescentada a quantidade de cimento definido no traço. Para finalizar, realiza-se nova homogeneização por 4 minutos, em velocidade baixa.

Os ensaios a serem realizados na argamassa no estado fresco e suas respectivas normas estão descritos na Tabela 3.1. Todos os ensaios no estado fresco serão realizados para os diferentes traços estudados neste trabalho.

**Tabela 3.1 – Ensaio a serem realizados na argamassa no estado fresco e respectivas normas**

Ensaio	Norma
Índice de Consistência	13276 (ABNT, 2005)
Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco	13278 (ABNT, 2005)
Retenção de água	13277 (ABNT, 2005)

#### 3.3.1 Consistência

Os ensaios de consistência serão realizados em argamassa no estado fresco de acordo com a NBR 13276/ 2005, que recomenda o índice de consistência ( $260 \pm 5$ ) mm. Por tentativa e erro deve-se repetir o ensaio até que seja alcançado o índice recomendado. A quantidade de água a ser adicionada na dosagem será aquela registrada na tentativa onde o índice foi alcançado.

Neste ensaio, deve ser utilizada uma forma tronco-cônica de 12,5 cm de diâmetro de base, 8,0 cm de diâmetro de topo e 6,5 cm de altura. A mesa circular deve possuir um diâmetro de 50 cm e pesar 12,0 kg, além de uma altura de queda de 14 mm.

Após a mistura da argamassa, o molde deve ser colocado no centro da mesa e preenchido por três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicar golpes moderados do soquete, sendo 15 golpes na primeira camada, 10 golpes na segunda e 5 golpes na terceira uniformemente distribuídos. Em seguida, deve-se fazer o rasamento da argamassa passando a régua metálica rente à borda do molde tronco cônico.

Depois de retirado o molde, deve-se acionar a manivela efetuando 30 quedas em 30 segundos. A seguir, deve-se medir o espalhamento da argamassa fazendo a média em três diferentes direções.

Como neste trabalho serão utilizados diferentes traços deve-se atentar ao fato da fixação do índice de consistência, que de acordo com norma, deverá ser de ( $260 \pm 5$ ) mm em todos os traços.

### 3.3.2 Teor de ar Incorporado e densidade de massa no estado fresco

O cálculo do teor de ar incorporado deve seguir a NBR 13278/ 2005. Antes de ser iniciado o ensaio deve ser feita a calibração do recipiente cilíndrico. Primeiramente pesa-se o recipiente vazio e registra-se a massa ( $m_v$ ). Logo após, o recipiente deve ser cheio com água destilada ou desmineralizada a ( $23 \pm 2$ )°C e registra-se o seu volume ( $v_r$ ). O recipiente deve ser rasado com uma placa de vidro e certificado que não permaneceram bolhas de ar sob a placa. Pesa-se novamente o recipiente com água e com a placa de vidro e registra-se sua massa ( $m_a$ ). O volume é dado pela equação 3.1:

$$v_r = m_a - m_v \quad (3.1)$$

Após a calibração do recipiente cilíndrico procede-se com a preparação da argamassa conforme NBR 13276/ 2005. A argamassa ainda no estado fresco é introduzida suavemente recipiente cilíndrico calibrado de modo que forme três camadas de altura aproximadamente iguais. Deve ser aplicado a cada camada 20 golpes, que devem ser efetuados de modo que não ultrapasse a camada onde está sendo aplicado.

Após a execução e do golpeamento das três camadas efetua-se três quedas com aproximadamente 3 cm de altura. Ao final não deve restar vazios entre a argamassa e a parede do recipiente.

O Recipiente é razado e após a eliminação de qualquer partícula ou água aderida à parede externa do recipiente é realizado a pesagem e registrado a massa do molde com a argamassa ( $m_c$ ).

- Densidade de massa no estado fresco

Para o cálculo da densidade de massa no estado fresco ( $d$ ), em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) através da equação 3.2.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} 1000 \quad (3.2)$$

Onde:

$m_c$  – Massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

$m_v$  – Massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

$v_r$  – Volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

- Teor de ar incorporado

Para o cálculo do teor de ar incorporado na argamassa (A), através da equação 3.3.

$$A = 100 \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (3.3)$$

Onde:

d - Densidade de massa de argamassa, em gramas por centímetro cúbico;

$d_t$  – Densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico, sem vazios.

Para argamassas não industrializadas, o valor da densidade de massa teórica é calculado através da equação 3.4.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (3.4)$$

Onde:

$m_i$  - Massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa de água;

$\gamma_i$ – Massa específica de cada componente da argamassa.

### 3.3.3 Retenção de água

O ensaio da retenção de água será realizado de acordo com a NBR 13277/ 2005. Para a realização do ensaio deve ser utilizada argamassa no estado fresco confeccionada conforme a NBR 1327/ 2005.

Primeiramente, coloca-se o prato sobre o funil, garantindo a estanqueidade entre eles, e logo em seguida posicionar o papel-filtro umedecido no fundo do prato.

Com a torneira fechada, acionar a bomba de vácuo até que seja aplicada uma sucção de 51 mm de mercúrio. Em seguida abre-se a torneira para a retirada do excesso de água do papel-filtro apenas por 90 segundos.

O conjunto funil/papel-filtro úmido deve ser pesado e registrado a massa ( $m_v$ ).

Preenche-se o prato com a argamassa até acima da borda para o adensamento com soquete. São aplicados 16 golpes uniformemente junto à borda e 21 golpes uniformemente distribuídos na parte central da amostra. O excesso de argamassa é retirado com uma régua metálica até a obtenção de uma superfície plana.

Após a limpeza do excesso de argamassa o conjunto com argamassa é pesado e registra-se a massa ( $m_a$ ) Em seguida, abre-se a torneira até a aplicação de uma sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos. Após o tempo de espera o prato do funil é removido e pesa-se o conjunto registrando a massa ( $m_s$ ).

O cálculo da retenção de água é dado pela equação 3.5.

$$R_a = \left[ 1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF (m_a - m_v)} \right] 100 \quad (3.5)$$

Sendo AF determinado pela equação 3.6.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (3.6)$$

Onde:

$m_a$  – Massa do conjunto com argamassa, em gramas;

$m_s$  – Massa do conjunto após a sucção, em gramas;

$m_v$  – Massa do conjunto vazio, em gramas.

AF – Fator água/argamassa fresca;

$m_w$  – Massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;

$m$  – Soma das massas dos componentes anidros.

