

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE  
ENGENHARIA CIVIL

LUIZ VIDAL VERÍSSIMO DE OLIVEIRA

**CONFECÇÃO E ANÁLISE DE ARGAMASSA PARA REBOCO COM UTILIZAÇÃO  
DE SACOS DE CIMENTO**

NATAL-RN

2020

LUIZ VIDAL VERÍSSIMO DE OLIVEIRA

**CONFECÇÃO E ANÁLISE DE ARGAMASSA PARA REBOCO COM UTILIZAÇÃO  
DE SACOS DE CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL-RN

2020

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN  
Setor de Processos Técnicos

Oliveira, Luiz Vidal Veríssimo de.

Confecção e análise de argamassa para reboco com utilização de sacos de cimento / Luiz Vidal Veríssimo de Oliveira. – Natal, 2020.  
76 f.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Argamassa – Monografia. 2. Resíduo – Monografia. 3. Kraft – Monografia. 4. Sustentabilidade – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

LUIZ VIDAL VERÍSSIMO DE OLIVEIRA

**CONFECÇÃO E ANÁLISE DE ARGAMASSA PARA REBOCO COM UTILIZAÇÃO  
DE SACOS DE CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Sérgio da Costa Pereira  
**Orientador**

---

Prof. Dr. Carlos Gomes de Moura  
**Membro avaliador interno**

---

Prof. Esp. Mário César Nogueira  
**Membro avaliador externo**

Dedico primeiramente este trabalho a Deus por conceder a oportunidade de estudar o que eu escolhi, em segundo e não menos importante aos meus pais que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para tal realização e a todos os familiares que se engajaram e ajudaram para minha formação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado um destino repleto de oportunidades e possibilidades de realizar meus sonhos, onde nada me faltou desde sempre.

Agradeço aos meus pais, Cláudio Henrique e Clébia Georgina, pela educação que me deram em casa, ensinando desde pequeno os princípios da ética e da moral, por sempre terem me orientado em todas as decisões que tomei e por nunca terem medido esforços pelos seus filhos.

Agradeço a minha namorada Emilly Gomes, por sempre ter me apoiado levantando minha moral e me dando ânimo para vencer cada semestre difícil da graduação.

Agradeço a minha irmã Natalia Veríssimo por ter me ajudado desde a escolha do curso até a formação, pois sem ela isso não seria possível e a minha irmã Maria Eduarda.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial minha avó materna Cléa Maria por tudo que fez por mim, aos meus avós paternos por sempre me incentivarem a ser um excelente profissional e por último mas não menos importante a minha tia materna Cleyane Galvão por ter me dado todo o carinho e acolhimento no meu primeiro ano de faculdade.

Agradeço a todos os meus amigos por proporcionar momentos descontraídos ao longo desses anos difíceis de Engenharia Civil.

Agradeço a todos os meus professores que sempre tiveram muito compromisso com seus alunos por todo o conhecimento que repassado.

## RESUMO

Muitos são os impactos gerados pela construção civil ao meio ambiente e todo incentivo em pesquisas que buscam minimizar tais impactos é importante. Tendo em vista essa problemática a ideia de sustentabilidades vem sendo introduzida na construção civil visando alternativas viáveis para redução desses impactos, e uma das ideias é propor a adição de resíduos na fabricação de materiais, fazendo-se necessário estudos da eficiência e viabilidade econômica. Este trabalho objetivou a utilização de sacos de cimento que seriam descartados como resíduos da construção civil (RCC) nas argamassas de reboco, em substituição de parte do agregado miúdo (a areia) e a análise experimental do desempenho dessas argamassas foi realizada nos laboratórios do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN). Foi avaliado a absorção partindo da NBR 9778, ABNT (2005), em seguida foi analisado o tempo de cura com auxílio da NBR 6118, ABNT (2014), por último o ensaio de resistência a compressão foi utilizada a NBR (5739), ABNT (2007), onde o resultado obtido da média dos corpos de provas rompidos foi de 23,03 MPa, a absorção média foi de 2,178% e a economia financeira para cada metro cubico de areia utilizada é de 10%. Avaliando positivamente os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Argamassa, resíduo, kraft, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

There are many impacts generated by civil construction on the environment and any incentive in research that seeks to minimize these impacts is important. Faced with this problem, the idea of sustainability was introduced in civil construction aiming at viable alternatives to reduce such impacts, and one of the ideas is to propose the addition of waste in the manufacture of materials, making studies of efficiency and economic viability necessary. This work's purpose is to use cement bags, which would be discarded as civil construction waste (CCW) in plastering, replacing part of the fine aggregate (sand) and the performance's experimental analysis of these mortars was made in the Centro Universitario do Rio Grande do Norte's (UNI-RN). It was evaluated the absorption beginning by NBR 9778, ABNT (2005), then the curing time was analyzed with the NBR's 6118, ABNT (2014), assistance, lastly the compressive strength was used the NBR (5739), ABNT (2007), which the outcome by the average of broken samples was 23.03 MPa, the average absorption was 2,178% and the economic savings for each sand cubic meter used was 10%. Concluding positively the result.

**Keywords:** Mortar, Waste, Kraft, Sustainabilit.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Resíduo de saco de cimento que iria ser descartado.....	17
<b>Figura 2–</b> Polpa obtidas após o processamento da embalagem do saco.....	17
<b>Figura 3 –</b> Massa gerada por resíduos de embalagens de cimento por ano.....	17
<b>Figura 4 –</b> Saco de cimento utilizado na confecção da argamassa. ....	20
<b>Figura 5 –</b> Agregado miúdo utilizado na confecção do traço. ....	21
<b>Figura 6 –</b> Molde utilizado para fabricação dos corpos de prova. ....	22
<b>Figura 7 -</b> Corpo de prova submerso no tanque com água.....	23
<b>Figura 8 –</b> Corpo de prova sendo pesado após 24h submerso. ....	23
<b>Figura 9 –</b> Corpo de prova pronto para ensaio na prensa hidráulica. ....	24
<b>Figura 10 -</b> Placas de concreto com assentamento de argamassa.....	25
<b>Figura 11-</b> Fluxograma simplificado do processo kraft.....	28
<b>Figura 12-</b> Digestor contínuo. ....	29
<b>Figura 13-</b> Efeito do teor de umidade na resistência à flexão. ....	34
<b>Figura 14 -</b> Efeito do teor de umidade na tenacidade .....	35
<b>Figura 15 -</b> Representação esquemática da decomposição de fibras em meio alcalino.....	37
<b>Figura 16 -</b> Diferentes alternativas de revestimento de parede.....	44
<b>Figura 17 -</b> Fatores que exercem influência na aderência de argamassa sobre bases porosas. ....	51
<b>Figura 18 -</b> Argamassa pronta no piso.....	55
<b>Figura 19 -</b> Corpos de prova moldados e secos. ....	55
<b>Figura 20 -</b> Prensa hidráulica. ....	56
<b>Figura 21 -</b> Corpos de prova imersos em água com cal. ....	56

<b>Figura 22</b> - Corpo de prova seco. ....	57
<b>Figura 23</b> - Corpo de prova saturado.....	58
<b>Figura 24</b> - Resistência à compressão de argamassa para assentamento.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.....	46
<b>Tabela 2</b> - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa de paredes (emboço e camada única), segundo a NBR 13749, ABNT (1996) .....	50
<b>Tabela 3</b> - Resultados da resistência a compressão dos CPS.....	59
<b>Tabela 4</b> - Resultados dos ensaios de absorção de água.....	61

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Porcentagem de absorção.....	22
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	18
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	19
4.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEU TRAÇO.....	20
4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO .....	21
4.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO .....	24
4.5 ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	25
<b>5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	25
5.1 PAPEL KRAFT.....	25
5.1.1 Tipo de papel kraft e sua utilização .....	25
5.1.2 Processo kraft ou sulfato .....	26
5.1.3 Reutilização de embalagens de cimento .....	29
5.2 COMPORTAMENTO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM ADÇÃO DE FIBRAS NATURAIS.....	30
5.2.1 Propiedades mecânicas .....	31
5.2.2 Características físicas .....	33
5.2.3 Durabilidade .....	36
5.3 ESTUDO DE COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA E CELULOSE .....	37
5.3.1 Compósitos de cimento potland e papel kraft multifoleado .....	37

<b>5.3.2 Compósito de cimento portland e outros tipos de pasta.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3.3 Compósito de cimento portland e outras fibras .....</b>	<b>41</b>
<b>5.4 ARGAMASSAS.....</b>	<b>42</b>
<b>5.4.1 Histórico das argamassas .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4.2 Argamassa de revestimento.....</b>	<b>43</b>
<b>5.4.3 Estrutura dos revestimentos .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.3.1 Substrato .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.3.2 Chapisco .....</b>	<b>45</b>
<b>5.4.3.3 Emboço .....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.3.4 Reboco .....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.3.5 Camada Única .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4.3.6 Revestimento de corativo (ou monocapa) – RDM.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO .....</b>	<b>47</b>
<b>5.5.1 Propriedades no estado fresco.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5.1.1 Trabalhabilidade.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5.1.2 Adesão inicial .....</b>	<b>48</b>
<b>5.5.1.3 Retenção de água.....</b>	<b>49</b>
<b>5.5.1.4 Massa específica e teor de ar incorporado .....</b>	<b>49</b>
<b>5.5.2 Propriedades no estado endurecido .....</b>	<b>50</b>
<b>5.5.2.1 Aderência.....</b>	<b>50</b>
<b>5.5.2.2 Capacidade de absorção e de formações .....</b>	<b>52</b>
<b>5.5.2.3 Retração.....</b>	<b>52</b>
<b>5.5.2.4 Resistência mecânica .....</b>	<b>52</b>
<b>5.5.2.5 Durabilidade .....</b>	<b>53</b>

<b>6 ESTUDO DE CASO</b> .....	54
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	54
6.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	56
6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	57
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	59
7.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	59
7.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	60
<b>8 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA DE REBOCO COM A UTILIZAÇÃO DE SACO DE CIMENTO</b> .....	62
<b>9 CONCLUSÃO</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos materiais mais utilizados pela construção civil são as argamassas que segundo a NBR 7200, ABNT (1998), sua composição é dada através de uma mistura homogênea de aglomerante, agregado miúdo e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. A areia natural lavada (o agregado miúdo) é utilizada nas argamassas comuns junto com o aglomerante cimento portland, na qual sua finalidade pode variar causando assim diferença em cada traço de argamassa.

