

## **Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento-madeira**

A. N. Macêdo<sup>I</sup>; A. M. de Lima<sup>II</sup>; F. de O. Fonseca<sup>II</sup>; B. V. de A. Lavôr<sup>III</sup>

<sup>I</sup>Programa de Pós-Graduação em Eng<sup>a</sup> Civil, PPGEC/UFPA, Av. Augusto Corrêa, s/n, Guamá, Belém-PA.  
e-mail: [anmacedo@ufpa.br](mailto:anmacedo@ufpa.br)

<sup>II</sup>Universidade da Amazônia, Av. Alcindo Cacela, 287, Umarizal, Belém-Pará.  
e-mail: [alexandre\\_lima@unama.br](mailto:alexandre_lima@unama.br) ; [fabioof@terra.com.br](mailto:fabioof@terra.com.br)

<sup>III</sup>Programa de Educação Tutorial - PET-Eng<sup>a</sup> Civil/UFPA  
e-mail: [barbaralavor@gmail.com](mailto:barbaralavor@gmail.com)

---

### **RESUMO**

Este trabalho objetiva contribuir para a aplicação do resíduo do tecido lenhoso de espécies vegetais tropicais, na forma de serragem, proveniente da indústria madeireira do estado do Pará, da região metropolitana de Belém em particular, para a fabricação de compósito madeira-cimento. Devido à natural incompatibilidade química entre a madeira e o cimento, este procedimento resulta em um retardamento de pega, de intensidade dependente da espécie vegetal utilizada. Este efeito pode ser combatido com diversos processos, como por exemplo, a aditivação da mistura com aceleradores de pega, a mineralização da madeira, a carbonatação acelerada, dentre outros. As análises foram feitas a partir da resistência à compressão aos 28 dias para argamassas produzidas com teores de madeira de 2, 3,5 e 5% em massa, com cimento CP I e CP II, e ainda com e sem o uso de aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio. Assim sendo, os resultados obtidos foram analisados estatisticamente para que a influência do teor de madeira e da aditivação à base de cloreto de cálcio na resistência à compressão fosse avaliada. A maioria dos trabalhos existentes utiliza espécies de clima temperado, e de reflorestamento, pouco tendo sido avaliado para espécies de clima tropical. Neste sentido, o presente trabalho representa um esforço pioneiro no desenvolvimento de compósitos madeira-cimento para os materiais e resíduos disponíveis na região Amazônica.

**Palavras-chave:** Resíduos, compósito, cimento madeira.

---

## **Statistical analysis of the mechanical behavior under compression of cement-wood composite**

### **ABSTRACT**

The present work has the objective to propose the use of saw dust wood waste from the tropical wood industry mainly located at Belém, Pará State, for the fabrication of wood-cement composites. Due to the natural chemical incompatibility between wood and cement, this procedure results in a set retarding effect, with wood specie depending intensity. This by-effect can be overcome by using procedures such as additives, wood mineralization, accelerated carbonation and others. Analysis were made based on axial compression strength data with samples aged 28 days for mortars made with 2, 3.5 and 5% wood content in mass, using cements type CP I and CP II, with and without Calcium Clorets-based set accelerator additive.

The data there from obtained was statistically analyzed to evaluate the influence of the wood content and of additives on the mechanical strength. Most of the research works developed so far make use of reforestation waste, very little being available about tropical wood waste. So, this work represents a pioneer effort in developing a cement-bonded wood composite with regionally available materials and residues from Belém, Pará State.

**Keywords:** Residues, composites, cement.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O compósito à base de cimento e madeira pode ser definido como uma argamassa de cimento portland na qual parte ou toda a fração do agregado mineral foi ser substituída por material orgânico vegetal, podendo ser obtidos pela fragmentação mecânica do tecido lenhoso de vegetais superiores ou através da coleta de resíduos da indústria madeireira. Compósitos madeira-cimento geralmente são divididos em duas categorias: A primeira tipologia tem aplicação primariamente arquitetônica, para isolamento térmico e acústico; e a segunda, foi inicialmente desenvolvida na década de 1970 para substituir o cimento-amianto, por possuir melhores características mecânicas.

A utilização deste material tem sido primariamente impulsionada devido à sua boa resistência a degradações de forma geral; por ação de insetos e fungos quando comparado à madeira não tratada. SAVASTANO JUNIOR et. al. [1] demonstram que as fibras vegetais possuem baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. E ao serem associadas a uma matriz cimentícia, obtém-se um material de proeminentes propriedades de isolamento acústico e térmico; além de ser um material com modo de fissura por dissipação de energia, capaz de trabalhar no estágio pós-fissurado; com excelente aplicabilidade em situações de carregamento constante e grande resistência a impactos. Segundo LATORRACA [2], este é um dos únicos materiais estruturais a base de madeira que apresenta resistência elevada à ação do fogo, decomposição e insetos simultaneamente.