### 3.4 Ensaio das argamassas no estado endurecido

As argamassas para a realização dos ensaios devem ser confeccionadas de acordo a NBR 13276/ 2005. Após a confecção da argamassa devem ser preparados os corpos de prova de acordo com a NBR 13279/2005, que descreve a aparelhagem necessária, os moldes prismáticos metálicos, formando três compartimentos quando montados, que servem de molde para três corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm cada. Os moldes é fixado sobre a mesa de consistência e é preenchido com duas camadas de altura aproximadamente iguais. A cada camada executada são realizadas 30 quedas na mesa de consistência (“*flowtable*”). Em seguida, é feito o rasamento da argamassa passando-se uma régua metálica de modo que a superfície fique plana e eliminado os excessos de argamassa nas bordas, este procedimento deve ser feito com cuidado e pericia.

Os moldes devem ser colocados em local plano com temperatura controlada para cura ao ar. A desforma dos corpos-de-prova deve ser feita em tempo mínimo de 24 horas após serem moldados.

Os ensaios a serem realizados na argamassa no estado endurecido e suas respectivas normas estão descritos na Tabela 3.2. Todos os ensaios no estado endurecido serão realizados para os diferentes traços estudados neste trabalho.

**Tabela 3.2 – Ensaio a serem realizados na argamassa no estado endurecido e respectivas normas**

Ensaio	Norma
Resistência à tração na flexão	13279 (ABNT, 2005)
Resistência à compressão axial	13279 (ABNT, 2005)
Absorção de água e Índices de vazios da argamassa	9778 (ABNT, 2009)
Densidade de massa aparente no estado endurecido	13280 (ABNT, 2005)
Coefficiente de capilaridade	15259 (ABNT, 2005)

### 3.4.1 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão é executado de acordo com a NBR 13279/ 2005. Para a realização do ensaio são utilizados os corpos-de-prova confeccionados de acordo com o capítulo 4.3.2, que devem posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não esteja em contato com os dispositivos de apoio ou com os dispositivos de carga. Em seguida, é aplicada uma carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

A resistência à tração na flexão é calculada através da equação 3.7.

$$R_t = \frac{1,5F_t L}{40^3} \quad (3.7)$$

Onde:

$R_t$  – Resistência à tração na flexão, em megapascal;

$F_t$  – Carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

$L$  – Distância entre os suportes, em milímetros.

### 3.4.2 Resistência à compressão axial

O ensaio de Resistência à compressão axial é executado de acordo com a NBR 13279/ 2005. Para a realização dos ensaios são utilizadas as duas metades dos corpos-de-prova rompidos. Os corpos-de-prova devem ser posicionados de modo que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio ou com o dispositivo de carga. Aplica-se uma carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

A resistência à compressão é calculada através da equação 3.8.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.8)$$

Onde:

$R_c$  – Resistência à compressão, em megapascal;

$F_c$  – Carga máxima aplicada, em Newton;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga de 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrado.

### 3.3.7 Absorção de água e índices de vazios

O ensaio de absorção de água e índices de vazios é executado de acordo com a NBR 9778/ 2009. Para a realização dos ensaios serão utilizados corpos-de-prova confeccionados de acordo com o capítulo 4.3.2, os quais possuem volume igual à 256 cm<sup>3</sup>, maior que 150 cm<sup>3</sup> exigidos pela norma para ensaios em argamassa.

Primeiramente o corpo-de-prova é colocado na estufa por um período de 72h e decorrido o tempo registra-se a massa ( $m_s$ ). Em seguida o corpo-de-prova é imerso em água durante 72 horas. Depois de completada a etapa de saturação em água à temperatura ambiente, colocar os corpos-de-prova em um recipiente com água e progressivamente levado à ebulição, a qual só deve começar depois de 15 minutos e antes de 30 minutos. O processo de ebulição é mantido por 5 horas completando o volume de água quando necessário. A seguir, deixa-se a água esfriar naturalmente até atingir a temperatura ambiente e registra-se a massa em balança hidrostática ( $m_i$ ). A amostra é retirada da água, enxugada com pano úmido e registra-se sua massa ( $m_{sat}$ ).

- Absorção

Para o cálculo da absorção (A), em porcentagem, utiliza-se a equação 3.9.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \quad (3.9)$$

Onde:

$m_{sat}$  – Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

$m_s$  – Massa da amostra seca em estufa.

- Índices de Vazios

O cálculo do Índice de Vazios ( $I_v$ ), em porcentagem, pela equação 3.10.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (3.10)$$

Onde:

$m_i$  – Massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

### 3.4.3 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido será executado de acordo com a NBR 13280/ 2005). Para a realização do ensaio são utilizados três corpos-de-prova confeccionados de acordo com o capítulo 4.3.2. Após 28 dias de cura, os corpos de prova são medidos, com o auxílio de um paquímetro, a altura, a largura e o comprimento em duas posições distintas. Também deve ser determinada a massa dos corpos de prova.

Primeiro deve ser calculado o volume do corpo de prova em centímetros cúbicos através da equação 3.11.

$$V = l . h . c \quad (3.11)$$

Onde:

V - Volume do corpo de prova

l – Largura do corpo de prova

h – Altura do corpo de prova

c – Comprimento do corpo de prova

Depois de determinado o volume do corpo de prova, determina-se a densidade de massa aparente no estado endurecido conforme equação 3.12.

$$\rho_{max} = \frac{m}{v} 1000 \quad (3.12)$$

Onde:

$\rho_{max}$  - Densidade de massa aparente no estado endurecido.

m – Massa do corpo de prova.

v – Volume do corpo de prova.

#### 3.4.4 Coeficiente de capilaridade

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade será executado de acordo com a NBR 15259/ 2005. Para a realização do ensaio são utilizados três corpos-de-prova confeccionados de acordo com o capítulo 4.3.2. Após 28 dias de cura, deve-se lixar a superfície do corpo de prova com lixa grossa e feita a limpeza com pincel e em seguida determina-se a massa inicial. A face quadrada dos corpos de prova deve ser posicionada sobre suportes no recipiente de ensaio, evitando a molhagem de outras superfícies. O nível de água deve permanecer constante a  $(5 \pm 1)$  mm acima da face em contato com a água. A partir da colocação dos corpos de prova, em contato com a água, será determinada a massa aos 10 minutos e aos 90 minutos.

Para a determinação do coeficiente de capilaridade utiliza-se a equação 3.13.

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (3.13)$$

Onde:

C – Coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto ( $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )

$M_{90}$  – Massa do corpo de prova aos 90 minutos.

$M_{10}$  – Massa do corpo de prova aos 10 minutos.

## 4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Durante este capítulo serão abordados as análises dos resultados e suas discursões referentes aos ensaios realizados.

