



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

**MARCELO RAMOS NETTO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO CAROÇO DO DENDÊ MOÍDO APLICADO  
COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO NATURAL NA  
ARGAMASSA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ALEGRETE**

**2018**

**MARCELO RAMOS NETTO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO CAROÇO DO DENDÊ MOÍDO APLICADO  
COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO NATURAL NA  
ARGAMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
*Stricto Sensu* em Engenharia – PPEng da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Luis Ernesto Roca Bruno

**Alegrete**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

N476e Netto, Marcelo Ramos  
Estudo da viabilidade do caroço de dendê moído aplicado  
como substituição parcial ao agregado natural na argamassa /  
Marcelo Ramos Netto.  
120 p.  
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Pampa,  
MESTRADO EM ENGENHARIAS, 2018.  
"Orientação: LUIS ERNESTO ROCA BRUNO BRUNO".  
1. Dendê. 2. Argamassa. 3. Propriedades. I. Título.

**MARCELO RAMOS NETTO**

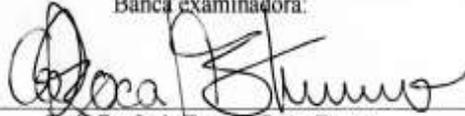
**ESTUDO DA VIABILIDADE DO CAROÇO DE DENDÊ MOÍDO APLICADO COMO  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO NATURAL NA ARGAMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação  
Stricto Sensu em Engenharia – PPEng da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção  
do Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Tecnologia de materiais

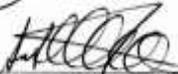
Dissertação defendida e aprovada em: 30 de janeiro de 2018

Banca examinadora:



Prof. Dr. Luis Ernesto Roca Bruno  
Orientador

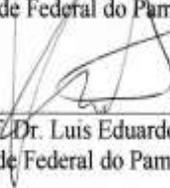
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA



Prof. Dra. Ana Claudia Costa de Oliveira  
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA



Prof. Dr. Cesar Flaubiano da Cruz Cristaldo  
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA



Prof. Dr. Luis Eduardo Kostaski  
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus, por me dar saúde e disposição ao longo dessa caminhada.

À Universidade Federal do Pampa por disponibilizar a infraestrutura do Laboratório de Materiais de Construção Civil para a realização dos ensaios necessários à realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luis Ernesto Roca Bruno, pela orientação e contribuições, para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Prof. Me. Aldo Leonel Temp, pelos auxílios tanto em laboratório quanto em orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Aos laboratoristas Eng. Me. Marcelo de Oliveira e a Raquel Machado, pelas orientações e assistência no decorrer dos ensaios.

À minha amada esposa pelo apoio, carinho e incentivo no decorrer deste trabalho.

A minha família, minha sincera gratidão pelo constante incentivo e apoio aos meus estudos.

E a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram a concretizar este trabalho.

## RESUMO

Este trabalho verifica a viabilidade e o desempenho da argamassa com substituição parcial de areia natural pelo caroço de dendê moído, através das avaliações referentes às seguintes propriedades: índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado no estado fresco, e absorção de água por capilaridade, resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão, no estado endurecido. O traço utilizado como referência apresenta os seguintes componentes: cimento, areia e água, enquanto os demais traços possuem substituição parcial com: 5%, 15% e 30% de caroço de dendê moído. Todos os traços, referência e substituições foram confeccionados em massa e volume, com fator água/cimento variável e fixo, respectivamente. Quanto ao índice de consistência, observou-se que com o aumento do teor de substituição foi necessário aumentar o fator água/cimento para que a argamassa apresentasse uma consistência adequada para os traços em massa. A densidade da argamassa diminuiu com o aumento do teor das substituições parciais, enquanto o teor de ar incorporado era maior quanto maior fosse o percentual de substituição parcial, relação interrompida na substituição parcial de 30%. Para a absorção de água por capilaridade, em ambos os traços, verificou-se que os traços de referência e substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentaram a mesma classificação junto à norma específica. Em relação ao comportamento mecânico, os resultados foram considerados satisfatórios para os traços com 5%, 15% e 30% de substituição parcial. Sendo assim, pode-se afirmar que o uso do caroço de dendê na argamassa é viável e que os traços, com 5% e 15% de substituição parcial, apresentaram resultados satisfatórios em ambos os estados da argamassa, fresco e endurecido. No entanto, a argamassa com 15% de substituição parcial, em volume, se apresenta como a melhor opção dentre os aspectos: técnico, econômico e ambiental.