A adequação do uso da madeira neste material tem sido feita a partir de diferentes critérios, dos quais os quatro mais utilizados são: Escolha da espécie, Tratamento dos Resíduos Vegetais, Aditivação do Aglomerante, Aceleração da Cura por Métodos Externos, Efeitos Indesejáveis, Retardamento de Pega e Instabilidade Dimensional.

Segundo a literatura técnica, o emprego de material vegetal em uma matriz de cimento também apresenta efeitos deletérios sobre o aglomerante. É possível haver um grande retardamento ou até o impedimento total do processo de pega do cimento. Alguns autores como MEHTA e MONTEIRO [3] não recomendam o uso de material orgânico como componente aglomerado por cimento portland, justificado pelo forte efeito de retardamento de pega neste. Tal efeito indesejável, derivado da natureza ácida e dos açúcares dos extrativos da madeira, é possível de ser combatido de diversas formas, dentre elas o uso de aditivos aceleradores de pega, ou mesmo combinando-se a escolha de espécie vegetal com lenta liberação de extrativos na presença de água com o uso simultâneo de agregados minerais.

Outro efeito registrado por alguns autores, como GASSAN [4] é a instabilidade dimensional, particularmente a retração. Para espécies de baixa densidade, em misturas contendo somente as fibras vegetais e cimento portland, este efeito é potencializado. Entretanto ao se combinar na mistura agregado miúdo de origem mineral (areia) este efeito é parcialmente pugnado. GASSAN [4] observa também que o compósito cimento-madeira apresenta retração menor que a das argamassas comuns.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Cimento

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de cimento: O CP-I, devido seu uso bastante comum na fabricação de pré-moldados e CP-II, graças a ampla disponibilidade no mercado e grande difusão de uso. Os cimentos foram caracterizados de acordo com as normas NBR 5732 [5] e NBR 11578 [6], respectivamente.

### 2.2 Resíduo (Madeira)

Foram utilizados resíduos da espécie Angelim Pedra (*Hymenolobium Petraeum* Ducke) por se tratar de uma madeira de uso corriqueiro pela indústria moveleira e da construção em Belém-PA. O Angelim Pedra é uma espécie considerada pesada por possuir massa específica acima de 700kg/m<sup>3</sup>, geralmente oscilando entre 900 a 1000Kg/m<sup>3</sup>, de cor castanho, e enquadrado na classificação de durabilidade natural como durável. Na Figura 1 tem-se uma amostra do resíduo empregado. A adição de madeira em massa de 2%, 3,5% e 5% foi baseada em testes preliminares realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA.



**Figura 1:** Aspecto do Resíduo Utilizado.

### 2.3 Areia

A areia utilizada é proveniente de jazidas da localidade de Santo Antônio do Tauá – PA. Sua granulometria é apresentada na Figura 2. O baixo valor encontrado para o módulo de finura, (Tabela 1) indica que a argamassa produzida com esta areia irá demandar um valor elevado para a relação água–cimento devido à grande superfície específica dos grãos da areia. Os ensaios de caracterização da areia foram executados de acordo com a NBR 7211 [7] e NBR 7217 [8].

**Tabela 1:** Caracterização da Areia utilizada [7] e [8].

Granulometria da areia				Módulo de finura			
Amostra	1kg			1,72			
Peneira	2,40	1,20	0,60	0,30	0,15	Fundo	Total
Peso (g)	4,50	38,00	183,00	399,50	187,50	180,00	992,50
%	0,45	3,83	18,44	40,25	12pt	18,14	99,25
% Acumulada	0,45	4,28	22,72	62,97	12pt	100,00	
Passante	99,55	95,72	77,28	37,03	18pt	0,00	
Massa Específica	2,63 kg/dm <sup>3</sup>			Teor de Matéria Orgânica			Aceitável
Coeficiente de Inchamento		1,36		Umidade Crítica			3,40%

A presença de matéria orgânica influi negativamente na hidratação do cimento. No caso particular deste trabalho, onde já está sendo produzido um compósito com matéria orgânica, o conhecimento do teor de matéria orgânica através de ensaios é extremamente necessário para que seja minimizado o efeito de variáveis que não as estudadas na pesquisa. Para evitar a influência do inchamento, toda a areia utilizada no trabalho foi seca em estufa por no mínimo 24 horas.

### 2.4 Aditivo

Foi empregado nesta pesquisa o aditivo à base de cloreto de cálcio. Disponível na forma líquida, sua densidade é de 1,20Kg/l a 25°C. À semelhança do cimento CP II, foi escolhido pela disponibilidade no mercado.

Os ensaios foram programados para permitir a comparação estatística entre diferentes traços, quais sejam: 1:1, 1:2, e 1:3, (em massa, cimento: areia) com 5%, 3,5% e 2% de adição de madeira (em massa, em substituição a igual massa de areia), todos moldados com e sem aditivo acelerador de pega, e também, em dois tipos de cimento: CP I e CPII Z. Para cada um dos 36 traços moldados, foram moldados 9 corpos-de-prova, totalizando 324 corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm, submetidos a cura úmida, e ensaiados à compressão axial aos 28 dias, devidamente capeados. Essa quantidade de corpos-de-prova foi definida por ser considerada estatisticamente adequada para a representatividade dos resultados em função da variabilidade das amostras de resíduos de madeira.