### 4.1 Atividade Pozolânica do Resíduo

No ensaio de atividade pozolânica, realizado com o método de condutividade elétrica demonstrou que o resíduo utilizado neste trabalho apresenta média pozolanicidade conforme pode ser visto na Tabela 4.1. Segundo LUXAN *et al.* (1989), para ser considerado um material com boa pozolanicidade o resultado deveria ser maior que 1,2 mS/cm. (Anexo B)

**Tabela 4.1 - Classificação estabelecida por LÚXAN *et al.* (1989).**

<b>Classificação do material</b>	<b>Variação na condutividade elétrica (mS/cm) aos 2 minutos</b>
Não pozolânico	Menor que 0,4
Média pozolanicidade	Entre 0,4 e 1,2
Boa pozolanicidade	Maior que 1,2
Variação na condutividade elétrica (MS/cm aos 2 minutos do material ensaiado): <b>1,00</b> <b>Classificação do resíduo: MÉDIA POZOLANICIDADE</b>	

### 4.2 Ensaio no estado fresco

Neste item serão abordados os resultados no estado fresco, relativos aos ensaios de determinação de índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água.

#### 4.2.1 Determinação do índice de Consistência

A Tabela 4.2 apresenta a quantidade de água utilizada e o índice de consistência das argamassas produzidas de acordo com a porcentagem de incorporação de resíduo.

Tabela 4. 2 - Teor de água e Índice de consistência.

Incorporação de resíduo	Índice de Consistência - IC (mm)	Quantidade de água (g)
0%	281	315
	230	280
	265	300*
5%	253	300
	258	305*
	268	310
10%	261	310*
	268	315
	271	320
15%	260	350*
	250	330
	268	355
20%	262	355*
	270	360
	252	350
25%	262	350*
	270	360
	267	355
30%	265	350*
	270	360
	268	355

\*Quantidade utilizada seguindo os requisitos da NBR 13276/2005

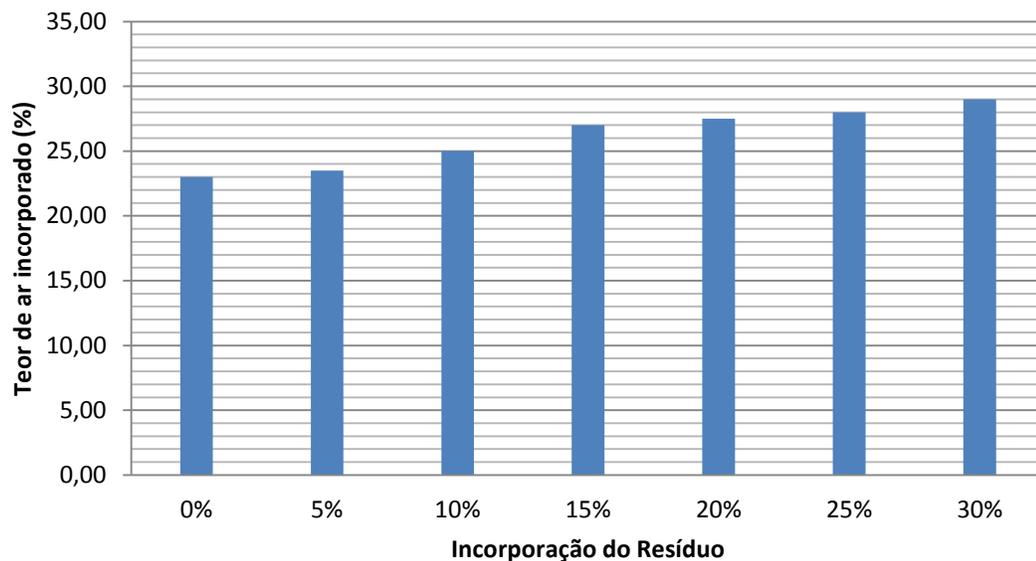
Os valores encontrados de índice de consistência foram obtidos com a média das medidas de diâmetros ortogonais na mesa de consistência em cada traço estudado (indicados na tabela 4.1 com \*). Conforme já mencionado no capítulo anterior; para atingir estes valores, foram realizadas diversas tentativas, para que a consistência fosse fixada como correspondente a um diâmetro em  $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  (entre 255 e 265). Este valor foi estipulado tendo em vista a prática de utilização das argamassas, em função da sua facilidade de aplicação ou seja, sua aplicabilidade.

Pode-se observar que a quantidade de água nos traços estudados aumentou a medida do aumento da incorporação, este aumento foi necessário para manter a trabalhabilidade e uma consistência que possibilite sua aplicação. Entretanto em porcentagens de incorporação maiores foi observado uma dificuldade em manter esse

padrão pois a argamassa torna-se muito trabalhável, o que em casos de aplicação prática a tornaria inviável.

#### 4.2.2 Teor de ar incorporado

A Figura 4.1 apresenta os resultados do teor de ar incorporado em todas as argamassas estudadas.



**Figura 4. 1– Teor de ar incorporado nos diferentes níveis de incorporação estudados.**

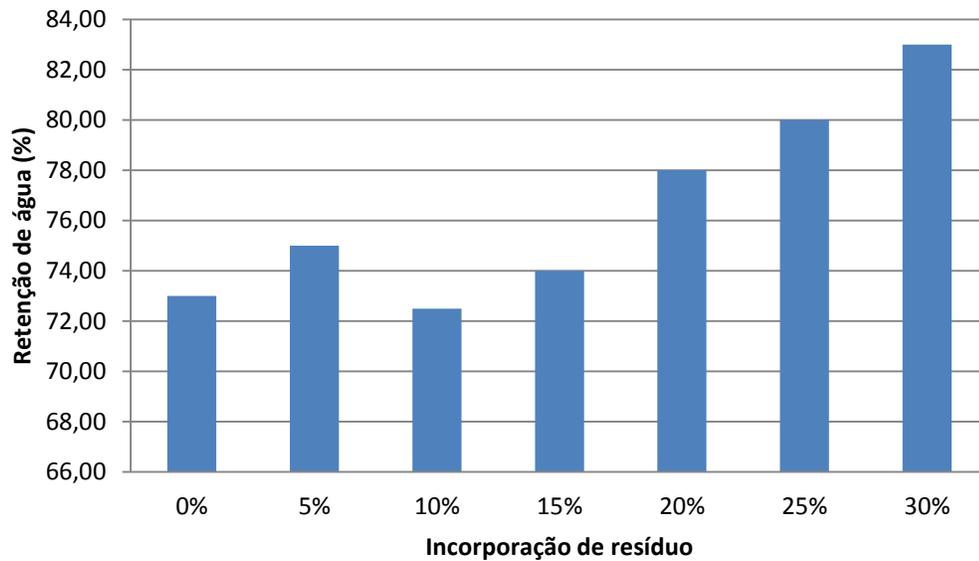
A argamassa produzida com cal hidratada e sem resíduo apresentou teor de ar incorporado menor do que as argamassas produzidas com resíduo em todas as proporções analisadas, de acordo com a Figura 4.1, entretanto todas são superiores aos padrões de referência utilizados nos limites propostos pela ABCP.