**Palavras-chave:** dendê, argamassa, propriedades.

## ABSTRACT

This work verifies the viability and performance of the mortar with partial replacement of natural sand by the milled palm, through the evaluations of the following properties: consistency index, density and air content incorporated in the fresh state, and absorption of water by capillarity, axial compressive strength and flexural tensile strength in the hardened state. The trace used as reference has the following components: cement, sand and water, while the other traces have partial replacement with: 5%, 15% and 30% of ground palm oil. All traces, references and substitutions were made in mass and volume, with variable / fixed water / cement factor, respectively. As for the consistency index, it was observed that with the increase of the substitution content it was necessary to increase the water / cement factor so that the mortar presented an adequate consistency for the mass traces. The density of the mortar decreased with the increase in the content of the partial substitutions, while the incorporated air content was larger the higher the percentage of partial replacement, the interrupted ratio in the partial replacement of 30%. For the absorption of water by capillarity, in both traces, it was verified that the reference traces and partial replacement with 5% of ground palm oil, presented the same classification next to the specific norm. Regarding the mechanical behavior, the results were considered satisfactory for the traits with 5%, 15% and 30% of partial replacement. Thus, it can be stated that the use of palm oil in the mortar is feasible and that the traces, with 5% and 15% partial replacement, presented satisfactory results in both fresh and hardened mortar states. However, the mortar with 15% partial replacement, in volume, is presented as the best option among the technical, economic and environmental aspects.

**Keywords:** palm, mortar, properties.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Consistência das argamassas .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2 – Planta de dendezeiro e frutos .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 3 – Composição do fruto .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 4 – Classificação dos frutos referentes às variadas espessuras do endocarpo .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5 – Equipamento de difração de raios X utilizado .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 6 – Difração de Raios X do caroço de dendê .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7 – Microscopia do caroço de dendê com ampliação de 500 X (A) e de 1500 X (B) .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8 – Microscopia dos corpúsculos de sílica e potrusões no caroço de dendê com ampliação de 3000 X .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 9 – Microdureza Vickers: equipamento (A) e embutimento da amostra (B) .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 10 – Mapa da localização de Valença-Ba .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 11 – Triturador TRAPP – THF 400 – Super .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 12 – Pesagem do recipiente para o ensaio de teor de ar incorporado .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 13 – Ensaio de resistência à compressão axial .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 14 – Ensaio de resistência à tração na flexão .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 15 – Peneiras da série normal utilizadas para o dendê moído e a areia .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 16 – Curvas granulométricas dos caroços de dendê moídos utilizados (traço em massa e em volume) .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 17 – Curvas granulométricas das areias naturais utilizadas em ambos os traços: em massa e em volume caroço de dendê moído .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 18 – Amostras de areia ensaiadas no frasco de Chapman (traço em massa) .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 19 – Curvas granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 5% (traços em massa e em volume) .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 20 – Curvas granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 15% (traços em massa e em volume) .....</b>	<b>69</b>

<b>Figura 21 – Curvas granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 30% (traços em massa e em volume) .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 22 – Ensaio da massa específica do cimento através de Le Chatelier .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 23 – Ensaio de consistência do traço de referência (traço em massa) .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 24 – Ensaio de consistência com acréscimo de água (traço 15%) .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 25 – Ensaio de consistência com acréscimo de água (traço 30%) .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 26 – Ensaio de consistência com fator a/c fixo (traço referencial) .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 27 – Ensaio de consistência com fator a/c fixo (traço 5%) .....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Composição granulométrica do caroço de dendê moído (traço em massa) .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 2 – Composição granulométrica do caroço de dendê moído (traço em volume) .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 3 – Composição granulométrica da areia natural (traço em massa) .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 4 – Composição granulométrica da areia natural (traço em volume) .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 5 – Massa específica da areia (traço em massa) .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 6 – Massa específica da areia (traço em volume) .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 7 – Massa unitária da areia (traço em massa) .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 8 – Massa unitária da areia (traço em volume) .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 9 – Composições granulométricas das substituições parciais (traço em massa) .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 10 – Composições granulométricas das substituições parciais (traço em volume) .....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 11 – Massa específica do cimento – lote fevereiro (traço em massa) .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 12 – Massa específica do cimento – lote setembro (traço em volume) .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 13 – Resultados físicos obtidos com a empresa que produziu o cimento (lote de fevereiro 2017) .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 14 – Resultados físicos e químicos obtidos junto à empresa (lote de fevereiro 2017) .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 15 – Resultados físicos obtidos com a empresa que produziu o cimento (lote de setembro 2017) .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 16 – Resultados físicos e químicos obtidos junto à empresa (lote de setembro 2017) .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 17 – Índices de consistência e fator água/cimento dos traços ensaiados .....</b>	<b>78</b>