A construção civil é responsável por gerar diversos rejeitos sólidos e as embalagens provenientes de sacos de cimento é um deles, causando poluição do meio ambiente quando não descartados de maneira correta e que segundo Santos e Carvalho (2011), é de suma importância que se desenvolvam práticas sustentáveis nesta área para que as quantidades de resíduos sólidos diminuam sem gerar impactos ambientais, como mostrado na (figura 3). Levando em consideração que essas embalagens são compostas de papel kraft provenientes de fibras de celulose e podem ser facilmente recicladas para serem reutilizadas, de acordo com a (figura 1).

Atualmente a conscientização de preservação do meio ambiente tem direcionado os estudos em busca de alternativas sustentáveis para diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil e de acordo com Dias (2017), as fibras vegetais tem sido objeto de estudo e despertado interesse em vários países pois podem ser utilizadas no lugar de fibras sintética, possuindo propriedades mecânicas úteis, pelas questões ambientais e sua abundância.

O referido trabalho busca fazer uma análise da adição de fibras na argamassa para reboco priorizando as questões ambientais, que de acordo com Martins e Soares (2016), este processo de adição do papel kraft na argamassa, não necessariamente será alcançado uma melhoria de suas propriedades, pois, o alcance de propriedades semelhantes das argamassas convencionais já é algo significativo, pois conseguimos assim reduzir rejeitos e conseqüentemente economia de material, através da reciclagem dessas embalagens. Pretende-se testar a argamassa para reboco com um teor de 10% de fibras e analisar os resultados obtidos através dos ensaios de laboratório, segundo a (figura 2).

**Figura 1** – Resíduo de saco de cimento que iria ser descartado



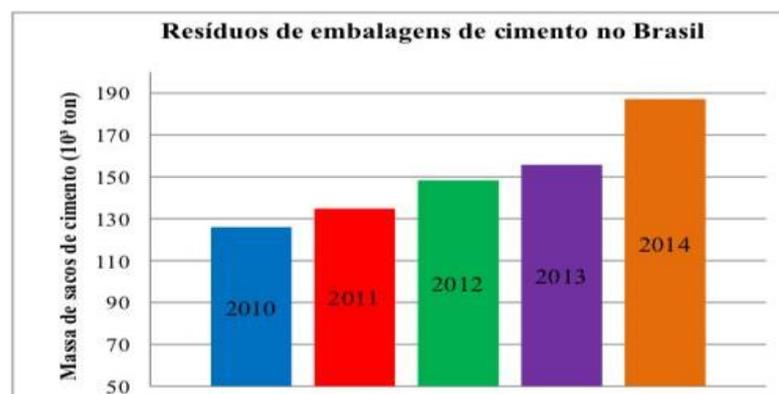
Fonte: Autor (2020).

**Figura 2** – Polpa obtidas após o processamento da embalagem do saco



Fonte: Autor (2020).

**Figura 3** – Massa gerada por resíduos de embalagens de cimento por ano



Fonte: Santos e Carvalho (2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

O referido trabalho tem base em bibliografias que desenvolveram estudos sobre argamassa com adição de papel kraft, classificando a argamassa produzida com rejeito oriundo da construção civil se é ou não adequada ao uso de revestimento interno e externo, através de ensaio de laboratório. O traço desta argamassa consistiu em reduzir a quantidade de areia normalmente utilizada e acrescentar 10% de fibras de papel kraft.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

O objetivo específico do trabalho foi analisar um traço de argamassa com utilização de papel kraft na substituição de parte da areia (agregado miúdo), e analisar através de dois ensaios, resistência a compressão e absorção de água, com o intuito de gerar menos resíduos da construção civil (RCC) e diminuir o uso de recurso natural na argamassa, dessa forma gerando economia financeira e de areia.

### **3. JUSTIFICATIVA**

Devido à grande quantidade de rejeitos gerados pela construção civil, sentiu-se a necessidade de dar uma destinação útil aos sacos de cimento utilizados em obras, produzindo uma argamassa com adição de saco de cimento em substituição de parte da composição de areia fina.

Contribuindo ainda de forma ecológica ao meio ambiente, uma vez que, destina o descarte dos sacos de cimento e reduz a areia, matéria proveniente da natureza.

## 4. METODOLOGIA

Nesta pesquisa foram realizados dois ensaios, nos quais consistem em ensaio de resistência a compressão e absorção d'água.

Os ensaios realizados demandaram os seguintes materiais, cimento Portland (CP II POZÔLANICO) de marca Poty, areia lavada de granulometria fina, água proveniente da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) e fibras do papel kraft.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Na fabricação dos corpos de prova foram utilizados cimento Portland classe 2 (dois), adequado para uso em ambientes agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas, como mostra a (figura 4).

**Figura 4** – Saco de cimento utilizado na confecção da argamassa



**Fonte:** Autor (2020).

Outro material utilizado foi a areia fina (o agregado miúdo), como mostra a (figura 5), que por sua vez é o mais indicado para reboco por fornecer uma superfície mais lisa, ou seja, menos poroso fator que agrega melhor acabamento. O peneiramento foi feito com tela de 2,4 mm.

**Figura 5** – Agregado miúdo utilizado na confecção do traço



Fonte: Autor (2020).

#### 4.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEU TRAÇO

No devido ensaio foram produzidos 15 (quinze) corpos de prova com o auxílio de moldes plásticos de dimensões (20cm de altura e 10cm de diâmetro), ilustrado na (figura 6), com as devidas quantidades de cada material a ser utilizado no traço. A fabricação da argamassa foi realizada manualmente no piso, com auxílio de uma enxada e uma colher de pedreiro. O traço que foi utilizado para a confecção dos corpos de prova foi em uma proporção de (1 kg de cimento CP II), (0,972 kg de areia fina), (0,108 kg de fibras de papel kraft) e (0,44 L de água).

**Figura 6** – Molde utilizado para fabricação dos corpos de prova



Fonte: Autor (2020).

#### 4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Após definir o traço foram confeccionados os corpos de prova, onde os mesmos foram pesados antes de serem submersos, e após 24 (vinte e quatro) horas de submersão no tanque contendo água, os mesmos foram retirados e pesados novamente para saber a porcentagem de absorção da argamassa, na qual foi feita uma comparação com o concreto que segundo a NBR 9778, ABNT (2005), não pode ultrapassar 10 (dez) por cento de absorção, seguindo a (Equação 1) tal processo está ilustrado nas (figuras 7 e 8).

#### **Equação 1** - Porcentagem de absorção

$$\frac{Msat - Ms}{Ms} \times 100$$

Msat = massa do corpo-de-prova saturado;

Ms= massa do corpo de prova seco.

**Figura 7 -** Corpo de prova submerso no tanque com água



Fonte: Autor (2020).

**Figura 8 -** Corpo de prova sendo pesado após 24h submerso



Fonte: Autor (2020).

#### 4.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Apesar de as argamassas para reboco não possuírem a finalidade de resistir aos esforços de compressão, não sendo exigido um valor para esse ensaio, o traço utilizado proporcionará boa resistência. Para sua execução seguiu-se a NBR 5739, ABNT (2007), e após os 28 (vinte e oito) dias de cura foi realizado o ensaio de compressão em todos os corpos de prova de dimensões (10cm x 20cm), onde foram postos na prensa hidráulica com leitor digital para se chegar a um resultado de resistência como mostra a (figura 9).

**Figura 9** – Corpo de prova pronto para ensaio na prensa hidráulica



Fonte: Autor (2020).

#### 4.5 APLICAÇÃO DE ARGAMASSA EM SUBSTRATO

Além da importância de impermeabilização, as argamassas precisam ter boa resistência a tração, onde segundo a NBR 13528, ABNT (2010), é estabelecido uma resistência de 0,3 MPa para parte externa e 0,2 MPa para partes internas, foi feito o reboco com a utilização da argamassa com adição de 10 (dez) por cento de fibras de papel kraft em placas de substrato de concreto, com dimensões de 35x35cm, como mostra a (figura 10), de tal forma podendo notar uma boa trabalhabilidade da argamassa, promovendo um bom acabamento na superfície aplicada.

**Figura 10** - Placas de concreto com assentamento de argamassa



**Fonte:** Autor (2020).

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 PAPEL KRAFT

Kraft – termo em alemão que significa *forte*, sendo utilizado para se referir ao papel de alta resistência mecânica, com elevada resistência à tração, ao rasgo e ao arrebitamento, tornando-lhe um dos tipos de papel mais procurado para a fabricação de embalagens e embrulhos.

Geralmente fabricados com pasta química sulfato branqueadas ou não, em gramaturas de 30 a 150g/m<sup>2</sup>, onde sua principal característica é a resistência mecânica elevada. Possuindo variedades distintas como kraft branco ou em cores (pasta branqueada, 30 a 150g/m<sup>2</sup>), kraft para sacos multifoliados (80 a 90g/m<sup>2</sup>, em geral extensíveis), entre outras categorias (ABTCP, 1994).

Para estas especificações faz-se necessário a utilização de celulose de fibra longa. As principais espécies utilizadas no Brasil são de Eucalyptus – fibras curtas e Pinus – fibras longas para a fabricação de pasta celulósica.

A espécie de madeira utilizada, influencia diretamente na qualidade e propriedade da polpa. Para papéis de embalagem pesada, como os de sacos de cimento, o ideal são polpas de fibras longas, visto que as mesmas proporcionam melhores propriedades de resistência mecânica, enquanto as polpas de fibras curtas possuem maior vantagem quanto a opacidade, como no caso de papéis de imprimir e escrever (ABTCP, 1994).

#### 5.1.1 Tipo de papel kraft e sua utilização

De acordo com Robert (2007), o kraft pode ser classificado em diversas categorias:

Kraft natural para sacos multifoliados: fabricado com pasta química sulfato não branqueada (fibra longa), normalmente com gramaturas entre 80 e 90g/m<sup>2</sup>. O kraft para sacos multifoliados, são altamente resistentes à tração e ao rasgo, possuindo ainda boa resistência ao estouro, sendo utilizados principalmente na produção de sacos e embalagens de grande porte;

Kraft natural ou em cores para outros fins: fabricado com pasta química sulfato, não branqueada (fibra longa), normalmente com gramatura entre 30 a

150g/m<sup>2</sup>, sendo monolúcido ou alisado, possuindo características de resistência mecânica semelhante ao do papel “kraft para sacos multifoliados”. São comumente usados na produção de sacos de pequeno porte, sacolas e embalagens em geral;

Kraft branco ou em cores: fabricado com pasta química sulfato branqueada (fibra longa), normalmente com gramatura entre 30 e 150g/m<sup>2</sup>, sendo monolúcido ou alisado, assim como o papel “kraft natural ou em cores”. Podendo ser usado em embalagens individuais de balas, com gramaturas mais baixas, sacos de açúcar e farinha, com folha externa em sacos multifoliados, entre outras embalagens;

Kraft de 1<sup>a</sup>: fabricado com aproximadamente 50% de pasta química, normalmente com gramatura maior que 40g/m<sup>2</sup>, sendo monolúcido ou não. O papel “kraft de 1<sup>a</sup>” se assemelha ao papel “kraft natural ou em cores”, porém com resistência mecânica inferior, podendo ser usado para fabricação de saquinho e etc.;

Kraft de 2<sup>a</sup>: fabricado normalmente com gramatura maior que 40g/m<sup>2</sup>, sendo semelhante ao “kraft de 1<sup>a</sup>”, porém apresenta menor resistência mecânica. O kraft de 2<sup>a</sup> pode ser monolúcido ou não, sendo usado para embrulhos e embalagens em geral.