O teor de ar incorporado e a massa específica são propriedades no estado fresco das argamassas inversamente proporcionais, ou seja, com aumento da densidade, há uma diminuição dos vazios da matriz, ocasionando um menor teor de ar incorporado (MATTOS, 2001).

Com a substituição parcial da cal hidratada pelo resíduo, aumentando o teor de ar incorporado, houve diminuição da resistência à tração e à compressão, como pode ser verificada a frente.

### 4.2.3 Retenção de água

A Figura 4.2 apresenta os resultados da retenção de água em todas as argamassas estudadas.



**Figura 4. 2– Retenção de água nos diferentes níveis de incorporação estudados.**

Pode-se verificar um aumento da retenção de água com o aumento dos níveis de incorporação, este resultado ficou bastante significativo quando observados conjuntamente com o ensaio de consistência da argamassa.

### 4.3 Ensaios no estado endurecido

Neste item serão abordados os resultados no estado endurecido, relativos aos ensaios de resistência a tração na flexão, resistência a compressão, absorção por capilaridade, índice de vazios, absorção de água e densidade de massa no estado endurecido.

#### 4.3.1 Resistência à tração na flexão

O ensaio para determinar a resistência a tração na flexão foi realizado em corpos de prova prismáticos, com dimensões 4cm x 4cm x 16cm, na idade de 7, 14 e 28 dias. Os resultados médios de todos os traços são mostrados na Figura 4.3.

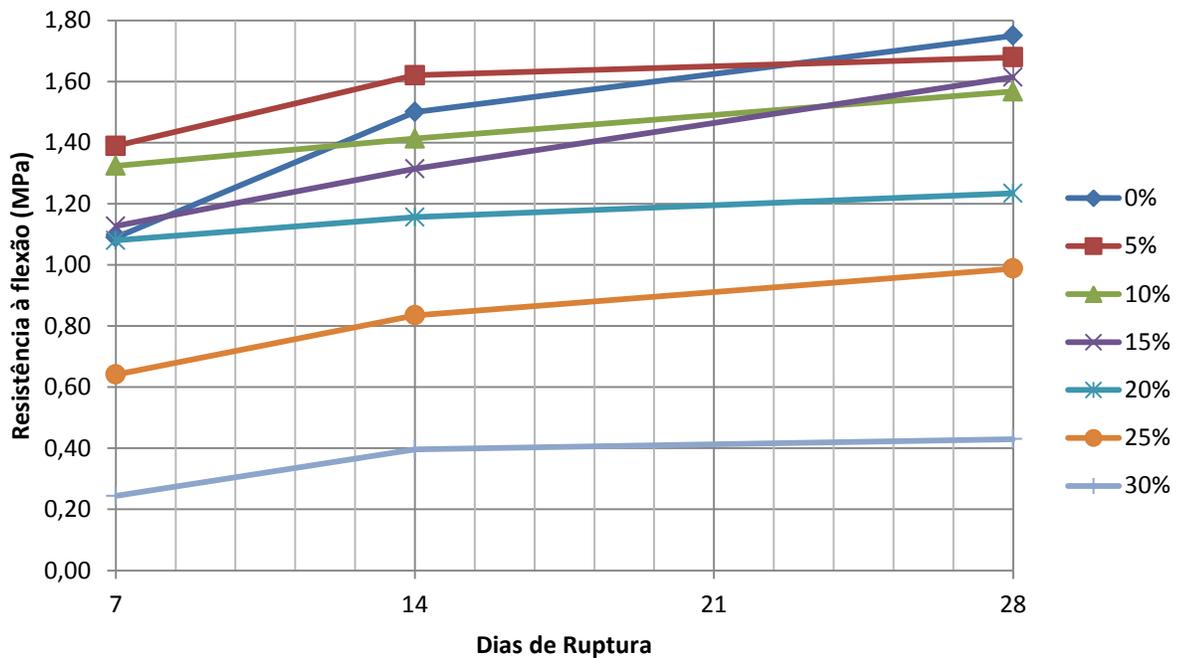
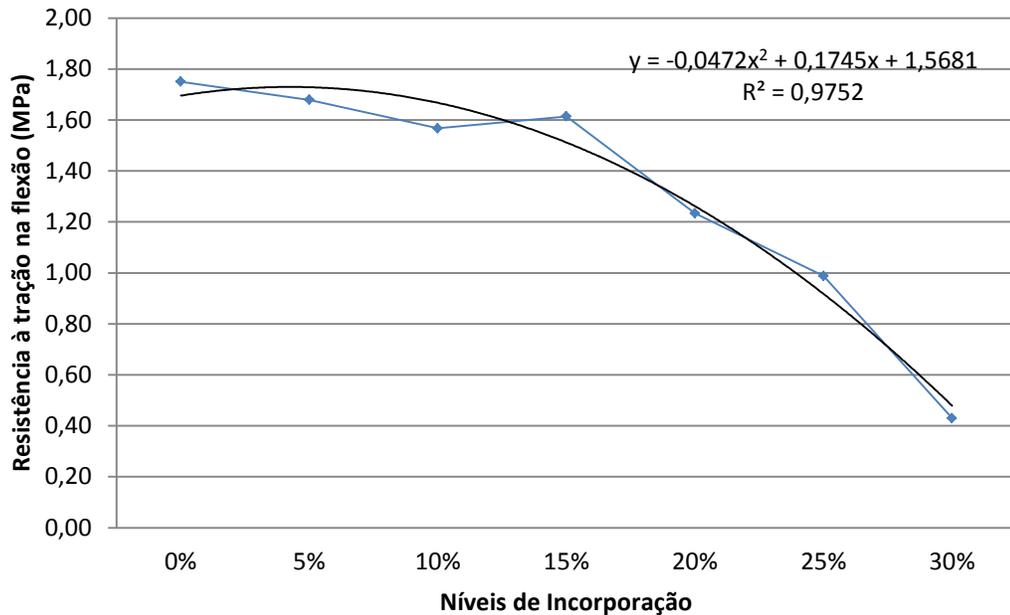


Figura 4. 3– Resultados médios dos ensaios de resistência à tração na flexão.

Com os resultados encontrados nos diversos dias de ruptura, verificados na Figura 4.3, pode-se analisar os valores encontrados aos 28 dias de ruptura, observados na Figura 4.4, com o respectivo ajuste polinomial.



**Figura 4. 4 – Resultados da resistência à tração na flexão aos 28 dias.**

Com os dados analisados na Figura 4.4 podemos afirmar que as argamassas sofrem uma diminuição na sua resistência a tração na flexão ao longo da variação dos níveis de incorporação, excluindo-se aos 15%, onde foi verificado um aumento da resistência.