<b>Tabela 18 – Índices de consistência e fator água/cimento fixo dos traços ensaiados .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabela 19 – Densidades e teores de ar incorporado dos traços ensaiados (traço em massa) .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabela 20 – Densidades e teores de ar incorporado dos traços ensaiados (traço em volume).....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 21 – Resumo dos resultados no estado fresco (traço em massa) .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 22 – Resumo dos resultados no estado fresco (traço em volume) .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 23 – Absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados (traço em massa) .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabela 24 – Massas dos corpos de prova após o ensaio de absorção de água por capilaridade (traço em massa) .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabela 25 – Absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados (traço em volume) .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabela 26 – Massas dos corpos de prova após o ensaio de absorção de água por capilaridade (traço em volume) .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabela 27 – Resistências à compressão axial para os traços ensaiados (traço em massa) .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabela 28 – Resistências à compressão axial para os traços ensaiados (traço em volume) .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabela 29 – Resistências à tração na flexão nos diferentes traços ensaiados (traço em massa) .....</b>	<b>103</b>
<b>Tabela 30 – Resistências à tração na flexão nos diferentes traços ensaiados (traço em volume) .....</b>	<b>105</b>
<b>Tabela 31 – Resumo dos resultados no estado endurecido (traço em massa) .....</b>	<b>107</b>
<b>Tabela 32 – Resumo dos resultados no estado endurecido (traço em volume) .....</b>	<b>108</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Resultados para os traços em estudo quanto ao fator <math>a/c</math> utilizado para atingir a consistência almejada (traço em massa) .....</b>	<b>79</b>
<b>Gráfico 2 – Resultados para os traços em estudo quanto ao coeficiente de capilaridade (traço em massa) .....</b>	<b>94</b>
<b>Gráfico 3 – Resultados para os traços em estudo quanto ao coeficiente de capilaridade (traço em volume) .....</b>	<b>97</b>
<b>Gráfico 4 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à compressão axial (traço em massa) .....</b>	<b>100</b>
<b>Gráfico 5 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à compressão axial (traço em volume) .....</b>	<b>102</b>
<b>Gráfico 6 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à tração na flexão (traço em massa) .....</b>	<b>104</b>
<b>Gráfico 7 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à tração na flexão (traço em volume) .....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