### **5.1.2 Processo kraft ou sulfato**

O processo kraft ou sulfato foi desenvolvido em 1883 pelo químico alemão Karl Dahl, resultando da evolução do processo soda, cujo licor de cozimento utilizado é constituído por uma solução aquosa de NaOH e Na<sub>2</sub>S. O método tornou-se ainda o processo mais empregado em todo o mundo, por ter sido desenvolvido posteriormente um sistema de recuperação econômica dos reagentes e pela qualidade das fibras (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

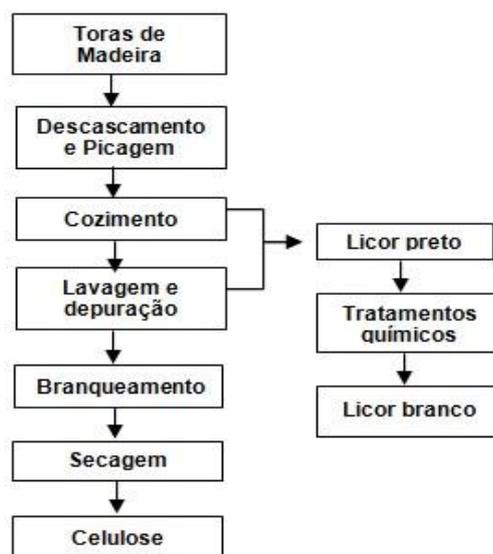
Esse método gera poucos resíduos, e possibilita de forma econômica a recuperação dos produtos químicos de um dos seus subprodutos, o licor negro, que pode ser reaproveitado, evitando desperdício de alguns agentes, reduzindo a poluição nos cursos d’água em que são lançados os efluentes da fábrica, tornando este processo ecologicamente correto (COSTA, 2000).

O processo kraft apresenta a madeira como matéria prima fibrosa mais importante, tendo ciclos de cozimento mais curto quando comparado ao processo de soda e sulfito, apresentando ainda polpa de alta resistência. Como principais desvantagens possui baixo rendimento obtido no processo, e os odores causados pelos compostos enxofre.

Na polpação química, a madeira passa por um processo de redução que resulta em uma massa fibrosa, sendo utilizados como reagentes no cozimento dos cavacos (toras de madeiras picadas) o NaOH, Na<sub>2</sub>S e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. O processo soda é similar ao processo sulfato, sendo seus processos apenas alcalinos, já o processo sulfito utiliza bissulfeto de cálcio e dióxido de enxofre (SHREVE e BRINK, 2008).

O fluxograma abaixo representa o processo kraft para obtenção de celulose de maneira simplificada na (Figura 11).

**Figura 11-** Fluxograma simplificado do processo kraft



**Fonte:** (DIAS Arvellos., 2016).

Como etapa inicial, o processo kraft consiste no corte das madeiras com tamanhos regulares, onde as cascas são removidas através do atrito, dentro de tambores rotativos, responsáveis pelo descascamento das toras, além disso, há também outros métodos viáveis, como, a utilização de jatos de água com alta pressão ( $\cong 95,2$  atm), e outro por meio de atrito mecânico (SHREVE e BRINK, 2008).

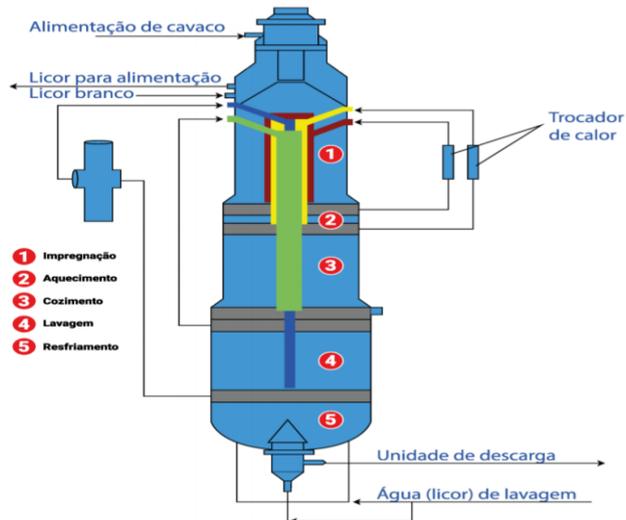
Na etapa seguinte, as toras passam por um picador para obtenção de pedaços menores de madeira, conhecidos como “cavacos”. De acordo com Piotto (2003), a utilização da madeira em forma de cavacos na produção de celulose via processo químico, fornecendo um cozimento uniforme, garantindo ao processo um melhor rendimento. Posteriormente, os cavacos são colocados em uma peneira, onde as frações são separadas em diferentes tamanhos, sendo as frações maiores postas

novamente no picador, e as mais finas, comumente utilizadas como combustível para as caldeiras.

De acordo com Shreve e Brink (2008), na fase de cozimento os cavacos são colocados em digestores contínuos, com taxa elevada de temperatura e pressão, onde passam por cozimento em uma solução de licor branco, contendo 12,5% de NaOH, Na<sub>2</sub>S e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Além disso, Piotto (2003), afirma que, esse licor branco fará a dissolução da lignina e parte das hemiceluloses, favorecendo a separação das fibras.

Na parte superior do digestor contínuo, (Figura 12), são colocados os cavacos e o licor branco, na sessão mediana do mesmo, é retirado o licor negro, que corresponde à parte da madeira que não foi dissolvida. O licor preto pode ser submetido a tratamentos químicos que permitirão sua volta aos digestores, agora na forma de licor branco, e na parte inferior é descarregada a pasta de celulose. De acordo com a CENIBRA (2016), a mistura permanece no digestor por aproximadamente 4 horas.

**Figura 12- Digestor contínuo**



Fonte: (MATOS, 2018).

Para se obter um padrão no controle de cozimento, é estabelecido um “número kappa” – medida que determina a qualidade da celulose –, que segundo a ABTCP (1994), quanto maior o número kappa, mais elevado o rendimento da produção, que se dá pela maior resistência intrínseca da polpa.

Ao ser retirada a pasta de celulose do digestor, a mesma contém resquícios de licor negro e fibras que ainda estão impregnadas com lignina, e segundo Piotto (2003), a lavagem com água quente tem como objetivo separar o licor negro das fibras, que se inicia no próprio digestor, sendo por meio de batelada ou contínuo. Além do mais, uma lavagem eficaz reduz a quantidade de alvejante que será utilizada na etapa de branqueamento, sendo realizado logo em seguida o processo de depuração – separação do material não processado –.

O branqueamento é responsável por remover a lignina remanescente que adere à polpa uma tonalidade escura. Segundo Piotto (2003), esse processo é realizado, geralmente, em até cinco etapas, utilizando agentes químicos como, ozônio, dióxido de cloro, peróxido, oxigênio e atualmente também se utiliza o ácido peracético, sendo o *Elemental Chlorine Free* - ECF (com uso de compostos de cloro) e o *Totally Chlorine Free* - TCF (não usa compostos à base de cloro), os principais métodos de branqueamento utilizados.

Ainda segundo Piotto (2003), o processo de secagem pode ocorrer de duas maneiras, sendo de forma bombeada para sua fabricação com consistência de aproximadamente 4% (fábricas integradas) e de forma prensada, onde depois é seca à vapor para posteriormente ser transportada (fábricas não integradas). Após a secagem das folhas, as mesmas são cortadas e embaladas em fardos.

### **5.1.3 Reutilização de embalagens de cimento**

A construção civil é responsável por gerar diversos rejeitos sólidos, e as embalagens pesadas, provenientes de sacos de cimento é um deles, causando grande impacto ao meio ambiente. Segundo dados coletados no relatório anual de 2013, do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), relacionado ao despacho por forma de apresentação, cerca de 66% do cimento é despachado em embalagens e 34% a granel, gerando altas taxas de resíduos sólidos, geralmente descartados de forma incorreta, influenciando diretamente na degradação ambiental.

De acordo com Buson (2009), após descarte, o papel kraft em si não é o principal responsável pelo impacto negativo gerado ao meio ambiente, pois o mesmo leva cerca de seis meses para se decompor, entretanto, os restos de cimento

presentes nas embalagens levam milhares de anos para se decompor, podendo contaminar o lençol freático e o solo.

Posteriormente a sua utilização a embalagem de cimento encontra-se contaminada, e mesmo sendo constituída por materiais que apresentam alta resistência física e mecânica, acaba não sendo utilizada pelas empresas de reciclagem de papel. A exemplo de Portugal, as embalagens são classificadas como tóxicas, sendo desaconselhado a coleta seletiva deste material. Contudo, os sacos de cimento apresentam grande potencial de reaproveitamento na produção de novos componentes para habitação, buscando melhoria das propriedades técnicas e econômicas dos mesmos, bem como a maior sustentabilidade ambiental e econômica do processo, minimizando ainda os impactos ambientais causados pelo mesmo (BUSON, 2009).

Segundo trabalho realizado por Raad *et. al* (2012), as fibras moídas das embalagens de sacos de cimento podem ser utilizadas na substituição de fibras poliméricas em mantas asfálticas constituídas por aglomerantes betuminosos, sendo utilizadas para impermeabilização. Os resultados experimentais de permeabilidade obtidos no referido trabalho, não apontaram infiltração pelo processo utilizado, se mostrando satisfatórios nos testes de estanqueidade e curvatura mínima, confirmando que o processo utilizado é uma alternativa viável nos processos de impermeabilização da construção civil.

## 5.2 COMPORTAMENTO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM ADIÇÃO DE FIBRAS NATURAIS

Entre a grande diversidade de materiais existentes na construção civil, os compósitos são comumente usados nesse ramo, sendo constituídos por dois ou mais componentes, que juntos, tem o objetivo de melhorar a qualidade do material, seja ela física, mecânica ou química. Sua composição inclui uma fase matriz polimérica, cerâmica e metálica e uma fase dispersa, sendo essa geralmente de fibras (PEREIRA, 2002).

A fase *dispersa* terá influência quanto ao comportamento do compósito a qual será inserida, e cada tipo de material reage de forma diferente, quando adicionados a matriz, como no caso das fibras, já que as mesmas possuem tipos e características variadas. (PEREIRA, 2002).