A relação água-cimento foi fixada pelo ensaio de índice de consistência, ou seja, durante a confecção dos corpos-de-prova, foi adicionada água à mistura até que a trabalhabilidade estipulada de (190 + 20)mm fosse atingida.

Foi utilizado o processo de cura úmida, por imersão dos corpos de prova em solução de água e cal e o rompimento dos corpos de prova foi feito aos 28 dias de idade.

### 3 RESULTADOS

Os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias de idade foram realizados de acordo com a NBR 5739 [9] e mostraram que o compósito mesmo quando não adicionado do cloreto de cálcio obteve resistência comparável à das misturas aditivadas, entretanto, seu uso não é tecnologicamente viável em virtude do grande tempo necessário para o desmolde, além da variabilidade de resultados mais elevada, o que indica um material com menor homogeneidade. Os resultados são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 (os índices em itálico representam a identificação dos corpos de prova). É importante ressaltar que os resultados obtidos neste estudo são importantes para definição de parâmetros de produção de compósitos cimento-madeira com espécies da região norte do país uma vez que a grande maioria dos estudos existentes sobre esse tema são referentes às espécies de clima temperado, havendo escassez de referências com espécies da Amazônia.

**Tabela 1:** Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:1

<b>Tensões de ruptura (MPa)</b>									
l:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:1	5%	<i>1.1</i>	<b>42,98</b>	<i>2.1</i>	<b>52,97</b>	<i>19.1</i>	<b>37,28</b>	<i>20.1</i>	<b>49,91</b>
1:1	5%	<i>1.2</i>	<b>42,78</b>	<i>2.2</i>	<b>51,44</b>	<i>19.2</i>	<b>37,13</b>	<i>20.2</i>	<b>49,78</b>
1:1	5%	<i>1.3</i>	<b>42,73</b>	<i>2.3</i>	<b>50,96</b>	<i>19.3</i>	<b>36,92</b>	<i>20.3</i>	<b>49,61</b>
1:1	5%	<i>1.4</i>	<b>42,53</b>	<i>2.4</i>	<b>50,85</b>	<i>19.4</i>	<b>35,96</b>	<i>20.4</i>	<b>49,40</b>
1:1	5%	<i>1.5</i>	<b>40,64</b>	<i>2.5</i>	<b>50,67</b>	<i>19.5</i>	<b>34,99</b>	<i>20.5</i>	<b>49,20</b>
1:1	5%	<i>1.6</i>	<b>39,62</b>	<i>2.6</i>	<b>50,42</b>	<i>19.6</i>	<b>33,26</b>	<i>20.6</i>	<b>49,15</b>