#### 4.3.2 Resistência à compressão

O ensaio para determinar a resistência a compressão foi realizado com as partes restantes do ensaios de flexão, formando cubos com dimensões 4cm x 4cm x 4cm, na idade de 7, 14 e 28 dias. Os resultados médios de todos os traços são mostrados na Figura 4.5.

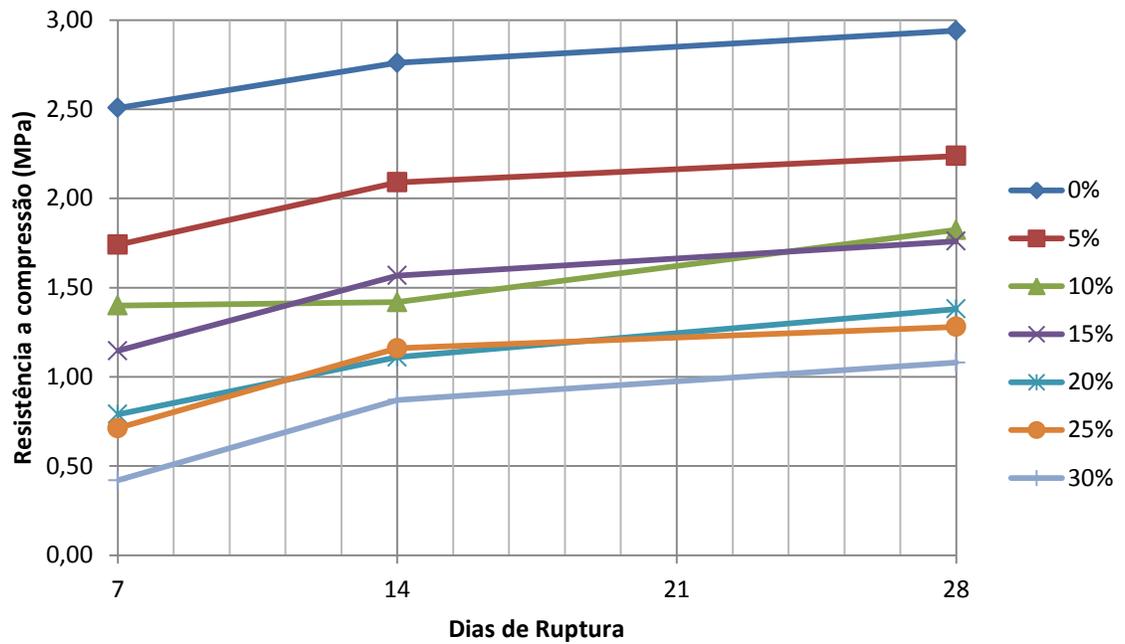


Figura 4. 5– Resultados médios dos ensaios de resistência à compressão.

Com os resultados encontrados nos diversos dias de ruptura, verificados na Figura 4.5, pode-se analisar os valores encontrados aos 28 dias, observados na Figura 4.6.

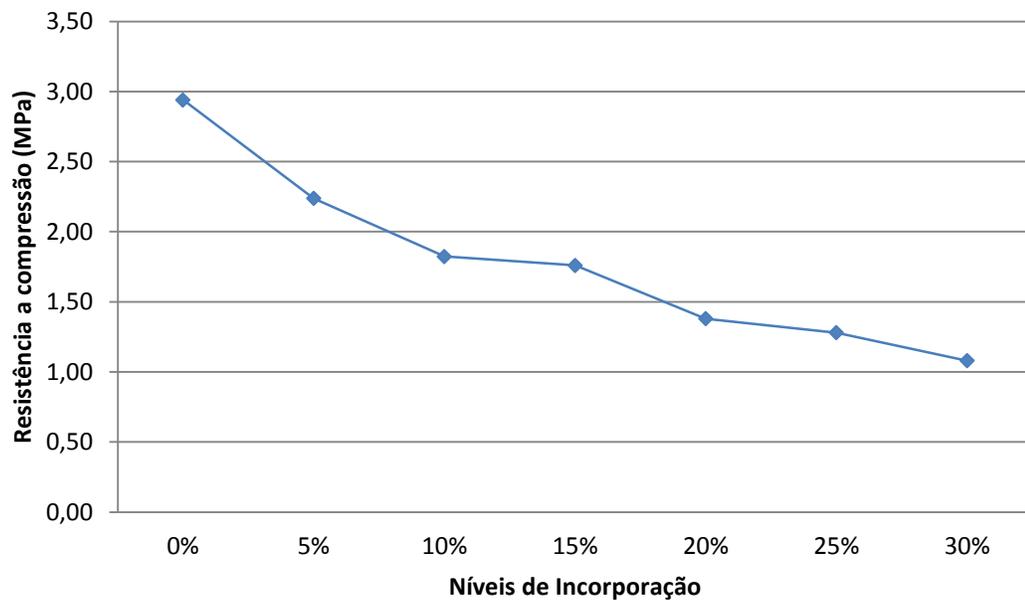
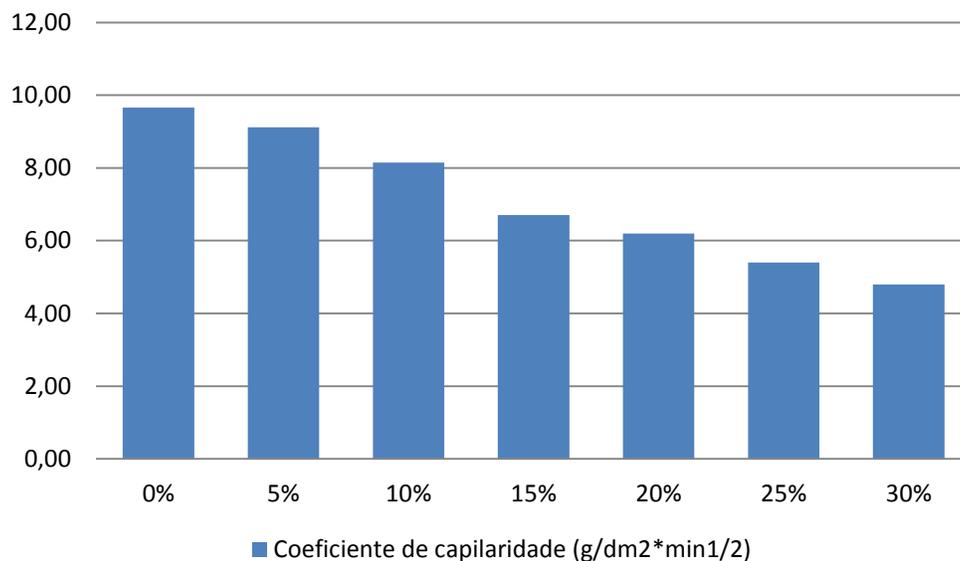


Figura 4. 6 – Resultados da resistência à compressão aos 28 dias.