Uma gama de estudos e análises podem constatar a importância de determinar uma boa escolha da fase dispersa a ser utilizada. Desta forma, serão apresentadas algumas propriedades que podem ser afetadas pela adição de algum tipo de fibra.

### **5.2.1 Propriedades mecânicas**

A aderência do papel na fase dispersa-matriz, é uma de suas principais características, determinando seu comportamento quando adicionado ao compósito, que visa garantir uma melhor transferência de tensão entre as duas fases, enquanto auxilia na maior interação entre as mesmas. (CARVALHO e SANTOS, 2011).

Segundo Mahmoud (2005), alguns fatores influenciam a aderência do papel, como a composição da matriz, a simetria e tipo das fibras, o processo de preparo do compósito, e demais fatores. A interação que ocorre entre as fases, se dá pela combinação mecânica, e aderência física molecular e química, onde ocorrem conjuntamente.

A conexão entre o cimento e as fibras, dependerá do quanto a mistura da matriz irá penetrar nos poros e canais das fibras, sendo esse evento sujeito a ser influenciado pelo tamanho das mesmas. Bentur et. al (1995), relata que o tamanho da seção influencia substancialmente na microestrutura da interface matriz-fibra. As partículas de cimento e os hidratos não conseguirão penetrar as fibras do papel caso as mesmas apresentem diâmetro igual ou inferior à das partículas de cimento ( $\leq 70 \mu\text{m}$ ), pois a microestrutura da interface se apresentará de forma mais densa e não muito diferente da estrutura da matriz.

Entende-se com isso que, as fibras de papel com diâmetro superior ao das partículas de cimento, apresentarão microestrutura de interface semelhante à da zona de transição agregados-cimento nos concretos, havendo assim, uma maior penetração da mistura da matriz nos canais e poros das fibras (BENTUR et al, 1995).

A lignina, que constitui as fibras vegetais, não possui grande compatibilidade química com o cimento, portanto, quando se encontra presente em altas quantidades, a mesma reduz a ligação entre a matriz e as fibras, fazendo com que a resistência também seja diminuída. (BLANKENHORN et al., 1999).

A quantidade de lignina presente na interface fibra-matriz pode ser diminuída a partir do tratamento das fibras, onde são previamente preparadas causando uma alteração entre elas e a alcalinidade do ambiente em que se encontra a matriz, sendo esse processo responsável por limpar a superfície da fibra e retirar a camada mais superficial de lignina. O tratamento das fibras faz com que haja um aumento na compatibilidade das mesmas com o cimento, melhorando ainda a aderência entre as fases. (MAHMOUD, 2005). Segundo Blankenhorn et al. (1999), esse processo é ainda capaz de diminuir a capacidade de absorção de água das fibras.

Outra propriedade relacionada as fibras consiste no seu aspecto, relação entre diâmetro e comprimento, sendo as fibras com comprimento médio, entre 1 e 2 mm (um e dois mm) consideradas as melhores, já que, de acordo com Savastano (2000), as fibras curtas são mais facilmente retiradas da fase matriz quando necessária. Como o nível de tensão para retirada das fibras é proporcional ao seu tamanho, as fibras de comprimentos maiores receberão maior tensão, podendo essa ser superior a sua resistência, levando ao rompimento das mesmas.

O módulo de elasticidade da fibra contribuirá na resistência à tração da matriz cimentícia, aumentando ainda sua capacidade de absorver as deformações impostas. Carvalho e Santos (2011) afirmam que, as fibras médias apresentam melhor desempenho neste quesito, por possuírem elevada resistência à tração e baixo módulo de elasticidade.

Blankenhorn et al. (1999), observou que a resistência à flexão e a tenacidade de fibras de papel reciclado em compósitos são melhores que a do cimento puro, sendo verificado o aumento do módulo de elasticidade com os ciclos de congelamento e descongelamento. Entretanto, com o aumento da umidade, a resistência à flexão das fibras de papel só reduzidas.

O comprimento das fibras de reforço está relacionado a tenacidade a fratura, pois a tensão é transmitida da matriz para a fibra. Entretanto, pode ocorrer descolamentos na interface e a fibra sair da matriz, podendo favorecer a formação de fraturas (SAVASTANO, 2000).

### 5.2.2 Características físicas

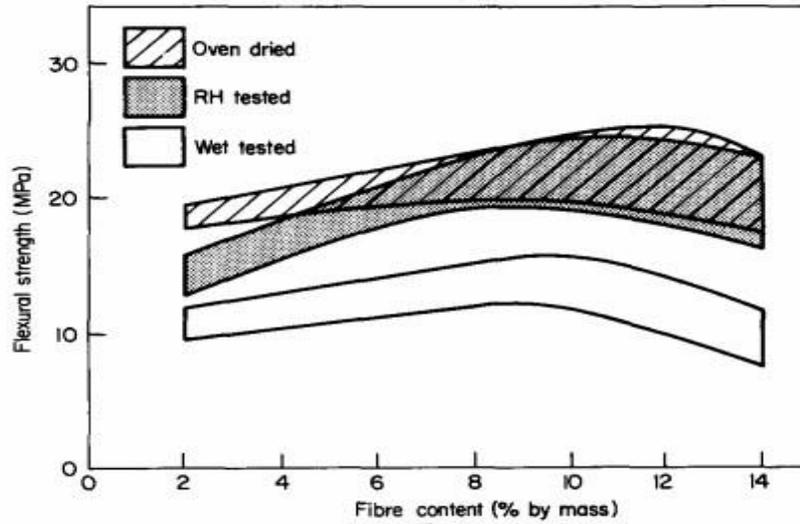
Dentre as diversas propriedades presentes na argamassa, podemos citar a sua absorção por capilaridade, que consiste na capacidade de sucção do sistema de poros e capilares que a constituem. A habilidade individual de absorção de cada material presente na argamassa, a configuração dos poros, e maiores relações entre a água e os materiais secos, interferem diretamente na propriedade de absorção da argamassa, podendo essa ter seu valor elevado por alterações na porosidade, relacionadas ao maior valor entre as relações água-materiais secos. (CARVALHO e SANTOS, 2011).

A incidência dos poros permeáveis nas fibras depende dos lúmens (cavidades presentes dentro das células das fibras vegetais), e das lacunas (cavidades que se localizam entre as células das fibras). Segundo Savastano (2000), além de interferir na quantidade de poros presentes nas fibras, as lacunas e os lúmens acarretam o aumento da capacidade de absorção de água.

De acordo com o American Concrete Institute - ACI (1996), estudos evidenciam que o elevado teor de umidade enfraquece a ligação fibra-matriz, estimulando o arrancamento da fibra, ao invés da ruptura nas fissuras, causando ainda o enfraquecimento da resistência à flexão. Entretanto, a energia de fricção que se obtém durante o arrancamento das fibras, tende a elevar a tenacidade à fratura do compósito.

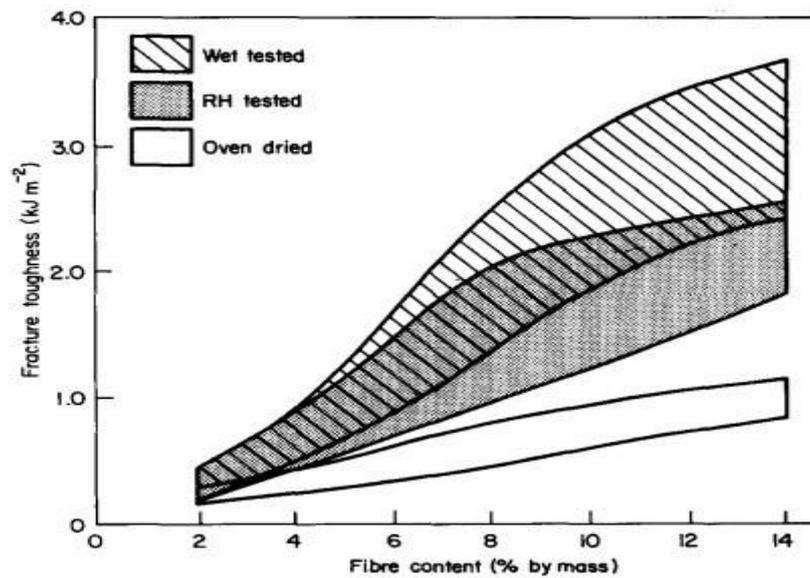
Coutts (1984) estudou diversas propriedades do cimento reforçado com fibra de papel kraft, entre elas, a umidade presente nesse compósito. A seguir, nas (figura 13) e (figura 14), foram comparados os valores de resistência à flexão (flexural strength) e tenacidade (fracture toughness) do cimento reforçado com diferentes teores de polpa kraft, sendo testados em condições úmidas (wet tested), secas em estufa (oven dried), e ambiente com atmosfera controlado com 50% de umidade relativa (RH tested).

**Figura 13** - Efeito do teor de umidade na resistência à flexão



Fonte: (COUTTS, 1984).

**Figura 14** - Efeito do teor de umidade na tenacidade



Fonte: (COUTTS, 1984).

Mediante (Figura 13), nota-se que o aumento no teor de umidade faz com que haja uma redução na resistência à flexão de cimentos reforçados com fibras naturais. Na (Figura 14), verifica-se que, um maior teor de umidade gera um aumento na tenacidade dos compósitos (COUTTS, 1984).

Alguns aspectos importantes das fibras de celulose, quando adicionadas ao compósito, fazem com que o tempo de pega do cimento seja retardado, pela presença de hemicelulose, açúcares e alguns fenóis encontrados nas fibras do papel. Savastano (2000) relata que, a presença de substâncias ácidas liberadas pelas fibras em solução aquosa também são fatores contribuintes para esse aspecto.

Segundo Peruzzi (2002), uma terceira propriedade presente nas fibras do papel, seria a sua capacidade de dispersão, estando relacionada com o número de fibras presente na matriz, afirmando ainda que, quanto maior a quantidade de fibras presente na matriz, menor será sua capacidade de dispersão, provocando assim, a redução da trabalhabilidade.

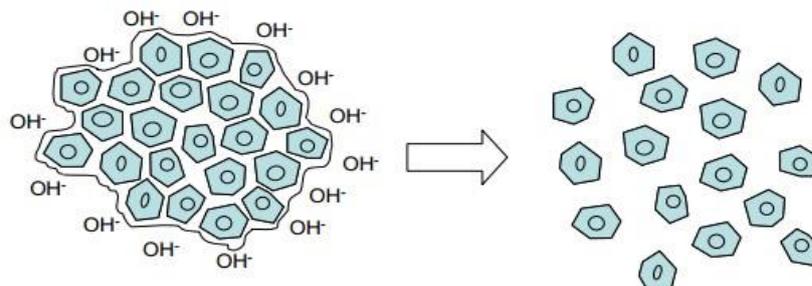
### 5.2.3 Durabilidade

A durabilidade da argamassa reforçada com fibras naturais está relacionada com a capacidade de resistir a ações externas, como variações de temperatura e umidade, o ataque de sulfato e de cloreto; resistir a ações internas, como por exemplo, a compatibilidade matriz-fibras (WOODHEAD PUBLISHING SERIES IN TEXTILES, 2011).