1:1	5%	<i>1.7</i>	<b>39,09</b>	<i>2.7</i>	<b>49,96</b>	<i>19.7</i>	<b>31,65</b>	<i>20.7</i>	<b>43,04</b>
1:1	5%	<i>1.8</i>	<b>38,15</b>	<i>2.8</i>	<b>41,74</b>	<i>19.8</i>	<b>31,07</b>	<i>20.8</i>	<b>41,46</b>
1:1	5%	<i>1.9</i>	<b>36,34</b>	<i>2.9</i>	<b>39,88</b>	<i>19.9</i>	<b>29,95</b>	<i>20.9</i>	<b>40,57</b>
1:1	3,5%	<i>13.1</i>	<b>44,56</b>	<i>14.1</i>	<b>55,11</b>	<i>31.1</i>	<b>40,59</b>	<i>32.1</i>	<b>47,92</b>
1:1	3,5%	<i>13.2</i>	<b>44,36</b>	<i>14.2</i>	<b>55,00</b>	<i>31.2</i>	<b>40,23</b>	<i>32.2</i>	<b>47,62</b>
1:1	3,5%	<i>13.3</i>	<b>44,33</b>	<i>14.3</i>	<b>54,80</b>	<i>31.3</i>	<b>39,50</b>	<i>32.3</i>	<b>47,47</b>
1:1	3,5%	<i>13.4</i>	<b>44,26</b>	<i>14.4</i>	<b>54,65</b>	<i>31.4</i>	<b>39,27</b>	<i>32.4</i>	<b>47,31</b>
1:1	3,5%	<i>13.5</i>	<b>44,18</b>	<i>14.5</i>	<b>54,09</b>	<i>31.5</i>	<b>39,11</b>	<i>32.5</i>	<b>47,06</b>
1:1	3,5%	<i>13.6</i>	<b>43,57</b>	<i>14.6</i>	<b>51,95</b>	<i>31.6</i>	<b>38,86</b>	<i>32.6</i>	<b>46,91</b>
1:1	3,5%	<i>13.7</i>	<b>42,78</b>	<i>14.7</i>	<b>51,92</b>	<i>31.7</i>	<b>38,71</b>	<i>32.7</i>	<b>46,50</b>
1:1	3,5%	<i>13.8</i>	<b>41,51</b>	<i>14.8</i>	<b>51,18</b>	<i>31.8</i>	<b>37,64</b>	<i>32.8</i>	<b>46,09</b>
1:1	3,5%	<i>13.9</i>	<b>39,42</b>	<i>14.9</i>	<b>50,83</b>	<i>31.9</i>	<b>37,23</b>	<i>32.9</i>	<b>45,89</b>
1:1	2%	<i>3.1</i>	<b>47,06</b>	<i>4.1</i>	<b>58,21</b>	<i>21.1</i>	<b>41,71</b>	<i>22.1</i>	<b>50,42</b>
1:1	2%	<i>3.2</i>	<b>46,96</b>	<i>4.2</i>	<b>58,06</b>	<i>21.2</i>	<b>41,51</b>	<i>22.2</i>	<b>50,22</b>
1:1	2%	<i>3.3</i>	<b>46,42</b>	<i>4.3</i>	<b>58,03</b>	<i>21.3</i>	<b>41,35</b>	<i>22.3</i>	<b>50,17</b>
1:1	2%	<i>3.4</i>	<b>46,35</b>	<i>4.4</i>	<b>58,01</b>	<i>21.4</i>	<b>41,30</b>	<i>22.4</i>	<b>50,09</b>
1:1	2%	<i>3.5</i>	<b>46,29</b>	<i>4.5</i>	<b>57,91</b>	<i>21.5</i>	<b>41,15</b>	<i>22.5</i>	<b>49,91</b>
1:1	2%	<i>3.6</i>	<b>46,24</b>	<i>4.6</i>	<b>57,83</b>	<i>21.6</i>	<b>41,13</b>	<i>22.6</i>	<b>49,66</b>
1:1	2%	<i>3.7</i>	<b>45,86</b>	<i>4.7</i>	<b>57,70</b>	<i>21.7</i>	<b>41,00</b>	<i>22.7</i>	<b>49,63</b>
1:1	2%	<i>3.8</i>	<b>45,79</b>	<i>4.8</i>	<b>57,50</b>	<i>21.8</i>	<b>40,97</b>	<i>22.8</i>	<b>49,61</b>
1:1	2%	<i>3.9</i>	<b>45,58</b>	<i>4.9</i>	<b>57,04</b>	<i>21.9</i>	<b>40,90</b>	<i>22.9</i>	<b>49,61</b>