Com os dados analisados na Figura 4.6 podemos afirmar que as argamassas sofrem uma diminuição na sua resistência a compressão ao longo da variação dos níveis de incorporação, entretanto esta queda mostra-se com uma tendência diferente daquela verificada na Figura 4.4, pois tem taxa de decaimento entre os níveis de incorporação superiores aos verificados na resistência à flexão.

#### 4.3.3 Absorção por capilaridade

Neste ensaio, os corpos de prova são colocados de maneira vertical em uma camada de água, com nível constante em 0,50 cm. Ficando em contato com a água a base (4cm x 4cm) e parte das paredes laterais. O ensaio foi realizado com corpos de prova após 28 dias de confecção. Na Figura 4.7 pode-se observar os resultados para os diferentes níveis de incorporação do coeficiente de capilaridade.



**Figura 4.7 – Coeficientes de capilaridade nos diferentes níveis de incorporação.**

Pode-se observar que com o aumento da incorporação do resíduo proveniente da indústria de papel o coeficiente de capilaridade aumentou, aumentando assim a ascensão capilar verificada nos corpos de prova, fruto da maior porosidade destes

compósitos. Na Tabela 4.3 podemos verificar outros parâmetros aferidos neste ensaio, como a absorção de água por capilaridade nos tempos de 10 min e 90 min.

**Tabela 4.3 – Parâmetros obtidos com o ensaio de absorção de água por capilaridade**

Incorporação de resíduo	Parâmetros de absorção de água por capilaridade			
	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	C (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Desvio padrão
0%	0.40	1.00	9.66	2.64
5%	0.40	0.97	9.12	2.18
10%	0.54	1.48	8.15	1.02
15%	0.23	0.65	6.70	5.05
20%	0.62	1.68	6.20	2.20
25%	0.71	1.88	5.40	1.88
30%	0.94	2.10	4.80	1.04
A <sub>10</sub>	Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos			
A <sub>90</sub>	Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos			
C	Coeficiente de capilaridade			

#### 4.3.4 Absorção de água e índice de vazios

A absorção de água é uma importante propriedade a ser verificada nos compósitos estudados, pois tem referência direta com a resistência e durabilidade dos mesmos, os resultados da absorção de água e do índice de vazios, ambos em porcentagens, podem ser analisados na Tabela 4.4.

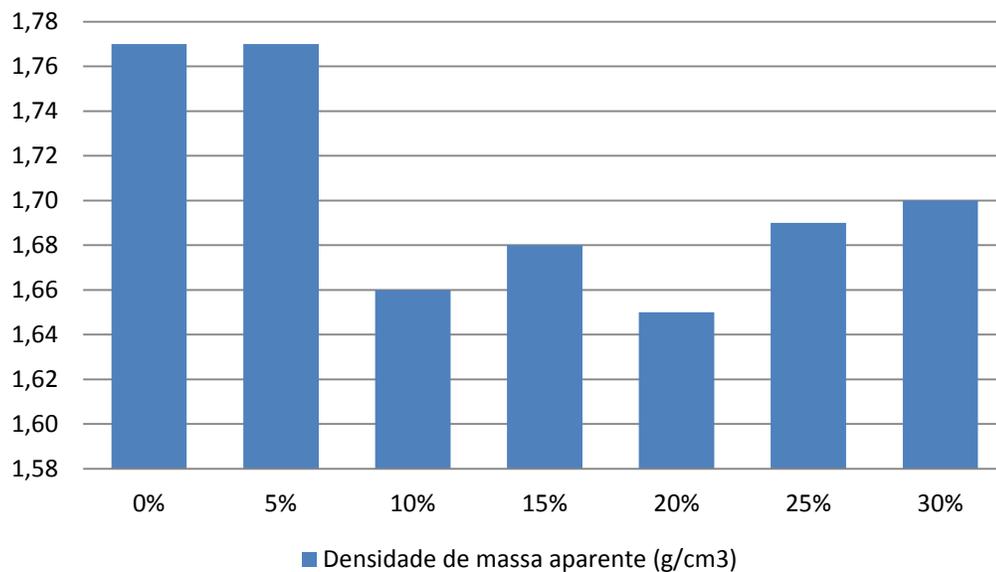
**Tabela 4.4 – Absorção de água e índice de vazios das argamassas estudadas.**

Incorporação de resíduo	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
0%	20.00	30.10
5%	17.73	30.53
10%	17.50	23.66
15%	21.63	31.20
20%	22.16	33.90
25%	23.70	35.90
30%	22.70	34.10

Podemos verificar com os resultados da Tabela 4.4 que a absorção de água manteve-se estável nos corpos de prova, nos diferentes níveis de incorporação, assim como o índice de vazios, apesar de uma queda ser verificada aos 10%, todos os resultados encontram-se dentro de uma faixa permitida pelas normas brasileiras.

#### 4.3.5 Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa aparente no estado endurecido foi aferida com medições e pesagem do corpo de prova, após 28 dias de moldagem, os respectivos resultados encontram-se na Figura 4.8.



**Figura 4. 8 – Resultados da densidade de massa aparente no estado endurecido.**

Pode-se observar uma queda na densidade de massa aparente nos diferentes níveis de incorporação, este fato deve-se ao comportamento do resíduo após seu processo de cura com os demais materiais constituintes deste compósito.

#### 4.3.6 Classificação das argamassas.

Segundo a NBR 13281/2005 podemos classificar argamassas segundo algumas faixas, de acordo algumas de suas propriedades, conforme pode ser verificado nas Tabelas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10..

**Tabela 4. 5 – Classificação de argamassas quanto a resistência a compressão (Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>
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

**Tabela 4. 6 – Classificação de argamassas quanto à resistência atração na flexão (Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Resistência à tração na flexão (MPa)</b>
R1	≤ 1,5
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	> 3,5

**Tabela 4. 7 – Classificação de argamassas quanto densidade de massa no estado endurecido  
(Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Densidade de massa estado endurecido (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
M1	≤ 1200,0
M2	1000,0 a 1400,0
M3	1200,0 a 1600,0
M4	1400,0 a 1800,0
M5	1600,0 a 2000,0
M6	> 1800,0

**Tabela 4. 8 – Classificação de argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade (Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Coeficiente de Capilaridade (g/dm<sup>3</sup>*min/2)</b>
C1	≤ 1,5
C2	1,0 a 2,0
C3	1,5 a 2,7
C4	3,0 a 7,0
C5	5,0 a 12,0
C6	> 10,0

**Tabela 4. 9 – Classificação de argamassas quanto a densidade de massa no estado fresco (Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Coeficiente de Capilaridade (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
D1	≤ 1400
D2	1200 a 1600
D3	1400 a 1800
D4	1600 a 2000
D5	1800 a 2200
D6	>2000

**Tabela 4. 10 – Classificação de argamassas quanto à retenção de água (Fonte: NBR 13281/2005)**

<b>Classe</b>	<b>Coefficiente de Capilaridade (g/dm<sup>3</sup>*min/2)</b>
U1	≤ 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

Após análise dos dados encontrados nos resultados dos ensaios e comparando-os com os estipulados pela NBR 13281/2005 podemos classificar as argamassas, conforme visto na Tabela 4.11.