ASTM - American society for testing and materials

CIC – Conselho internacional da construção

CP – Cimento Portland

DRX – Difração de raio x

IPT – Instituto de pesquisas tecnológicas

MEV- Microscopia eletrônica de varredura

N - Newton

NBR- Norma brasileira regulamentadora

NM – Norma mercosul

PET - Polietileno tereftalato

a/c – água/cimento

cm – Centímetros

cps – Corpo (s) de prova

## LISTA DE SÍMBOLOS

- A – Densidade de massa da argamassa (Equação 4)
- A – Área da zona comprimida (Equação 9)
- Al – Teor de ar incorporado
- At – Absorção de água por capilaridade
- B – Densidade de massa teórica da argamassa (sem vazios)
- C – Coeficiente de capilaridade
- F – Carga aplicada no centro do prisma na rótura
- fc – Resistência à compressão
- Ff – Carga aplicada verticalmente no centro do prisma
- L – Distância entre os suportes
- I – Leitura do frasco
- Mc – Massa do recipiente cheio de argamassa
- Mi – Massa seca de cada componente da argamassa, inclusive massa da água
- m – massa (Equação 2)
- m = massa do frasco com líquido e cimento (Equação 3)
- mo – Massa do corpo de prova seco
- mt – Massa do corpo de prova durante o ensaio
- Mv – Massa do recipiente vazio
- RF – Resistência à tração na flexão
- Vr – Volume do recipiente
- v = volume do frasco somados líquido e cimento
- Yi – densidade de massa de cada componente da argamassa
- $\gamma$  - massa específica do agregado miúdo (Equação 1)
- $\delta$  - massa unitária
- $\gamma$  = massa específica do aglomerante (Equação 3)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>1.1 Contextualização do tema de pesquisa</b> .....	19
<b>1.2 Definição do problema e tema de pesquisa</b> .....	19
<b>1.3 Objetivos</b> .....	20
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	20
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	20
<b>1.4 Justificativa</b> .....	21
<b>1.5 Estrutura e organização do texto</b> .....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1 Argamassa</b> .....	23
<b>2.2 Tipos de argamassa</b> .....	23
<b>2.3 Materiais constituintes da argamassa</b> .....	26
<b>2.3.1 Aglomerantes</b> .....	26
<b>2.3.2 Agregados</b> .....	27
<b>2.3.3 Água</b> .....	28
<b>2.4 Propriedades das argamassas</b> .....	29
<b>2.4.1 Propriedades da argamassa no estado fresco</b> .....	29
<b>2.4.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido</b> .....	32
<b>2.5 Requisitos da argamassa</b> .....	33
<b>2.6 Breve Histórico do dendê</b> .....	33
<b>2.6.1 Ecofisiologia do dendezeiro e sua importância socioeconômica</b> .	34
<b>2.7 Resultados da caracterização físico-química do caroço de dendê</b> .....	37
<b>2.7.1 Difração de raio x (DRX)</b> .....	37
<b>2.7.2 Microscópio eletrônico de varredura por elétrons secundários (MEV)</b> .....	38
<b>2.7.3 Microdureza Vickers</b> .....	40
<b>2.7.4 Massa específica do dendê</b> .....	41
<b>2.8 Pesquisas utilizadas como parâmetro quanto à argamassa com substituição parcial</b> .....	42
<b>2.8.1 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos componentes do traço referencial</b> .....	42

<b>2.8.2 Substituições parciais junto à argamassa quanto à consistência</b>	<b>43</b>
<b>2.8.3 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos tipos de traço: massa e volume; e quanto a proporção dos traços</b>	<b>43</b>
<b>2.8.4 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos corpos de prova moldados</b>	<b>44</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Materiais a serem utilizados</b>	<b>45</b>
<b>3.1.1 Carço de dendê</b>	<b>46</b>
<b>3.1.2 Areia natural</b>	<b>47</b>
<b>3.1.3 Cimento</b>	<b>47</b>
<b>3.1.4 Água</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Métodos</b>	<b>48</b>
<b>3.2.1 Avaliações das propriedades da argamassa</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1.1 Avaliações das propriedades da argamassa no estado fresco</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.1.1 Índice de consistência</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.2 Avaliações das propriedades da argamassa no estado endurecido</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1.2.1 Absorção de água por capilaridade</b>	<b>53</b>
<b>3.2.1.2.2 Resistência à compressão axial</b>	<b>54</b>
<b>3.2.1.2.3 Resistência à tração na flexão</b>	<b>55</b>
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>57</b>
<b>4.1 Caracterização do carço de dendê</b>	<b>57</b>
<b>4.2 Caracterização da areia natural</b>	<b>60</b>
<b>4.2.1 Massa específica da areia natural</b>	<b>63</b>
<b>4.2.2 Massa unitária da areia natural</b>	<b>64</b>
<b>4.2.2.1 Composições granulométricas das substituições parciais com areia natural/carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em massa</b>	<b>66</b>

4.2.2.2 Composições granulométricas das substituições parciais com areia natural/carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em volume .....	67
4.2.2.3 Curvas granulométricas das substituições parciais com areia natural/carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traços em massa e em volume .....	68
4.3 Massa específica do cimento .....	70
4.4 Resultados dos ensaios realizados no estado fresco da argamassa .	74
4.4.1 Índice de consistência .....	74
4.4.1.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa ...	75
4.4.1.1.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em massa .....	76
4.4.1.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume .	79
4.4.1.2.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em volume .....	80
4.4.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado .....	82
4.4.2.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa ..	82
4.4.2.1.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em massa .....	83
4.4.2.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume .	84
4.4.2.2.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em volume .....	84
4.4.2.3 Resultados dos ensaios de densidade e teor de ar incorporado para os traços ensaiados: em massa e em volume .....	85
4.4.3 Resumo dos resultados no estado fresco .....	87
4.4.4 Resultados dos ensaios realizados no estado endurecido .....	90
4.4.4.1 Absorção de água por capilaridade .....	90
4.4.4.1.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa	90
4.4.4.1.1.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em massa .....	90
4.4.4.1.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume	91
4.4.4.1.2.1 Argamassa com substituições parciais do agregado miúdo por carço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traço em volume .....	92