**Tabela 2:** Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:2

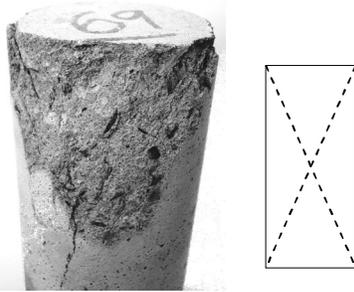
<b>Tensões de ruptura (MPa)</b>									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:2	5%	<i>5.1</i>	<b>40,18</b>	<i>6.1</i>	<b>49,40</b>	<i>23.1</i>	<b>36,41</b>	<i>24.1</i>	<b>44,77</b>
1:2	5%	<i>5.2</i>	<b>39,73</b>	<i>6.2</i>	<b>49,17</b>	<i>23.2</i>	<b>35,29</b>	<i>24.2</i>	<b>44,67</b>
1:2	5%	<i>5.3</i>	<b>39,44</b>	<i>6.3</i>	<b>48,99</b>	<i>23.3</i>	<b>35,19</b>	<i>24.3</i>	<b>44,41</b>
1:2	5%	<i>5.4</i>	<b>39,42</b>	<i>6.4</i>	<b>48,74</b>	<i>23.4</i>	<b>34,99</b>	<i>24.4</i>	<b>44,33</b>
1:2	5%	<i>5.5</i>	<b>39,22</b>	<i>6.5</i>	<b>48,64</b>	<i>23.5</i>	<b>34,78</b>	<i>24.5</i>	<b>44,21</b>
1:2	5%	<i>5.6</i>	<b>39,19</b>	<i>6.6</i>	<b>48,61</b>	<i>23.6</i>	<b>34,66</b>	<i>24.6</i>	<b>44,05</b>
1:2	5%	<i>5.7</i>	<b>38,81</b>	<i>6.7</i>	<b>48,54</b>	<i>23.7</i>	<b>34,33</b>	<i>24.7</i>	<b>44,03</b>
1:2	5%	<i>5.8</i>	<b>31,58</b>	<i>6.8</i>	<b>47,98</b>	<i>23.8</i>	<b>31,32</b>	<i>24.8</i>	<b>43,82</b>
1:2	5%	<i>5.9</i>	<b>27,53</b>	<i>6.9</i>	<b>44,46</b>	<i>23.9</i>	<b>31,04</b>	<i>24.9</i>	<b>41,71</b>
1:2	3,5%	<i>15.1</i>	<b>42,68</b>	<i>16.1</i>	<b>50,27</b>	<i>33.1</i>	<b>36,77</b>	<i>34.1</i>	<b>44,97</b>
1:2	3,5%	<i>15.2</i>	<b>42,04</b>	<i>16.2</i>	<b>50,17</b>	<i>33.2</i>	<b>36,67</b>	<i>34.2</i>	<b>44,92</b>
1:2	3,5%	<i>15.3</i>	<b>41,92</b>	<i>16.3</i>	<b>50,09</b>	<i>33.3</i>	<b>36,62</b>	<i>34.3</i>	<b>44,77</b>
1:2	3,5%	<i>15.4</i>	<b>41,63</b>	<i>16.4</i>	<b>50,06</b>	<i>33.4</i>	<b>36,41</b>	<i>34.4</i>	<b>44,56</b>
1:2	3,5%	<i>15.5</i>	<b>41,51</b>	<i>16.5</i>	<b>50,04</b>	<i>33.5</i>	<b>36,34</b>	<i>34.5</i>	<b>44,26</b>
1:2	3,5%	<i>15.6</i>	<b>40,77</b>	<i>16.6</i>	<b>49,91</b>	<i>33.6</i>	<b>36,13</b>	<i>34.6</i>	<b>44,23</b>
1:2	3,5%	<i>15.7</i>	<b>40,67</b>	<i>16.7</i>	<b>49,89</b>	<i>33.7</i>	<b>36,06</b>	<i>34.7</i>	<b>44,05</b>
1:2	3,5%	<i>15.8</i>	<b>40,59</b>	<i>16.8</i>	<b>49,66</b>	<i>33.8</i>	<b>35,91</b>	<i>34.8</i>	<b>43,95</b>
1:2	3,5%	<i>15.9</i>	<b>40,29</b>	<i>16.9</i>	<b>49,55</b>	<i>33.9</i>	<b>35,68</b>	<i>34.9</i>	<b>43,80</b>
1:2	2%	<i>7.1</i>	<b>43,44</b>	<i>8.1</i>	<b>52,51</b>	<i>25.1</i>	<b>37,69</b>	<i>26.1</i>	<b>45,63</b>
1:2	2%	<i>7.2</i>	<b>43,39</b>	<i>8.2</i>	<b>52,41</b>	<i>25.2</i>	<b>37,59</b>	<i>26.2</i>	<b>45,53</b>
1:2	2%	<i>7.3</i>	<b>43,29</b>	<i>8.3</i>	<b>52,23</b>	<i>25.3</i>	<b>37,46</b>	<i>26.3</i>	<b>45,40</b>
1:2	2%	<i>7.4</i>	<b>43,19</b>	<i>8.4</i>	<b>52,13</b>	<i>25.4</i>	<b>36,67</b>	<i>26.4</i>	<b>45,35</b>
1:2	2%	<i>7.5</i>	<b>43,16</b>	<i>8.5</i>	<b>52,00</b>	<i>25.5</i>	<b>36,36</b>	<i>26.5</i>	<b>44,92</b>
1:2	2%	<i>7.6</i>	<b>41,92</b>	<i>8.6</i>	<b>51,80</b>	<i>25.6</i>	<b>36,29</b>	<i>26.6</i>	<b>44,79</b>
1:2	2%	<i>7.7</i>	<b>41,76</b>	<i>8.7</i>	<b>51,26</b>	<i>25.7</i>	<b>36,08</b>	<i>26.7</i>	<b>44,61</b>
1:2	2%	<i>7.8</i>	<b>41,51</b>	<i>8.8</i>	<b>51,01</b>	<i>25.8</i>	<b>35,75</b>	<i>26.8</i>	<b>44,33</b>
1:2	2%	<i>7.9</i>	<b>40,77</b>	<i>8.9</i>	<b>50,88</b>	<i>25.9</i>	<b>35,65</b>	<i>26.9</i>	<b>44,28</b>