As fibras naturais possuem em sua composição uma grande parcela de lignina e hemicelulose, que por sua vez são afetadas pelo grau de alcalinidade do meio (SAVASTANO, 2000). Assim, fibras naturais imersas em cimento Portland, um ambiente alcalino, se degradam ao dissolver as fases de lignina e hemicelulose, e devido ao efeito da deposição e cristalização de produtos de hidratação nos vazios das fibras. (WOODHEAD PUBLISHING SERIES IN TEXTILES, 2011).

De acordo com Gram (1988), a degradação da celulose em meio alcalino, ilustrado na (Figura 15), inicialmente ocorre por a um fenômeno chamado "*peeling-off*", que ataca as extremidades das cadeias moleculares, onde as mesmas possuem grupos redutores que reagem com os íons  $\text{OH}^-$  da solução básica. Conduzindo a formação de ácidos, como o  $\text{CH}_2\text{OH}$ , que se separam da cadeia molecular. Um segundo fenômeno é a hidrólise alcalina, que resulta na divisão da cadeia molecular, e por consequência reduz o grau de polimerização.

**Figura 15** - Representação esquemática da decomposição de fibras em meio alcalino



**Fonte:** (GRAM, 1988).

Segundo (SAVASTANO, 2000), foi possível verificar que polpas com menores valores kappa, possuem uma capacidade de melhor resistir à agressividade da matriz e possuem boa durabilidade em meios alcalinos. De tal maneira, a polpa kraft apresenta melhores características de durabilidade do que outras fibras naturais, pelo fato de possuir uma menor quantidade de lignina (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1996).

Diversos métodos para prolongar a vida útil das fibras foram por fim propostos a exemplo de tratamento prévio das fibras, a redução da alcalinidade da pasta do cimento, obtendo-se o ultimo com a adição de minerais (GRAM, 1983).

### 5.3 ESTUDO DE COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA E CELULOSE

Com o decorrer dos anos, é possível notar que as pesquisas sobre compósitos cimentícios com adição de fibras naturais e artificiais vem crescendo. Savastano (2000) relata que o estudo das possibilidades de utilização de fibras como reforço de matrizes teve início na Inglaterra no ano de 1970, chegando ao Brasil 10 (dez) anos depois, em 1980, com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) da Bahia.

#### 5.3.1 Compósitos de cimento potland e papel kraft multifoliado

No que se refere aos estudos de compósitos com acréscimo de papel kraft multifoliado, nota-se que existem poucas pesquisas na área, devido a este fato, foi encontrado um número pequeno de trabalhos nacionais.

Carvalho e Santos (2011), propuseram um estudo correspondente ao uso de fibras de papel kraft, usados nas embalagens de cimento e de cal na confecção de argamassas para assentamento. O compósito produzido no estudo proposto, era composto por cal, cimento e água, sendo acrescentado posteriormente quatro diferentes teores da polpa da fibra, obtida com a agitação dos sacos dentro de água potável até a dispersão das mesmas.

O estudo realizado por Carvalho e Santos (2011) foi submetido a duas etapas de testes, realizadas em laboratório e canteiros de obras. Na etapa de laboratório, as argamassas foram estudadas em estado fresco e endurecido, passando por ensaios para determinação de absorção de água por capilaridade, variação dimensional, resistência mecânica, resistência à compressão, aderência, etc. Posteriormente, o compósito passou pela etapa de teste em canteiro, onde foi observado sua trabalhabilidade e exsudação (CARVALHO e SANTOS, 2011).

Os autores citados acima objetivavam o desenvolvimento de um compósito que possuísse qualidade e desempenho igual ou superior ao das argamassas comuns (sem adição de fibras). De acordo com Carvalho e Santos (2011), os resultados dos testes com o compósito foram satisfatórios, obtendo valores melhores de resistência mecânica e aderência, quando substituíram 10% da areia por polpa de fibras, além disso, os resultados foram semelhantes para resistência à compressão quando comparado à argamassa comum.

Por outra análise, Carvalho *et al.* (2014) analisou a aplicação em compósitos de diferentes permutações de embalagens de kraft identificadas na indústria. Por este motivo, realizou alguns ensaios como o de resistência à tração, grau de polimerização, alongamento, microscopia eletrônica, absorção de água, gramatura, e de microscopia eletrônica. Sendo utilizadas amostras de papel na sua forma original e na forma de fibra processadas mecanicamente.

Os resultados alcançados foram consideráveis, observando-se que, os diversos tipos de fibras de papel kraft não influenciam ou limitam seu uso em compósitos, pois as características individuais das fibras não se alteram (CARVALHO *et al.*, 2014).

Silva (2013) também foi responsável por realizar um estudo sobre o uso de compósitos cimentícios com adição de polpas de papel kraft derivadas de embalagens de reensaques e descartadas, areia lavada fina e emulsão à base de poli acetato de vinila. O objetivo de seu estudo se dava por avaliar características térmicas e

mecânicas desse compósito, para isso, foram moldados corpos de provas com a argamassa misturada a diferentes tipos de fibras celulósicas, possuindo teores diferentes (0%, 4% e 12% de polpa) para cada um desses.

Foram realizados os seguintes ensaios: difusividade térmica, espectroscopia por transformada de Fourier, flexão simples, microscopia óptica e eletrônica de varredura, condutividade térmica, calor específico (Método Flash Laser), e de difração de raios-x. (SILVA, 2013).

Por fim, com os ensaios realizados, verificou-se que o uso das fibras no compósito, tendem a melhorar as características térmicas e mecânicas de matrizes cimentícias de uso não estrutural. Além disso, Silva (2013) afirma ser possível observar que esses materiais apresentaram um módulo de elasticidade superior à argamassa comum (sem adição de fibras).

Martins e Soares (2016), realizaram estudos sobre argamassas com adicional de fibras derivadas de embalagens de cal, analisando suas propriedades em estado fresco, endurecido e em forma de revestimento usado em obra. Para isso, os autores desenvolveram três painéis de revestimento, sendo um de referência, um com fibras e argamassa, e outro com fibras e aditivo incorporador de ar. Nesse estudo, a areia foi substituída pelas fibras.

Os autores puderam analisar que o uso de aditivo incorporador de ar, prejudicou determinadas propriedades da argamassa. Além do mais, Martins e Soares (2016), em seu estudo, obteve resultados contrários aos de Carvalho *et al.* (2014), onde os valores obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração nos painéis com adição de fibra foram menores ao de referência. A justificativa dos resultados foi dada pela heterogeneidade da mistura e uso da betoneira, e também devido ao acréscimo de água em alguns locais no momento da aplicação da argamassa.

Referente ao estudo de blocos de concreto com adição de fibras kraft, Alves (2016), aconselha a reutilização de embalagens de cimento como a fase dispersa na produção de blocos de concreto Classe C (vedação), sem função estrutural e com dimensões nominais de 9 cm x 19 cm x 39 cm (largura, altura e comprimento, respectivamente).

Para preparação desse compósito, foi utilizado cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água, e aditivo plastificante, sendo ainda, realizados dois traços diferentes, um com teor de argamassa de 61% e outro com 91%, tendo esse segundo, adicional de areia mix na sua produção.

Ainda segundo Alves (2016), entre os traços citados acima, os blocos foram moldados com teores de 1,0% e 0,5% em massa de material seco de fibras kraft, também foram previstos blocos sem adição de fibras para a laboração do estudo comparativo.

Alves (2016) realizou ensaios de resistência à compressão, análise dimensional, absorção de água, e difração de raios X. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que, quanto maior o teor de adição de fibras, maior a absorção de água dos blocos, e menor a resistência de compressão. Observou-se ainda que, apenas o segundo traço, com teor de 91% de argamassa e adição de 0,5% de fibra kraft, mostrou-se mais adequado para a confecção desse compósito, por apresentar valores acima dos mínimos exigidos pela norma.

### **5.3.2 Compósito de cimento portland e outros tipos de pasta**

Tendo em vista que existem diversos tipos de pasta kraft, e que o papel kraft multifoliado é apenas um deles, é possível verificar a existência de estudos que apresentam outras diversidades dessa pasta que são adicionadas à matriz cimentícia com intuito de reforça-la. Entre os demais estudos, Mohr et al. (2006), estudaram sobre o uso de folhas de polpa kraft provenientes de fibras de *Pinus elliottii*, no lugar de fibras dispersas como os demais autores.

No estudo realizado por Mohr *et al*, foi analisado o desempenho das argamassas com adição de folhas de diversas espessuras, com uma ou duas camadas, distribuídas em diferentes níveis. Onde o uso de folhas de fibra possibilita reforçar uma secção específica, apenas adicionando perto do local que se deseja elevar a resistência à tração e flexão. A fase dispersa também apresenta outra vantagem, quando comparada com reforço de fibras distribuídas aleatoriamente com volumes equivalentes, os testes de flexão apresentaram uma maior tenacidade dos compósitos de folha de fibra.

Coutts (1984), em seus estudos analisou compósitos de cimento reforçados com polpa kraft de *Pinus radiata*. Chegando à conclusão que a resistência a flexão pode sofrer variação conforme a fração em massa da fibra e o grau de refinação desta, verificando que o aumento do teor umidade tende elevar a tenacidade dos compósitos, enquanto a resistência à flexão é reduzida.

O ACI 544.1-96, é um documento técnico do American Concrete Institute, contendo informações sobre o reforço de concreto com adição de fibras (metálicas, de vidro, de plástico e naturais). O documento revisa e apresenta os princípios dos compósitos usados no reforço de concretos, descrevendo os tipos de fibras, seus métodos de fabricação, propriedades físicas e sua aplicabilidade, além de apresentar e discorrer sobre estudos elaborados por outros autores.

Segundo documento do American Concrete Institute, as fibras naturais tendem a melhorar a performance de flexão dos materiais cimentícios, e seu teor mínimo para melhoras mecânicas desses compósitos é em torno de 3% em volume. Ainda em seu relatório, o American Concrete Institute (1996), aponta algumas aplicabilidades comerciais desse tipo de compósito, entre elas: confecção de folhas planas e onduladas, tubos de concreto para drenagem, entre outros.