<b>4.4.4.1.3 Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados .....</b>	<b>92</b>
<b>4.4.4.2 Resistência à compressão axial .....</b>	<b>98</b>
<b>4.4.4.3 Resistência à tração na flexão .....</b>	<b>102</b>
<b>4.4.4.4 Resumo dos resultados no estado endurecido .....</b>	<b>106</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>110</b>
<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>111</b>
<b>Referências .....</b>	<b>112</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Contextualização do tema de pesquisa**

Na construção civil se apresentam algumas limitações em se tratando de disponibilidade e custo em relação aos materiais convencionais para execução de projetos arquitetônicos, o que faz com que seja estimulado o desenvolvimento de novos produtos. O progresso visto em pesquisas com materiais compósitos demonstram um avanço considerável em relação a esses estudos (KITAMURA, 2006).

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 7200 (ABNT, 1998) define a argamassa como sendo a mistura de aglomerantes e agregados com água, tendo capacidade de aderência e endurecimento. Além desses componentes, a argamassa pode apresentar o acréscimo de produtos especiais, com a finalidade de melhorar ou acrescentar certas propriedades ao conjunto (DUBAJ, 2000).

As argamassas são muito utilizadas na construção civil, sendo empregadas conforme seu uso específico o fator determinante do tipo de aglomerante ou ainda, da mistura de tipos diversos de aglomerantes. Por exemplo, as argamassas de cimento que têm seu uso em alvenarias de alicerces pela resistência que é exigida e em especial pela sua favorável condição de endurecimento. Também são utilizadas para chapisco pela sua resistência em curto prazo, nos revestimentos onde são exigíveis as condições de umidade, como por exemplo, interior de reservatórios de água e em pisos cimentados, onde são exigidas resistência mecânica e ao desgaste.

### **1.2 Definição do problema e tema de pesquisa**

A diversidade e disponibilidade de materiais no mercado para que haja produção do revestimento de argamassa é consequência da incessante busca de soluções racionalizadas por projetistas e construtores, com intuito de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto final. Com base nisso, observando essa realidade e oportunidade, os fabricantes de materiais, têm criado produtos novos, buscando ampliar seu mercado (SILVA, 2005).

A indústria da construção civil é o setor de atividades humanas que possui maior consumo de recursos naturais, causando graves impactos ambientais segundo o Conselho Internacional da Construção (CIC). Estima-se que mais da metade dos resíduos sólidos produzidos pelas diferentes atividades humanas tenham origem na construção civil. Ainda, quanto à emissão de gases do efeito estufa à atmosfera, a terceira maior responsável é a construção civil, e com base nisso e em outros fatores, se dá a busca incessante por uma construção sustentável. A extração da areia nos rios acaba até mesmo mudando sua calha natural, o que modifica muito sua vazão, e que faz com que o processo de erosão em suas margens seja apressado, provocando assim, assoreamento em alguns pontos do canal, fazendo com que haja retenção de água nesses pontos, tornando os mesmos, ambientes propícios a proliferação de vetores, como por exemplo, *Aedes Aegypti* (Mosquito da Dengue) (SILVA et al., 2013).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade da argamassa modificada com substituição de areia natural pelo caroço de dendê moído, compreendendo seu comportamento em determinadas propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Avaliar as seguintes propriedades da argamassa no estado fresco: índice de consistência, massa específica e teor de ar incorporado, todos em conformidade as suas respectivas normas;
2. Para o estado endurecido verificar a propriedade física de absorção de água por capilaridade da argamassa;
3. Para o estado endurecido, por meio dos ensaios de compressão axial e tração à flexão, verificar as propriedades mecânicas da argamassa.

#### **1.4 Justificativa**

O Brasil mostrou um grande aumento no número de construções nos últimos anos, o que tem exigido por parte dos gestores um controle maior sobre os produtos e processos, algo que não é facilmente alcançado, haja vista a grande variabilidade na produção de certos insumos dentro do canteiro de obras.

Até mesmo pelos riscos ambientais inerentes à extração de areia natural, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre a viabilidade da substituição de agregado miúdo natural.