**Tabela 3:** Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:3

<b>Tensões de ruptura (MPa)</b>									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:3	5%	<i>9.1</i>	<b>37,54</b>	<i>10.1</i>	<b>46,45</b>	<i>27.1</i>	<b>35,70</b>	<i>28.1</i>	<b>43,44</b>
1:3	5%	<i>9.2</i>	<b>37,43</b>	<i>10.2</i>	<b>46,35</b>	<i>27.2</i>	<b>35,68</b>	<i>28.2</i>	<b>43,34</b>
1:3	5%	<i>9.3</i>	<b>36,87</b>	<i>10.3</i>	<b>46,09</b>	<i>27.3</i>	<b>35,55</b>	<i>28.3</i>	<b>43,24</b>
1:3	5%	<i>9.4</i>	<b>36,62</b>	<i>10.4</i>	<b>46,01</b>	<i>27.4</i>	<b>35,50</b>	<i>28.4</i>	<b>43,21</b>
1:3	5%	<i>9.5</i>	<b>36,21</b>	<i>10.5</i>	<b>45,91</b>	<i>27.5</i>	<b>35,27</b>	<i>28.5</i>	<b>42,93</b>
1:3	5%	<i>9.6</i>	<b>35,83</b>	<i>10.6</i>	<b>45,79</b>	<i>27.6</i>	<b>34,99</b>	<i>28.6</i>	<b>42,83</b>
1:3	5%	<i>9.7</i>	<b>35,40</b>	<i>10.7</i>	<b>45,76</b>	<i>27.7</i>	<b>34,91</b>	<i>28.7</i>	<b>42,73</b>
1:3	5%	<i>9.8</i>	<b>24,12</b>	<i>10.8</i>	<b>45,07</b>	<i>27.8</i>	<b>23,68</b>	<i>28.8</i>	<b>42,68</b>
1:3	5%	<i>9.9</i>	<b>23,22</b>	<i>10.9</i>	<b>44,87</b>	<i>27.9</i>	<b>22,00</b>	<i>28.9</i>	<b>42,65</b>
1:3	3,5%	<i>17.1</i>	<b>40,44</b>	<i>18.1</i>	<b>48,43</b>	<i>35.1</i>	<b>36,06</b>	<i>36.1</i>	<b>43,95</b>
1:3	3,5%	<i>17.2</i>	<b>40,23</b>	<i>18.2</i>	<b>48,38</b>	<i>35.2</i>	<b>35,63</b>	<i>36.2</i>	<b>43,88</b>
1:3	3,5%	<i>17.3</i>	<b>40,01</b>	<i>18.3</i>	<b>48,00</b>	<i>35.3</i>	<b>35,55</b>	<i>36.3</i>	<b>43,70</b>
1:3	3,5%	<i>17.4</i>	<b>39,78</b>	<i>18.4</i>	<b>47,72</b>	<i>35.4</i>	<b>35,24</b>	<i>36.4</i>	<b>43,34</b>
1:3	3,5%	<i>17.5</i>	<b>39,47</b>	<i>18.5</i>	<b>47,42</b>	<i>35.5</i>	<b>34,86</b>	<i>36.5</i>	<b>43,14</b>
1:3	3,5%	<i>17.6</i>	<b>39,24</b>	<i>18.6</i>	<b>47,29</b>	<i>35.6</i>	<b>34,58</b>	<i>36.6</i>	<b>42,81</b>
1:3	3,5%	<i>17.7</i>	<b>39,01</b>	<i>18.7</i>	<b>47,03</b>	<i>35.7</i>	<b>34,33</b>	<i>36.7</i>	<b>42,60</b>
1:3	3,5%	<i>17.8</i>	<b>38,66</b>	<i>18.8</i>	<b>46,47</b>	<i>35.8</i>	<b>34,15</b>	<i>36.8</i>	<b>42,58</b>
1:3	3,5%	<i>17.9</i>	<b>31,73</b>	<i>18.9</i>	<b>46,24</b>	<i>35.9</i>	<b>34,02</b>	<i>36.9</i>	<b>41,38</b>
1:3	2%	<i>11.1</i>	<b>41,25</b>	<i>12.1</i>	<b>51,34</b>	<i>29.1</i>	<b>36,26</b>	<i>30.1</i>	<b>44,87</b>
1:3	2%	<i>11.2</i>	<b>41,02</b>	<i>12.2</i>	<b>50,90</b>	<i>29.2</i>	<b>36,16</b>	<i>30.2</i>	<b>44,84</b>
1:3	2%	<i>11.3</i>	<b>40,82</b>	<i>12.3</i>	<b>50,80</b>	<i>29.3</i>	<b>35,35</b>	<i>30.3</i>	<b>44,77</b>
1:3	2%	<i>11.4</i>	<b>40,44</b>	<i>12.4</i>	<b>50,57</b>	<i>29.4</i>	<b>34,96</b>	<i>30.4</i>	<b>44,51</b>
1:3	2%	<i>11.5</i>	<b>40,36</b>	<i>12.5</i>	<b>50,50</b>	<i>29.5</i>	<b>34,73</b>	<i>30.5</i>	<b>44,41</b>
1:3	2%	<i>11.6</i>	<b>40,34</b>	<i>12.6</i>	<b>50,27</b>	<i>29.6</i>	<b>34,38</b>	<i>30.6</i>	<b>44,33</b>
1:3	2%	<i>11.7</i>	<b>40,26</b>	<i>12.7</i>	<b>50,09</b>	<i>29.7</i>	<b>34,25</b>	<i>30.7</i>	<b>44,13</b>
1:3	2%	<i>11.8</i>	<b>40,18</b>	<i>12.8</i>	<b>49,73</b>	<i>29.8</i>	<b>34,20</b>	<i>30.8</i>	<b>44,16</b>
1:3	2%	<i>11.9</i>	<b>39,32</b>	<i>12.9</i>	<b>49,63</b>	<i>29.9</i>	<b>26,48</b>	<i>30.9</i>	<b>43,65</b>