### **5.3.3 Compósito de cimento portland e outras fibras**

Tendo em vista que existem numerosos tipos de fibras naturais, diversos estudos já foram desenvolvidos para discorrer sobre elas, entre eles, podemos citar Zhu (1993 e 1994), onde estudou sobre fibras de bananas, e Coutts e Ni (1995), sobre fibras de bambu. Ambos os estudos citados, verificaram o uso de tais fibras como reforço desse tipo de compósito.

Sedan (2007) e Magniont (2010), estudaram sobre a fibra de cânhamo, muito pesquisada na Europa como reforço de vários materiais. Em seu estudo, Sedan (2007) discorreu sobre as propriedades mecânicas do compósito e as interações físico-químicas nas interfaces fibra de cânhamo-cimento, já Magniont (2010), falou sobre a caracterização de materiais de construção à base de materiais agrícolas, abundando em seu estudo, o uso de fibras de cânhamo e de yucca como fase dispersa de compósitos.

Olivares (1992) e Savastano (2003), estudaram sobre as fibras de sisal, explorando suas características mecânicas e outras propriedades como reforço de matriz cimentícia. Outros estudos referentes as fibras de sisal foram desenvolvidas por Izquierdo (2011), onde estudou sobre a adição desse tipo de fibra em blocos de concreto para alvenaria, e Martins (2014), que desenvolveu a caracterização de compósitos solo-cimento auto adensáveis reforçados com fibras de sisal.

As fibras naturais vêm sendo objeto de estudos há muitos anos, demonstrando bons resultados quando usadas como elemento para reforço. Além das fibras já citadas, outros tipos de fibras naturais foram bases de estudos, podendo ser citadas as fibras de coco, junta, palmeira e outras.

Tendo como base os estudos abordados, é possível verificar que as fibras naturais demonstraram resultados satisfatórios quando usadas na produção de novos compósitos, apresentando uma excelente resposta à necessidade de fibras refinadas, de baixo custo e produção viável (SAVASTANO, 2000).

## 5.4 ARGAMASSAS

### 5.4.1 Histórico das argamassas

Conforme Carasek (2007), argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais

As argamassas são materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra (CARASEK, 2007).

Os primeiros registros de emprego de argamassa como material de construção são da pré-história, há cerca de 11.000 anos. No sul da Galiléia, próximo de Yiftah'el, em Israel, foi descoberto em 1985, quando de uma escavação para abrir uma rua, o que hoje é considerado o registro mais antigo de emprego de argamassa pela humanidade, um piso polido de 180 m<sup>2</sup>, feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido produzido entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C. (EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO, 2006 apud CARASEK, 2007).

Como visto, as argamassas mais antigas eram à base de cal e areia. No entanto, com as alterações das técnicas de construção, novos materiais foram desenvolvidos. As argamassas modernas geralmente possuem em sua composição também o cimento Portland e, muito frequentemente, aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Esses aditivos são, por exemplo, os

incorporadores de ar que modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar, ou mesmo os aditivos retentores de água (à base de ésteres de celulose, os quais regulam a perda de água de amassamento). Já no final do século XIX surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas, dosadas em plantas industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água (EMO, 2006 conforme autor Op. Cit).

#### **5.4.2 Argamassa de revestimento**

Segundo a NBR 7200, ABNT (1998), argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

A NBR 13281, ABNT (2005), define argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Os revestimentos de argamassas têm como função proteger os elementos de vedação da edificação da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar as vedações nas suas funções de isolamento, como também regularizar a superfície dos elementos de vedação, que servirá de suporte regular para outro revestimento ou constituir-se no acabamento final, contribuindo para a estética de paredes, vedações e fachadas.

Segundo Carasek (2007), as principais funções de um revestimento são: Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;

Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústica (~50%), Estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;

Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Visando satisfazer às funções citadas anteriormente, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, a saber: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidades e adesão inicial; retração; aderência; permeabilidade à água; resistência mecânica, principalmente a superficial; capacidade de absorver deformações. (CARASEK, 2007).

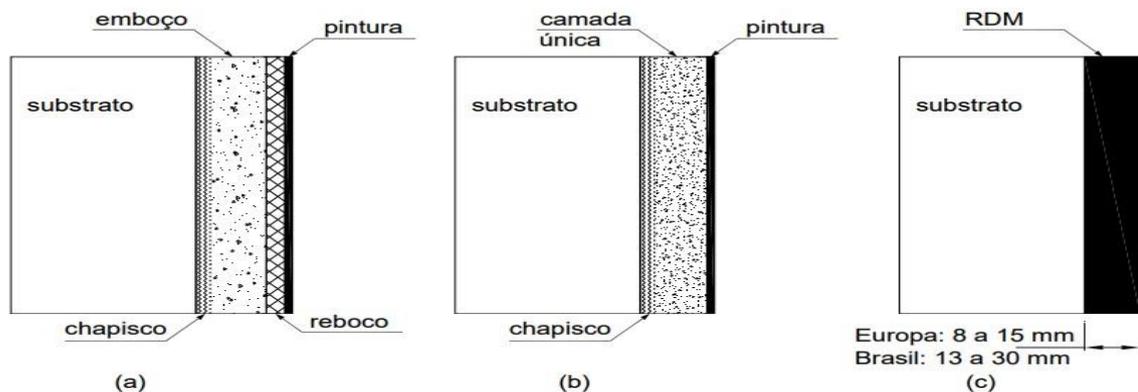
A NBR 13749, AB6), prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

### 5.4.3 Estrutura dos revestimentos

A NBR 13528, ABNT (2010), define sistema de revestimento como um conjunto formado por argamassas e acabamento, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

O revestimento de argamassa é constituído por diversas camadas com características e funções específicas, conforme exemplificado na (figura 16):

**Figura 16 - Diferentes alternativas de revestimento de parede**



**Fonte:** Carasek (2007).

**Legenda** - Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) emboço + reboco + pintura (sistema mais antigo, atualmente pouco utilizado); (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).

#### 5.4.3.1 Substrato

É a base para aplicação das camadas de revestimento, normalmente os mais empregados são as bases de alvenaria e estrutura de concreto. O substrato, principalmente aqueles que não são aplicados chapiscos, podem ter grande influência na qualidade final do revestimento em função da diversidade de características e textura: absorventes, impermeáveis, lisos, rugosos, rígidos e deformáveis (SANTOS, 2008).

A NBR 7200, ABNT (1998), especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto. Quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis, (tais como, balanços, platibandas e últimos pavimentos), deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Alternativamente, pode ser especificada a execução de uma junta que separe o revestimento aplicado sobre os dois materiais, permitindo que cada parte se movimente independentemente.

Yazigi (1998), recomenda iniciar o preparo da base removendo sujeiras ou incrustações como óleo, desmoldante e eflorescência empregando vassouras de piaçaba, escova de aço ou equipamento de água pressurizada. Devem ser removidos pregos, arames, pedaços de madeira e outros materiais estranhos. É preciso preencher os vazios provenientes de rasgos, quebra parcial de blocos, depressões localizadas e outros defeitos com argamassas de mesmo traço da que será utilizada no revestimento. Em caso de rasgos maiores para embutimento de instalações é necessário colocar telas de aço zincada de fio 1,65 mm e malha de 15 mm x 15 mm ou similar.

#### **5.4.3.2 Chapisco**

Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (CARASEK, 2007).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), relacionam as seguintes características dos chapiscos:

- Chapisco tradicional – argamassa de cimento, areia e água que adequadamente dosada resulta em uma película rugosa, aderente e resistente;
- Chapisco industrializado – argamassa semelhante à argamassa colante, sendo necessário acrescentar água no momento da mistura. A aplicação é realizada com desempenadeira dentada somente sobre superfície de concreto;

- Chapisco rolado – argamassa bastante plástica obtida através da mistura de cimento, areia, água e adição de resina acrílica. A aplicação é realizada com rolo para textura acrílica sobre superfícies de alvenaria e concreto.

#### 5.4.3.3 Emboço

Segundo Yazigi (1998), o emboço, que consiste na camada de regularização do chapisco, somente poderá ser aplicado após a pega completa do mesmo. A NBR 7200, ABNT (1998), relata que este chapisco deverá apresentar idade mínima de três dias antes da aplicação do emboço, sendo que para climas quentes e secos, com temperaturas acima de 30 °C, este prazo pode ser reduzido para dois dias.

#### 5.4.3.4 Reboco

O reboco trata-se de uma camada fina com melhor acabamento, sendo responsável por cobrir o emboço. A NBR 7200, ABNT (1998), prescreve que para cada aplicação de nova camada de argamassa exige, de acordo com a finalidade e com as condições do clima, a umidificação da camada anterior. A argamassa de revestimento não deve ser aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5 °C. Em temperatura superior a 30 °C, devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

A NBR 13749, ABNT (1996), estabelece as seguintes espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos conforme a (tabela 1):

**Tabela 1-** Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

### **5.4.3.5 Camada Única**

Carasek (2007), define camada única como revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura. A camada Única também chamada popularmente de “massa única” ou “reboco paulista”, sendo atualmente a alternativa mais empregada no Brasil.

### **5.4.3.6 Revestimento decorativo (ou monocapa) – RDM**

Carasek (2007), trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizado na Europa. A argamassa RDM é um produto industrializado, ainda não normatizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, etc.).

## **5.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

### **5.5.1 Propriedades no estado fresco**

#### **5.5.1.1 Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade é a propriedade que garantirá não só condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço. Deve-se ajustar a trabalhabilidade da argamassa à sua forma de aplicação na obra. Assim, relativo à aplicação, a consistência e a plasticidade da argamassa deverão ser diferentes se a argamassa for aplicada por meio de colher de pedreiro (aplicação manual), ou se for projetada mecanicamente, em equipamento onde a massa é bombeada através do magote e projetada na pistola com auxílio de ar comprimido. No segundo caso, as argamassas devem ter uma consistência mais fluida, e principalmente, uma alta plasticidade, que permitirá o bombeamento. Além disso, se a argamassa não possui a trabalhabilidade satisfatória e não garantir a sua correta aplicação, haverá prejuízo ao desempenho do revestimento, uma vez que várias

propriedades da argamassa no estado endurecido serão afetadas pelas condições de aplicação (estado fresco), como é o caso da aderência (CARASEK, 2007).

Segundo Recena (2012), a trabalhabilidade da argamassa é um conceito subjetivo que deve ser atendido como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo.

Em termos práticos, entende-se que a trabalhabilidade de uma argamassa deva estar diretamente ligada à tarefa a ser executada, estando suas características ligadas às funções a serem desempenhadas. Uma mesma argamassa ao ser utilizada em revestimento ou assentamento deverá apresentar trabalhabilidade diferente em cada caso (RECENA, 2012).