O dendê é matéria-prima para uma série de produtos, não se restringindo apenas ao azeite. Porém, ao fim do seu processo produtivo, quando há a extração do óleo do fruto do dendê pela segunda vez, há a quebra do caroço do dendê, e o material acaba não tendo uma destinação adequada, sendo descartado e gerando resíduos. Com isso, surgiu a ideia de estudar as características desse material, e posteriormente aplica-lo na engenharia, mais especificamente na argamassa como substituição parcial à areia. Utilizando dessa forma um material orgânico na composição da argamassa, sendo necessário verificar a viabilidade de sua utilização. Soma-se a isso, a preocupação crescente da sociedade para com o meio ambiente e a utilização de produtos corretos ecologicamente, temos o dendê como uma interessante opção de matéria-prima.

Porém, não há praticamente estudos sobre a utilização do caroço de dendê aplicado em engenharia civil, e menos ainda como um componente em argamassas. Com isso, as pesquisas realizadas por outros autores que utilizaram resíduos de origens diversas, tais como: Braga (2012); Oliveira (2013); Farinha (2015) e de origem orgânica, tais como: Souza (2008); Lima (2009); Cavalcanti (2013) e Paes (2015) como componentes nas argamassas em substituições ao agregado natural são utilizados como parâmetro.

#### **1.5 Estrutura e organização do texto**

O presente trabalho está elaborado em cinco capítulos, no intuito de alcançar todos os objetivos inicialmente propostos.

No capítulo um, é realizada a contextualização do tema de pesquisa, os objetivos (geral e específico), considerando a importância do mesmo e a justificativa para escolha do tema em questão para o estudo.

No capítulo dois, é apresentada a revisão bibliográfica do trabalho, composta desde os conceitos sobre a argamassa, características, propriedades e requisitos da mesma, passando pelo caroço de dendê e suas peculiaridades, além de pesquisas que foram utilizadas como parâmetros nesse estudo.

No capítulo três, são apresentados e analisados os procedimentos metodológicos, a qual utiliza como base os critérios adotados para escolha da amostra objeto do estudo em questão, a coleta dos dados e materiais, além dos ensaios que serão realizados na argamassa com e sem adição do caroço do dendê.

No capítulo quatro, os resultados encontrados são apresentados, para as argamassas confeccionadas para o estudo, com seus diferentes traços e peculiaridades, bem como os ensaios realizados.

No capítulo cinco são realizadas as conclusões, referentes aos resultados dos ensaios para as argamassas em estudo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos, características, propriedades e requisitos das argamassas. Sendo abordada também uma revisão sobre o dendê, além de apresentar resultados obtidos no grupo de pesquisa, que gerou a tese de mestrado intitulada “Caracterização Físico Química do caroço de Dendê Visando Futuras Aplicações”, que servem de parâmetro para essa pesquisa (HOFFMAN, 2016) e por fim pesquisas na área de enchimento de argamassas com substituição parcial.

### **2.1 Argamassa**

As 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.

Dentro da construção civil as argamassas apresentam diversas finalidades, vindo a serem empregadas desde a execução da edificação até a conclusão da mesma. Logo, vários conceitos podem ser atribuídos à mesma, ou seja, dependerá da finalidade que for estabelecida a essa argamassa (CARASEK, 2007).

Pode-se dizer que a argamassa é uma pasta misturada ao agregado. Esta pasta por sua vez é um aglomerante misturado com água, a qual a mesma não é utilizada sozinha por razões econômicas e pelo efeito indesejado da retração. As argamassas são obtidas da mistura de um material ativo, a pasta (cimento e água), e um material inerte, que é o agregado. O agregado torna a argamassa mais econômica, além de equilibrar sua retração (HANAY, 1992). A relação água/cimento (a/c) é o parâmetro essencial dentro da tecnologia tanto da argamassa, como do concreto (SCHUTTER, 2004).

### **2.2 Tipos de argamassa**

O tipo de argamassa a se utilizar depende da função que a parede vai exercer, do tipo de bloco utilizado e das condições de exposição a qual a parede estará sujeita. Para selecionar o tipo de argamassa a ser utilizado, devemos efetuar um balanço entre o que se deseja da alvenaria e as propriedades dos vários

tipos de misturas, considerando que não existe um único tipo de argamassa que seja o melhor para todos os tipos de aplicações.

De acordo com Isaia (2010), as argamassas são classificadas conforme suas funções, sendo elas: na construção de alvenaria, no revestimento de paredes e tetos, no revestimento de pisos, para revestimentos cerâmicos ou ainda na recuperação de estruturas. A NBR 13281 (ABNT, 2005) traz uma classificação, definindo os diversos tipos de argamassa conforme o uso e aplicação de cada uma dessas:

#### a) Argamassa para assentamento

Tem sua utilização na elevação de paredes e muros de blocos ou tijolos. Para um bom desempenho das argamassas de assentamento são essenciais as propriedades de: trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

#### b) Argamassa de revestimento

São utilizadas para revestir muros, paredes e tetos, que de forma geral, recebem acabamentos como pintura, laminados, revestimentos cerâmicos, etc. Camadas apresentadas: chapisco, emboço, reboco (argamassa convencional), além de argamassa de camada única e revestimento monocamada decorativo.