Tabela 4. 11 – Classificação das argamassas segunda a NBR 13281/2005.

Ensaio	0%		5%		10%		15%		20%		25%		30%	
	Resultado	Classificação												
Resistência à compressão*	2,94	P3	2,24	P2	1,82	P1	1,76	P1	1,38	P1	1,28	P1	1,08	P1
Resistência à tração na flexão*	1,75	R3	1,68	R2	1,57	R2	1,61	R2	1,23	R1	0,99	R1	0,43	R1
Densidade de massa no estado endurecido	177	M5	177	M5	166	M4	168	M4	165	M4	169	M4	170	M5
Coefficiente de capilaridade	9,66	C5	9,12	C5	8,15	C5	6,7	C5	6,2	C5	5,4	C4	4,8	C4
Retenção de água	73,0	U2	75,0	U2	72,5	U1	74,0	U2	78,0	U2	80,0	U2	83,0	U2
Densidade de massa no estado fresco	1800	D5	1900	D5	1950	D5	2100	D5	2000	D5	2120	D5	2140	D5

\*Resistência aso 28 dias.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

Com os resultados encontrados neste trabalho, nos diferentes níveis de incorporação, pode-se verificar a existência de viabilidade na incorporação do resíduo proveniente da indústria de papel na confecção de argamassas de múltiplo-uso, entretanto verificou-se que alguns níveis de incorporação, embora atendam as especificações nas normas, não apresentam características adequadas quanto a sua utilização.

Podemos afirmar que os níveis a partir de 20% de incorporação na cal, produzem argamassas com muita trabalhabilidade, o que torna seu uso e confecção difícil, além de apresentar propriedades que podem influenciar na durabilidade do compósito.

O ensaio de condutividade elétrica também mostrou que o da indústria de papel não apresenta uma boa reatividade ao entrar em contato com  $\text{Ca(OH)}_2$ . Desse modo, concluiu-se que este constituinte pode fazer parte da matriz cimentícia apenas como material de preenchimento.

De acordo com a NBR 13749 (1996), as argamassas produzidas podem ser usadas para qualquer tipo de acabamento (teto, paredes internas ou externas).

O uso de resíduos sólidos em materiais de construção tem implicações diversas, o que motiva esta aplicação deste trabalho, como por exemplo:

- Dar um destino eficaz e eficiente para o descarte deste material, diferente do que ocorre agora, em que o mesmo tem destino variável.
- Proporcionar economia para as indústrias produtoras de papel, que atualmente tem que pagar para dar um destino a este resíduo, no caso da COPAPA já há estudos para incorporação em matérias cerâmicos.
- Economia no uso da cal hidratada nestes compósitos, além de ser uma questão econômica é uma questão ambiental, visto que o mesmo é de origem mineral.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Estudo do efeito do empacotamento dos grãos nas argamassas com resíduo;
- Estudo da durabilidade dos compósitos em condições de elevada agressividade;
- Estudo de metodologias de otimização de secagem do resíduo quando proveniente da planta de produção;
- Verificar a viabilidade de substituição incorporação no agregado miúdo e verificar o efeito desta modificação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Histórico do cimento brasileiro**. Disponível em: < <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland> > Acesso em 12dez. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Determinação de massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR 10006: **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. 2004.

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

\_\_\_\_\_. NBR 13276: **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13276: **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13278: **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13279: **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13280. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

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

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

\_\_\_\_\_. NBR 13529: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 15259. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 9935: **Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

AMORIM, L. V.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. Use of residential construction waste and residues from red ceramic industry in alternative mortars. *Journal of environmental engineering* © ASCE. v.129, n.10, out. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004

BAIA, L. L. M. e SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008. p.13-14.

BAIA, L. L. M. e SABBATINI, F. H. Projeto e execução de revestimento de argamassa. 4 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008. p.13-14.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção 1**. 5 Ed. Rio de Janeiro: Ed. LCT – Livros técnicos e Científicos S.A., v. 1, p. 471, 2008a.

BOLTSHAUSER, J. História da arquitetura. v. 1. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 1963.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose. **Publicação mensal de março de 2014** . Disponível em: < <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/34/>> Acesso em 29 jan. 2015.

Callister Jr., W.D. **Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução**, 7ª Edição, Ed. Guanabara. Rio de Janeiro. 2008. 350 p.

CARASEK, H.; OLIVEIRA, A.M.; ARAÚJO, J. Influência da maturação da cal hidratada na trabalhabilidade de argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, 7. Recife, SBTA, 2007.

CARDOSO, F. A. Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico, 2009. Tese (Doutorado) – EPUSP. São Paulo-SP.

CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. São Paulo, 1999. 170p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CHIN-TSON LIAW; HUI-LAN CHANG; WEN-CHING HSU; CHI-RU HUANG, **A novel method to reuse paper sludge and co-geration ashes from paper mill**, Journal of Hazardous Materials, 58 (1998), p.93-102.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

FARDIM, P. Papel e Química de Superfície – Parte I – A superfície da Fibra e a Química de Superfície – Parte I – A superfície da fibra e aquímica da parte úmida. **O Papel – Ano LXIII – nº 4**, 2002, p. 97- 107

FREITAS, J. M. C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento**. Belo Horizonte, 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Governo do Estado do Paraná. **Relatório do Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense 1999** . Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=39>> Acesso em 15 jan. 2015.

GUIMARÃES J. E. P. A CAL- **Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2 ed. São Paulo: PINI, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística .**Anuário Estatístico do Brasil 2013** . Disponível em: < <http://loja.ibge.gov.br/anuario-estatistico-do-brasil-2013.html>> Acesso em 10 dez. 2014.

ISAIA, G. C. Materiais de construção Civil – Princípios de ciência e engenharia de materiais. Vol. 1. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2007.

KUAN, G.S.S.; BENAZZI, R.C.; BERGMAN, S. **Tecnologia de Fabricação do Papel**. V. II, IPT, São Paulo, 1988. p. 561-581.

L.A. MIRANDA, P.C.M.P. JUNIOR, R.C.S.S.ALVARENGA, A.G.S.A. CARVALHO, C.A.B. CARVALHO, D.P.FASSONI. Caracterização física de solo e resíduo da indústria de papel e celulose (gritts) para fabricação de tijolos de solo-cimento. V Encontro de Habitações Sustentáveis (2009)

LÉBEIS, V.D.L. **Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas**. 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

LUXAN, M.P.; MADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete research*. Vol.19, 1989, p. 63-68.