A modificação da trabalhabilidade estará sempre ligada diretamente à quantidade de água empregada em sua preparação, desde que haja uma quantidade tal de material fino, preferencialmente aglomerante, suficiente para reter a água adicionada, garantindo a estabilidade de volume e a coesão necessária para promover a aderência instantânea sem a ocorrência de segregação de seus constituintes. O excesso de água em uma argamassa desde que rompida a coesão, tornará a argamassa fluida, mas menos trabalhável pela perda de coesão, incapacitando-a para a função a que se destina. O conceito de trabalhabilidade pode ser entendido, então, como a correta interação entre dois conceitos: consistência e coesão. Vale dizer que uma argamassa muito pouco consistente, ou seja, bastante fluida, sem coesão não será trabalhável. Da mesma forma, uma argamassa de grande coesão, mas de baixa fluidez, igualmente apresentará comprometimento em sua trabalhabilidade, conforme afirma (RECENA, 2012).

#### **5.5.1.2 Adesão inicial**

De acordo com Carasek (2007), outra propriedade essencial, também associada à trabalhabilidade é a adesão inicial, ou seja, a capacidade de união da argamassa no estado fresco ao substrato (parede, por exemplo). Ao ser lançada à parede, a argamassa deve se fixar imediatamente à superfície, sem escorrer ou desprender, permitindo manipulações que visam espalhá-la e acomodá-la corretamente, além de garantir o contato efetivo entre os materiais (o que proporcionará a aderência após o seu endurecimento). Ainda no estado fresco, após

a aplicação da argamassa, será importante controlar a retração plástica, propriedade relacionada à fissuração do revestimento.

### **5.5.1.3 Retenção de água**

Conforme definido por Recena (2012), retenção de água é a capacidade de uma argamassa de liberar demoradamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para substratos porosos. Quanto maior a quantidade de água empregada na preparação de uma argamassa, maior igualmente o volume de água a ser evaporado, gerando sempre retração por maior que seja a capacidade de uma mistura em reter água.

De acordo com Carasek (2007), a retenção é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. Assim, essa propriedade torna-se mais importantes quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa e ventos fortes).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), retenção de água é a capacidade que a argamassa apresenta de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativa, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequente ganho de resistência.

A determinação da retenção de água pode ser avaliada pelo método da norma NBR 13277, ABNT (2005), – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

### **5.5.1.4 Massa específica e teor de ar incorporado**

De acordo com Carasek (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade.

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes no volume da argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária, consideram-se os vazios conforme afirmam (MACIEL, BARROS E SABBATINI, 1998).

## 5.5.2 Propriedades no estado endurecido

### 5.5.2.1 Aderência

Segundo Carasek (2007), o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. A base, ou substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolo ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado, blocos sílico-calcários, etc., como também pela estrutura de concreto moldado in loco. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais.

No estado endurecido, a propriedade fundamental é a aderência, sem a qual o revestimento de argamassa não atenderá a nenhuma de suas funções. A aderência é a propriedade que permite ao revestimento de argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato. Essa propriedade é uma das poucas que possui critério de desempenho especificado em norma do Brasil, conforme apresentado na tabela a seguir, aborda (CARASEK, 2007), (Tabela 2).

**Tabela 2-** Limites de resistência de aderência à tração ( $R_a$ ) para revestimentos de argamassa de paredes (emboço e camada única), segundo a NBR 13749, ABNT (1996)

Local		Acabamento	$R_a$ (Mpa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Carasek (2007), informa que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, a penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa de acordo com a (Figura 17).

**Figura 17** - Fatores que exercem influência na aderência de argamassa sobre bases porosas



**Fonte:** Adaptado Carasek (2017).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

### **5.5.2.2 Capacidade de absorção e deformações**

Segundo Recena (2012), uma mesma argamassa recobre, em revestimentos, materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica num mesmo parâmetro vertical, assim como concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos, devendo absorver de forma eficiente deformações diferenciais advindas da resposta dada pelos diferentes materiais às solicitações oriundas das constantes variações térmicas e/ou higrométricas.

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade.

### **5.5.2.3 Retração**

Carasek (2007), afirma que a retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

### **5.5.2.4 Resistência mecânica**

Conforme retratado por Recena (2012), a grande questão com relação à resistência mecânica de uma argamassa é sua quantificação, ou seja, qual o valor que deve ser obtido e como deve ser feita a medição deste valor de referência, qual a idade de ensaio, qual o método a ser empregado e qual o corpo de prova a ser adotado. Evidentemente que a resposta a essa questão está diretamente vinculada com o emprego previsto para a argamassa e com as solicitações previstas em projeto, quando for o caso.

De acordo com Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à 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.

### **5.5.2.5 Durabilidade**

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microrganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

## 6 ESTUDO DE CASO

Serão mostrados os materiais e métodos utilizados nos ensaios realizados na fabricação da argamassa com resíduo de papel kraft provenientes de sacos de cimento. Todos os ensaios e procedimentos foram baseados nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Para a elaboração deste estudo de caso, foram realizadas as caracterizações dos materiais utilizados na confecção das argamassas, a produção dos corpos de prova e foram efetuados ensaios para a classificação dessa argamassa, todos executados no Laboratório de Materiais de Construção de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

No dia 09/03/2020 foi iniciada a primeira etapa da produção da argamassa. Inicialmente foram separados o cimento, a areia fina, o resíduo e a água, pesados na balança de modo que cada componente estivesse de acordo com o traço determinado, em seguida, foram misturados no chão, conforme mostra a (Figura 18). Em seguida, foram separados 12 (doze) corpos de prova com dimensões de 10x20cm e passado o desmoldante em cada um deles. Posteriormente os corpos de prova foram moldados, observa-se na (Figura 19), e no processo de adensamento foi utilizado uma haste de ferro.

As etapas seguidas para a confecção dos corpos de prova foram regidas pela NBR 13528, ABNT (2010).

No dia 10/03/2020 após 24 (vinte e quatro) horas, os 12 (doze) corpos de prova foram desmoldados, identificados, pesados e colocados submersos na água por 48 (quarenta e oito) horas.

Seguindo as descrições acima, no dia 16/03/2020 foi realizado a confecção de mais 03 (três) corpos de prova, totalizando 15 (quinze) corpos de prova para análise. No dia 17/03/2020, após 24 (vinte e quatro) horas, os 03 (três) corpos de prova foram desmoldados, identificados, pesados e colocados submersos na água por 48 (quarenta e oito) horas.

**Figura 18 - Argamassa pronta no piso**



Fonte: Autor (2020).

**Figura 19 - Corpos de prova moldados e secos**



Fonte: Autor (2020).

## 6.2 RESISTENCIA A COMPRESSÃO

As determinações da resistência à compressão seguiram prescrições da NBR 5739, ABNT (2007). Os ensaios ocorreram no Laboratório de Materiais de Construção do UNI-RN, com o auxílio de um técnico laboratorista da própria universidade. Foi utilizada uma prensa hidráulica manual, da marca Solotest, modelo 4HCA, como mostra a (figura 20). Foram moldados 15 (quinze) corpos de prova (CP' s), com dimensões de 10 cm x 20 cm.

**Figura 20 - Prensa hidráulica**



Fonte: Autor (2020).

Estes corpos-de-prova serão ensaiados com idade de 28 dias, após 24h de cura ao ar e 27 dias de cura por imersão em água saturada com cal, conforme mostra a (figura 21).

**Figura 21 - Corpos de prova imersos em água com cal**



Fonte: Autor (2020).

### 6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação da absorção, seguiu as prescrições normativas da NBR 9778, ABNT (2005), após os 28 dias de idade, para a realização deste ensaio foi necessário a coleta do peso seco e saturado, como mostra a (Figura 22) e (Figura 23). Sendo definida e aplicada na seguinte expressão:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$  = massa do corpo de prova seco.

Foram moldados 15 (quinze) corpos de prova cilíndricos, com 10 (dez) cm de diâmetro por 20 (vinte) cm de altura. A cura dos CP' s seguiu 24 (vinte e quatro) horas ao ar e 27 (vinte e sete) dias de cura imersos em água saturada com cal.

**Figura 22 - Corpo de prova seco**



Fonte: Autor (2020).

**Figura 23 - Corpo de prova saturado**



**Fonte:** Autor (2020).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os resultados analisados após o rompimento dos corpos de prova, mostraram que a média correspondeu a 23,03 MPa, ou seja, os resultados deram uma média acima da resistência de revestimento padrão feito com cimento e areia, como mostra na (Tabela 3), comparado com os valores determinados pela NBR 13281, ABNT (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos, conforme a (Figura 24).

**Tabela 3-** Resultados da resistência a compressão dos CP' S

<b>CORPO DE PROVA</b>	<b>MPA</b>
CP1	21,6
CP2	17,5
CP3	25,8
CP4	23,7
CP5	24,3
CP6	19,7
CP7	21,5
CP8	19,4
CP9	20,9
CP10	21,9
CP11	23,4
CP12	26,7
CP13	25,4
CP14	28,3
CP15	25,4
Média	23,03
Desvio padrão	3,016

**Fonte:** Autor (2020).

**Figura 24 - Resistência à compressão de argamassa para assentamento**

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
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	

**Fonte:** ABNT (2019).

## 7.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Com o ensaio de absorção de água realizado nos corpos de prova com resíduos de papel kraft, obtivemos resultados satisfatórios sendo inferiores ao limite de norma, os resultados deram todos abaixo de 10% limite normatizado para concretos de acordo com a norma NBR 9778, ABNT (2005), com uma média 2,178%, conforme mostram os dados na (Tabela 4), significando uma baixa porosidade na argamassa, tal porosidade baixa representa um fator positivo para a durabilidade da argamassa.

**Tabela 4-** Resultados dos ensaios de absorção de água

<b>PRODUÇÃO</b>			
<b>CORPO DE PROVA</b>	<b>PESO SECO (Kg)</b>	<b>PESO SATURADO (Kg)</b>	<b>ABSORÇÃO (%)</b>
CP1	3,247	3,354	3,295
CP2	3,234	3,353	3,679
CP3	3,288	3,329	1,247
CP4	3,243	3,371	3,947
CP5	3,286	3,311	0,761
CP6	3,317	3,345	0,844
CP7	3,218	3,251	1,025
CP8	3,263	3,382	3,647
CP9	3,224	3,278	1,675
CP10	3,211	3,287	2,367
CP11	3,344	3,387	1,286
CP12	3,288	3,326	1,156
CP13	3,319	3,356	1,115
CP14	3,268	3,314	1,407
CP15	3,255	3,317	1,905
		<b>Média</b>	<b>2,178</b>
		<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,155</b>

**Fonte:** Autor (2020).

## **8 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA DE REBOCO COM A UTILIZAÇÃO DE SACO DE CIMENTO**

A viabilidade econômica da utilização desse resíduo parte do pressuposto da utilização de um material sem custo inicial (resíduo) no lugar de um material em escassez e com um custo econômico (areia). Uma vez que o custo do metro cúbico da areia segundo o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) atualizado em abril de 2020, é de 76,50 (setenta e seis reais e cinquenta centavos). Com a utilização de 10% do resíduo de sacos de cimento em substituição da areia nas argamassas de reboco teremos uma economia de R\$ 7,65 (sete reais e sessenta e cinco centavos) a cada metro cúbico de areia utilizados.