- Chapisco: Considerada uma camada de preparo da base, cuja finalidade é uniformizar a superfície em relação a absorção e ainda melhorar a aderência do revestimento em questão.
- Emboço: Considerada uma camada de revestimento executada com intuito de cobrir e regularizar a base, para que a superfície possa receber outra camada, sendo de reboco ou ainda de revestimento decorativo, como por exemplo, a cerâmica.
- Reboco: Considerada uma camada cuja utilização se dá para o cobrimento do emboço, que pode propiciar a superfície o recebimento de outra camada, o revestimento decorativo, como exemplo a pintura, ou ainda pode se constituir no acabamento final.

- Camada única: Considerado um revestimento de um único tipo de argamassa que é aplicado à base, sobre o qual será aplicada uma camada decorativa, como exemplo a pintura.
- Revestimento decorativo ou Monocamada: Considerado um revestimento cuja aplicação é realizada em uma única camada, que possui as funções de regularização e decoração.

### c) Argamassa de uso geral

Tem seu uso indicado para assentamento de alvenaria que não haja função estrutural, além de revestimento de paredes e tetos internos e externos.

Conforme Fiorito (1994), o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos variados de aglomerantes é definido de acordo com o destino que a argamassa terá.

Apesar de ser a mais econômica e ser aderente às superfícies, a argamassa de cal possui pouca resistência à umidade e apresenta um endurecimento lento na comparação com a argamassa de cimento. A argamassa de cal é a mistura de cal, agregado miúdo e água.

A argamassa de cimento é mais impermeável e atinge elevada resistência às solicitações mecânicas traçando um comparativo com a argamassa de cal, no entanto ela apresenta pouca aderência e baixa retração de água (CARASEK, 2007).

Em se tratando de forma de preparo e fornecimento das argamassas, as mesmas podem ser: preparadas em obra, dosadas em central, ou ainda industrializadas que são comercializadas ensacadas (CARVALHO Jr., 2005).

A argamassa dita como preparada em obra é aquela onde os materiais que a compõem são medidos em volume ou massa e misturados no próprio canteiro de obra enquanto a argamassa industrializada, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), é obtida da dosagem controlada, em instalações próprias (indústrias), de aglomerantes, agregados, e em alguns casos de aditivos, em estado seco e homogêneo, compondo uma mistura considerada seca à qual será acrescentada a quantidade de água que se fará necessária para originar a mistura. Estes produtos (argamassas industrializadas) podem ser classificados

em dois grupos: argamassas prontas e argamassas em que é necessário o acréscimo de água a sua composição final.

O traço de uma argamassa dá a indicação dos materiais diferentes que compõem a mesma e as suas quantidades, como por exemplo, 1:3, ou seja, uma quantidade em massa ou volume de aglomerante e três quantidades ou volumes iguais de agregado miúdo.

### **2.3 Materiais constituintes da argamassa**

São as características dos componentes e a proporção da mistura entre eles que vão definir a qualidade de uma argamassa.

#### **2.3.1 Aglomerantes**

Os aglomerantes são materiais ligantes com função de solidificar os grãos de agregados na argamassa. No Brasil, os aglomerantes mais empregados no uso de argamassa de revestimento são o cimento Portland e a cal aérea (DUBAJ, 2000). Os aglomerantes são considerados materiais pulverulentos que se hidratam com a existência de água, vindo a produzir uma pasta forte ao ponto de unir agregados, dando origem as argamassas e concretos (RIBEIRO et al., 2002).

O cimento Portland (CP) é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, permanece estável mesmo que submetido à ação da água e, por esta razão, é considerado um aglomerante hidráulico. É considerado o maior responsável pela aderência. A composição química é a maior responsável pela qualidade do cimento, e a finura também tem grande destaque, uma vez que quanto maior a finura apresentada, maior será a capacidade aglutinante, e com isso, terá uma maior resistência. Para a argamassa o cimento ideal deve possuir “pega” mais lenta e, ganho de resistência ao longo do tempo, evitando assim, o desenvolvimento de fissuras devido uma possível retração hidráulica ou por secagem.