Foi possível observar que nos traços produzidos com o uso do aditivo, o material apresentou porosidade na superfície, indicando a incorporação de ar, Figura 3. Nestas misturas, foi possível observar que o processo de desmoldagem pôde ser feito sem problemas, não havendo aderência excessiva dos corpos-de-prova com os moldes. Para as misturas com 5% de madeira, foi possível visualizar fibras da madeira aparentes na superfície dos corpos-de-prova, assim como coloração ligeiramente mais escura do que as

argamassas tradicionais. Após o ensaio de rompimento por compressão axial, foi observado que os corpos de prova não aditivados com 5% de madeira e os aditivados com 3,5 e 5% apresentaram praticamente o mesmo comportamento na ruptura, de forma cônica, segundo a classificação da NBR 5739 [9]. Um exemplo é mostrado na Figura 4.



**Figura 2:** Fissuração típica dos traços mais ricos em cimento.

Os demais traços (mais pobres) apresentaram fissuras colunares, segundo a classificação da NBR 5739 (Figura 5).



**Figura 3:** Fissuração típica dos traços mais pobres em cimento

O estudo da dispersão, sintetizado na Tabela 5, foi feito em planilhas eletrônicas onde os valores acima de 8% são automaticamente destacados em *itálico*. Esta análise mostrou que os traços com 5% de madeira têm comportamento menos uniforme por apresentarem valores de dispersão comparativamente mais altos.

**Tabela 4:** Análise de dispersão em % para os traços moldados.

Resíduo	Cimento	Aditivo	Traço		
			1:1	1:2	1:3
5%	CP I	Não	18,2901	45,9759	61,6228
		Sim	32,8225	11,1111	3,5187
	CP II	Não	24,4898	17,3093	62,2685
		Sim	23,0383	7,3260	1,8507
3,5%	CP I	Não	13,0491	5,9418	27,4478
		Sim	8,4168	1,4388	4,7357
	CP II	Não	9,0287	3,0692	5,9880
		Sim	4,4395	2,6744	6,2154
2%	CP I	Não	3,2402	6,5584	4,9223
		Sim	2,0536	3,2032	3,4377
	CP II	Não	1,9925	5,7143	36,9231
		Sim	1,6427	3,0477	2,8005

**Tabela 5:** Análise de variância para o uso de aditivo.

Variável	Traço	Resíduo	Cimento	F	F crítico	Análise
Uso de aditivo	1:1	5%	CP I	22,526	4,494	R
			CP II	60,559	4,494	R
		3,5%	CP I	148,151	4,494	R
			CP II	341,496	4,494	R
		2%	CP II	3167,457	4,494	R
			CP I	4016,780	4,494	R
	1:2	5%	CP I	49,164	4,494	R
			CP II	207,512	4,494	R
		3,5%	CP I	951,148	4,494	R
			CP II	1825,718	4,494	R
		2%	CP II	564,189	4,494	R
			CP I	714,514	4,494	R
	1:3	5%	CP I	39,928	4,494	R
			CP II	31,661	4,494	R
		3,5%	CP I	87,303	4,494	R
			CP II	501,029	4,494	R
		2%	CP II	1435,160	4,494	R
			CP I	108,034	4,494	R
R - Representativo			NR - Não representativo			

**Tabela 6:** Análise de variância para o tipo de cimento.

Variável	Traço	Aditivo	Resíduo	F	F crítico	Análise
Cimento	1:1	Não	5%	25,816	4,494	R
			3,50%	37,973	4,494	R
			2%	715,600	4,494	R
		Sim	5%	0,845	4,494	NR
			3,50%	98,633	4,494	R
			2%	2487,342	4,494	R
	1:2	Não	5%	3,473	4,494	NR
			3,50%	292,748	4,494	R
			2%	190,920	4,494	R
		Sim	5%	54,122	4,494	R
			3,50%	1162,111	4,494	R
			2%	656,814	4,494	R
	1:3	Não	5%	0,173	4,494	NR
			3,50%	16,726	4,494	R
			2%	40,277	4,494	R
		Sim	5%	188,590	4,494	R
			3,50%	138,130	4,494	R
			2%	696,181	4,494	R
R - Representativo			NR - Não representativo			

**Tabela 7:** Análise de variância para o traço.

Variável	Cimento	Aditivo	Resíduo	F	F crítico	Análise
Traço	CP I	Não	5%	5,393	3,403	R
			3,5%	12,623	3,403	R
			2%	150,418	3,403	R
		Sim	5%	<b>2,851</b>	<b>3,403</b>	<b>NR</b>
			3,5%	60,867	3,403	R
			2%	514,862	3,403	R
	CP II	Não	5%	<b>0,580</b>	<b>3,403</b>	<b>NR</b>
			3,5%	63,253	3,403	R
			2%	37,605	3,403	R
		Sim	5%	6,629	3,403	R
			3,5%	81,081	3,403	R
			2%	475,960	3,403	R
R – Representativo		NR - Não representativo				