## 9 CONCLUSÕES

Com a extração ilegal e a diminuição das jazidas do agregado miúdo (areia), é necessário a busca por materiais que apresentem características semelhantes às suas e que possam ser utilizadas na substituição da areia natural. Nesse contexto, pode-se concluir que esta pesquisa contribuiu para confecção de um material com viabilidade de utilização na engenharia civil.

Por possuir baixa porosidade, a argamassa produzida com fibras de papel kraft, oriundas de rejeitos de sacos de cimento, apresentou um baixo teor de absorção de água, uma boa trabalhabilidade, uma redução no custo do traço tradicional de reboco e proporcionando uma grande durabilidade produzida pelas fibras kraft utilizadas.

Considerando todos os resultados obtidos, onde a resistência média dos corpos de provas submetidos ao ensaio de compressão foi de 23,03 MPa, observa-se que o resíduo de sacos de cimento pode ser reutilizado, ao invés de ser descartado para diminuir o consumo de areia fina utilizada para a produção de argamassa para reboco.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Distrito Federal, 2016. 129p.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 544.1-96: State-of-the-art report on fibre reinforced concrete**. 1996. Reapproved 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM C780**. Standard Test Method Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. EUA. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT 106**: guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13277**: revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água– Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: Abnt, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: Abnt, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro: Abnt, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 248**: Agregados -Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Técnicas de Fabricação de Papéis e Cartões**. São Paulo : Klabin fabricante de papel e celulose S/A, p. 65, 1994.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO – **AMN NBR NM 45**. Agregados - BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 1 v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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.

BENTUR, A., BANTIA, N; BAGGOT, J.D. **Fiber-Matrix Interfaces, preproceedings of International workshop on high performance fiber reinforced composites**. Ed. Naaman A. e Reinhardt H. University of Michigan, Estados Unidos, 1995.

BLANKENHORN, P. R.; SILSBEE, M. R.; BLANKENHORN, B. D.; DICOLA, M.; KESSLER, K.. Temperature and moisture effect on selected properties of wood fiber-cement composites. **Cement Concrete Research**, vol. 29, 1999.

BUSON, M. A. **Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1988.

CARASEK, Helena. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

**CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de**. AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS: UMA CONTRIBUIÇÃO À IDENTIFICAÇÃO

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft proveniente de embalagens de cimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARVALHO, P. E. F.; VIEIRA, I.; AURIONE, D.; CARDOSO, T.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Caracterização do papel kraft de embalagens visando o emprego como fibras em compósitos cimentícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Maceió. **Anais ENTAC**. Maceió, 2014

CAVALCANTI, L.M.A; RIBEIRO, D.V. **Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Fortaleza.2013.

CENIBRA. **c**. Disponível em: <<http://www.cenibra.com.br/index.php/fluxo-de-producao/>>. Acesso em: outubro de 2019.

COSTA, A. O. S. **Alternativas para o controle de um sistema de evaporadores de múltiplo efeito**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.164, 2000.

COUTTS, R. S. P e NI, Y. Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement. **Cement & Concrete Composites**, volume 17, p. 99-106, 1995.

COUTTS, R. S. P. Autoclaved beaten wood fibre-reinforced cement composites. **Composites**, volume. 15, n. 2, p.139-143, 1984.

DIAS, Raissa Arvellos. **Avaliação de interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas**. 2017. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

**DO SISTEMA DE ADERÊNCIA MECÂNICO**. 2005. 331 f. Tese (Doutorado) - Apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, São Bento. **REAPROVEITAMENTO DE PAPEL DE EMBALAGENS DE CIMENTO NA PRODUÇÃO DE MANTA ASFÁLTICA IMPERMEABILIZANTE**. São Bento: Enegep, 2012. 9 p. Disponível em: <[abepro.org.br/biblioteca/enegep2012\\_TN\\_STO\\_165\\_962\\_19481.pdf](http://abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STO_165_962_19481.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2019.

GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GRAM, H. E. Durability of natural fibres in concrete**. CBI Research, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1983.

GRAM, H. E. **Durability of natural fibres in concrete**. In: Swamy, R. N. ed. Natural fibre reinforced cement and concrete, Glasgow, Blackie and Son Ltd, UK, 1988.

GUEDES, André Medeiros. **Utilização de concreto sem fins estruturais com resíduos do processo de corte de rochas ornamentais para ambientes rurais e urbanos**. 2019. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

IBRAM (Brasília). Instituto Brasileiro de Mineração (Org.). **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral**. 2014. Disponível em: <<https://portaldamineração.com.br/wp-content/uploads/2017/06/00005153.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ISAIA, Editor Geraldo C. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em bloco de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. 128p

KLOCK, U., ANDRADE, A. S. de; HERNANDEZ, J; A. **Polpa e Papel**. Manual Didático. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ªedição. 2013 Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf> >. Acesso em: outubro de 2019.

LOPES, J. L.; SOUZA, J. L. de ; VERNER, J. L. F.; e FERREIRA, M. L. **Tipos de papéis. Faculdade de Telêmaco Borba**. Paraná, 2010. 48p.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998.

MAGNIONT, C. **Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources**. Tese (Doutorado) - Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, France, 2010. Disponível em: <[http://thesesups.upstlse.fr/980/1/Magniont\\_Camille.pdf](http://thesesups.upstlse.fr/980/1/Magniont_Camille.pdf) >. Acesso em: outubro de 2019.

MAHMOUD, T. **Étude de matériaux minéraux renforcés par des fibres organiques en vue de leur utilisation dans le renforcement et la réparation des ouvrages tels que les ponts**. Tese (Doutorado) - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 2005. Disponível em: <<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2005ISAL0047/these.pdf>>. Acesso em: outubro de 2019.

MAPEL, J. L. Jr. Processo de produção de celulose. Faculdades Integradas Espírito-MARTINS, A. P. S. **Desenvolvimento, caracterização mecânica e durabilidade de compósitos solo-cimento autoadensáveis reforçados com fibras de sisal.** Tese (Doutorado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MARTINS, Daniela Vasconcelos Alamy; SOARES, Letícia Mosconi. **Avaliação do desempenho de revestimentos de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cal.** 2016. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

MATOS, Elrian. **Medição de Nível no Digestor na Indústria de Papel e Celulose,** 2018. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/medicao-de-nivel-no-digestor-na-industria-de-papel-e-celulose/>> Acesso em: 13 out. 2019.

MOHR, B. J.; NANKO, H.; KURTIS, K. E. Aligned kraft pulp fiber sheets for reinforcing mortar. - cement composites. **Cement and Concret Research.** v. 38, p. 161-172, 2006.

OLIVARES, F. H.; VILLANUEVA, I. O. L. de. Experimental analysis of toughness and modulus of rupture increase of sisal short fibre reinforced hemihydrate gypsum. **Composite Structures,** Volume 22, 1992.

OLIVEIRA, V. C. de. **Estudo comportamental da formulação dos requisitos e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Distrito Federal, 2017. 173p.

PEREIRA, Caio. **Tipos de cimento:** Características e especificações. 2018. Escola Engenharia. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-decimento/>>. Acesso em: 28 out. 2019.

PINI. **Revista Técnica**. Distribuição granulométrica para argamassas. Edição 27, 1997. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/27/artigo287132-1.aspx>>. Acesso em: out de 2019.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel- Estudo de caso**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003. 379p.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPURCS, 2012.

ROBERT, N. T. F.. **Dossiê Técnico: Produção de Embalagem de Papel. Serviço Brasileiro de repostas técnicas**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 2007.

SAMPAIO, Carlos Hoffmann; TAVARES, Luís Marcelo Marques. **Beneficiamentos gravimétricos**: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2005.

SANTANA, T. S. **Avaliação da adição de fibras de papel kraft, oriundas do saco de cimento, ao concreto utilizado na produção de blocos sem função estrutural**. 2015. 78p. Monografia de projeto final (Graduação). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

Santenses (FAESA), Vitória, Espírito Santo. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/jmapeljr/macro-processo-da-produo-de-celulose-industrial-1423617>>. Acesso em: setembro de 2019.

SANTOS, F. A. R. A. dos; MARTINS, M. R. **Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados**. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas, 2010.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil,

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, Lorena Rezende dos; CARVALHO, Patrícia Eliza Floriano de. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento**. 2011. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SAVASTANO, H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. Tese (Livre Docência em Materiais e Componentes de Construção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde08102007-155734/>>. Acesso em: outubro de 2019.

SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G. Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. **Cement and Concrete Composites**, Volume 25, 2003.

SEDAN, D. ; PAGNOUX, C. ; SMITH, A. ; CHOTARD, T. Interaction fibre de chanvre/ciment : influence sur les propriétés mécaniques du composite. **Matériaux & Techniques**, Volume 5, 2007. p. 133-142

SEDAN, D. Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite. Tese (Doutorado) - Université de Limoges, 2007

SHREVE, R. N; BRINK Jr, A, J. **Indústrias de processos químicos**. Editora Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro-RJ, 717p. 2008.

SILVA, M. A. da. **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçado com fibras de papel de embalagens de cimento**. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.files.scire.net.br/atrio/cefet->

mgposmat\_upl/THESIS/10/dissertao\_mestrado\_myrt es.pdf>. Acesso em: outubro de 2019.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual de 2013**. Rio de Janeiro: SNIC, 2013. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: outubro de 2019.

UFRGS. **Alvenaria estrutural – Propriedades das argamassas**. Núcleo de Apoio Pedagógico à Educação a Distância (NAPEAD). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: [http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/propriedades\\_de\\_argamassa.php](http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/propriedades_de_argamassa.php). Acesso em: outubro de 2019.

WOODHEAD PUBLISHING SERIES IN TEXTILES. **Fibrous and composite materials for civil engineering applications**. Número 104. Figueiro. UK, 2011

ZHU, W. H. ; TOBIAS, B. C. ; COUTTS, R.S.P. ; LANGFORS,G. Air cured banana-fibrereinforced cement composites. **Cement and Concrete composites**, Volume 16, 1994.

ZHU, W. H. **Utilization of banana fibre in composite materials**. 1993. Dissertação (Mestrado). Victoria University of technology, Melbourne, 1993.