M.L. MARQUES, E.J. SILVA, F.G. VELASCO, C.C.M.F. JUNIOR. Potencialidade do uso de resíduos de celulose (dregs/gritts) como agregado em argamassas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 16 (2014), p. 423 – 431.

MARGALHA, M. G.; VEIGA, R. V.; BRITO, J. **Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea**. APFAC, 2<sup>o</sup> Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa – Portugal, 2007. Acesso em 19 dez. 2014 Disponível em: < [http://conservarcal.inec.pt/pdfs/GORETI\\_Areia\\_APFAC.pdf](http://conservarcal.inec.pt/pdfs/GORETI_Areia_APFAC.pdf).>

MATTOS, L. R. S. Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA. Porto Alegre, 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MELO, K., A.; ANDRADE, A. F. L.; LIRA, E. M.; FRANÇA, M. S.; QUEIROZ, M. M.; CARNEIRO, A. M. P. A influência do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia. In: 2<sup>o</sup> Congresso Nacional de

Argamassas de Construção – APFAC Lisboa 2007. Disponível em: [www.apfac.pt/congresso2007](http://www.apfac.pt/congresso2007). Acesso em 04/10/2010.

Neville, A. M., 1997, Propriedades do concreto, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p.

**NOLASCO, A.M. Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção civil.** Dissertação – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1993. 140 p.

OFICEMEN – Associação da Indústria cimenteira da Espanha. **Panorama do cimento no mundo** Disponível em: < <http://cimento.org/cimento-no-mundo> > Acesso em 09 dez. 2014.

PAIVA, S. C.; GOMES, E. A. O.; OLIVEIRA, R. A. Controle de qualidade da cal para argamassas – metodologias alternativas. Revista Ciências & Tecnologia. Universidade Católica de Pernambuco. v. 1, n.1, jul. – dez. 2007.

**Pereira, H.R.S, Valentina, L.V.O.D, Witmiszyn, L.** Alternativa para Desenvolvimento Sustentável: Incorporação de Resíduo de Fundição em Argamassas, Revista Espacios, 35 (2014), p.90-98

Pinheiro, R.M. Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). 2008, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

REDDY, B. V. V.; GUPTA, A. Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry. *Construction and Building Materials*, Volume 22, Issue 8, August 2008, Pages 1614-1623.

REGO, W. A. Caracterização física dos saibros na região metropolitana do Recife utilizados em argamassas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2008, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** São Paulo, 1989. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios. São Paulo, 1989. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SEWELL, G.H. **Administração e Controle de Qualidade Ambiental.** São Paulo. EPU, 1978. 295 p.

SILVA JUNIOR, W.S. Estudo para utilização de resíduo da fabricação de papel na construção rodoviária. São Paulo, 2010. 210p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SINAPI – Índice Nacional de Preços da Construção Civil **.Anuário 2013** . Disponível em: <  
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/sinapi/>> Acesso em 20 jan. 2015.

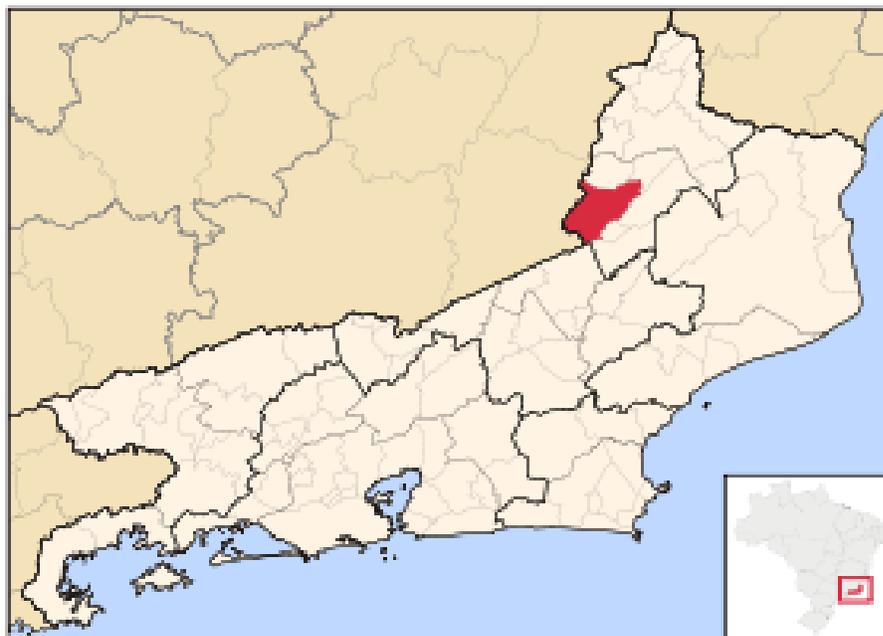
TRISTÃO, F. A. ET AL. **Uso de areia industrial de basalto em argamassas.** In: . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2005, Florianópolis. Anais em CD... Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2005.

VAZ, A.R.; VALENTE, C.A. **Lama do efluente de fábrica de celulose – algumas soluções para seu aproveitamento.** 22º Congresso Anual de Celulose e Papel. Anais, São Paulo, 1989. Vol. 1p.625-641

WATANABE, F. A. Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto. Joinville – Santa Catarina, 2004. 21 – 24 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

WESTPHAL, E. H. Argamassas. Florianópolis: UFSC. Disponível em [www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/argamassas](http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/argamassas). Acesso em novembro de 2010.

YOSHIDA, A. T., BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de Argamassas no Estado Fresco: Peculiaridades na Análise de Argamassas Industrializadas.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, GO, 1995, Anais, p.53-62

**ANEXO A**

**Mapa do posicionamento do município de Santo Antônio de Pádua**



**Vista Geral da COPAPA**

## ANEXO B

	<p><b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA</b></p> <p><b>CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL</b></p> <p>LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</p>
---	--

<b>CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO QUEIMADO E MOIDO.</b>			
CERTIFICADO Nº :	INTERESSADO: Pesquisa Científica: Afonso Rangel		
NATUREZA DO TRABALHO: Verificação de pozolanicidade do produto			
OBRA:			
MATERIAL: Resíduo de Papel			
FABRICAÇÃO: UENF, RJ.			DATA:
LOCAL DECOLETA :			DATA:
POZOLANICIDADE			
AMOSTRA	Condutividade (mS/cm)		Diferença de condutividade
	Inicial	Final	
1 – UENF	6,95	5,95	1,00

A diferença de condutividade resulta um índice de pozolanicidade dado pela relação abaixo:

- sem atividade pozolânica:  $< 0,4$  mS/cm;
- atividade pozolânica moderada:  $0,4 \leq \text{Condutividade} < 1,2$  mS/cm;
- boa atividade pozolânica:  $> 1,2$  mS/cm.