**Tabela 8:** Análise de variância para o teor de resíduo.

Variável	Traço	Cimento	Aditivo	F	F crítico	Análise
Teor de resíduo	1:1	CP I	Não	24,740	3,403	R
			Sim	22,504	3,403	R
		CP II	Não	36,894	3,403	R
			Sim	4,913	3,403	R
	1:2	CP I	Não	9,478	3,403	R
			Sim	31,642	3,403	R
		CP II	Não	11,140	3,403	R
			Sim	5,188	3,403	R
	1:3	CP I	Não	8,237	3,403	R
			Sim	123,708	3,403	R
		CP II	Não	0,954	3,403	NR
			Sim	18,917	3,403	R
R - Representativo			NR - Não representativo			

Observa-se na Tabela 6 a representatividade do uso de aditivo em todas as misturas analisadas, o que destaca e ratifica a importância de seu uso.

A análise comparativa entre os dois tipos de cimento usados mostrou que para alguns traços com teor de 5% de madeira, não houve alteração apreciável na resistência mecânica, conforme é possível verificar na Tabela 12. Ou seja, nestas misturas, o efeito da adição de resíduos de madeira resultou em efeito preponderante na resistência.

A variação do traço mostrou-se representativa na maioria das análises, exceto nos dois casos acima, onde as misturas contendo 5% de madeira não demonstraram variação apreciável.

Na Tabela 7, vemos que o traço 1:3, moldado sem aditivo e com cimento CP II, foi o único a não apresentar representatividade estatística para a variação no teor de resíduo estudada. Esta mistura em particular é a de características mais adversas dentre todas as estudadas.

A Tabela 8 mostra a análise de variância para o traço, onde praticamente todas as comparações mostraram-se estatisticamente representativas, exceto em dois casos destacados em negrito. Já a análise da variação do teor de resíduo, só não foi estatisticamente representativa em um único caso, destacado em negrito na Tabela 9.

#### 4 CONCLUSÕES

Verificou-se que quando do uso de aditivo acelerador de pega, a resistência mecânica obtida foi muito próxima à da argamassa comum produzida nos ensaios preliminares. O uso de aditivo mostrou-se eficaz também para o aumento da resistência mecânica e redução do consumo de cimento, além de permitir maior produtividade ao desmoldarem-se as formas com maior rapidez do que as argamassas comuns. Para os traços mais ricos em cimento, o tempo de desmoldagem que para o traço 1:3 chegou a ser de 3 dias, foi reduzido para cerca de 8 horas.

Foi possível notar discreto aumento na relação água-cimento para a trabalhabilidade fixada.

Quanto ao consumo de cimento, o uso de aditivo permitiu a obtenção de resistências mecânicas mais elevadas, logo, para uma mesma resistência dada, é possível reduzir-se este consumo. Como esperado, a adição da madeira na forma de serragem diminuiu a resistência à compressão do material, conforme vemos na análise estatística.

Os traços de composição mais desfavorável, em geral com cimento CII, 5% de madeira e/ou menor consumo de cimento apresentaram maiores valores de dispersão provavelmente pela maior dificuldade de moldagem.

A relação água/cimento não apresentou correlação matemática definida com o índice de consistência nos ensaios realizados. Neste cenário, torna-se nítida a dificuldade em se manter a trabalhabilidade de misturas contendo materiais fibrosos, e em particular quando estes materiais são capazes de absorver a água de amassamento.

#### 5 BIBLIOGRAFIA

- [1] SAVASTANO JR, H., DANTAS, F.A.S., AGOPYAN, V., *Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra matriz e propriedades mecânicas*, São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994.
- [2] LATORRACA, J.V.F., “Estudo comparativo entre dois métodos utilizados na avaliação da aptidão da madeira para uso em chapas de cimento-madeira”, In: *VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*, 2002.
- [3] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, São Paulo, Pini, 1994.
- [4] GASSAN, J., *A study of fiber and interface parameters affecting the fatigue behavior of natural fiber composites*, Institute für Werstofftechnik, University of Kassel, Kassel, Germany, 2001.
- [5] NBR 5732, *Cimento Portland Comum*, Rio de Janeiro, ABNT, 1991.
- [6] NBR 5732, *Cimento Portland Composto*, Rio de Janeiro, ABNT, 1998.
- [7] NBR 7211, *Agregados para Concreto*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [8] NBR 7217, *Determinação da Composição Granulométrica*, Rio de Janeiro, ABNT, 1987.
- [9] NBR 5739, *Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos*, Rio de Janeiro, ABNT, 1994.