Os cimentos disponíveis no mercado são normalizados pela ABNT, podendo ser utilizados em obras sem restrições, sendo eles:

- Cimento Portland comum (CP I, e CP I S);

- Cimento Portland composto (CP II E, CP II F, CP II Z): com adições de escória, pozolana e filler, respectivamente.
- Cimento Portland de alto forno (CP III): é obtido graças à adição de escória granulada de alto forno.
- Cimento Portland pozolânico (CP IV): é obtido graças a adição de pozolana ao clínquer.
- Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI): em prazos curtos atingem altas resistências mecânicas.

Na designação dos cimentos, as iniciais CP correspondem à abreviatura de cimento Portland, e são seguidas dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo de cimento, sendo a classe expressa por números (25, 32 e 40) que indicam a resistência à compressão do corpo-de-prova padrão, em Mega Pascal (MPa).

### 2.3.2 Agregados

Os agregados são partículas minerais que aumentam o volume da mistura, reduzindo seu custo. Dependendo das dimensões características  $\phi$ , dividem-se em dois grupos:

- Agregados **miúdos**:  $0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$  – (peneira n° 4 – NBR 53, 2009)  
Exemplo: areias.
- Agregados **gráudos**:  $\phi > 4,8\text{ mm}$  – (peneira n° 200 – NBR 52, 2009)

Conforme Tristão (1995), para a produção de argamassas, pode-se usar areia natural ou areia artificial. O que as difere, é a sua proveniência, enquanto a areia natural é comumente extraída dos leitos dos rios, a areia artificial é proveniente da britagem de rochas.

A areia permite aumentar o rendimento ou reduzir o custo da argamassa (uma vez que o agregado miúdo é de um menor preço em relação ao cimento) e diminuir os efeitos prejudiciais do excesso de cimento, atuando como agregado inerte na mistura. A participação do agregado miúdo é de cerca de 80% em massa do total da mistura, o que torna importante o estudo da sua influência nas propriedades da argamassa (ARAÚJO, 2001; KALIL, 2012).

As areias são classificadas quanto à granulometria em faixas, sendo elas: fina (0,15/0,6mm), média (0,6/2,4mm) e grossa (2,4/4,8mm). Porém NBR 7211

(ABNT, 2009) estabelece quatro faixas, sendo: muito fina, fina, média e grossa, que apresentam a mesma graduação 0,15/4,8mm, mas variam pelas porcentagens diferentes de tamanhos de grãos (BAUER, 2000). As areias grossas aumentam a resistência à compressão da argamassa, enquanto as areias finas reduzem a resistência, porém aumentam a aderência, sendo, portanto, preferíveis em alvenaria estrutural (KALIL, 2012).

Quando as areias são utilizadas na produção da argamassa, várias propriedades precisam ser analisadas, tais como: a granulometria do material, a ausência de impurezas, a composição mineralógica do material, a massa unitária e o coeficiente de inchamento (SANTIAGO, 2007).

A distribuição granulométrica apresentada pela areia pode vir a afetar tanto a trabalhabilidade da argamassa quanto o consumo de aglomerantes e água (ANGELIM e CARASEK, 2003). Quanto à geometria, as areias possuem diferentes aspectos, sendo:

- Angulosos: apresenta maior dificuldade em se tratando da trabalhabilidade, e com superfícies consideradas mais ásperas que por sua vez, são próprias para as camadas de chapisco e emboço;
- Arredondadas: apresentam uma superfície específica menor, porém melhor trabalhabilidade e compacidade.

Logo, deduzimos que a composição granulométrica e o formato dos grãos são as propriedades principais das areias e que, portanto, interferem diretamente nas resistências mecânicas das argamassas.

### **2.3.3 Água**

A água é o elemento que permite o endurecimento da argamassa pela hidratação do cimento. É responsável por uma qualidade fundamental no estado fresco da argamassa, a trabalhabilidade. A água deve ser dosada a uma quantidade que permita o bom assentamento das unidades, não causando segregação dos seus constituintes (KALIL, 2012). Também pode ser dita como responsável direta na resistência mecânica nas argamassas, pois a quantidade de água de amassamento possui relação direta com o índice de vazios e a área específica dos grãos.

Através do traço pré-estabelecido é que se encontra o teor de água que atenderá a esses requisitos, tanto para argamassa dosada em obra ou ainda na indústria. A água potável é a mais adequada na confecção de produtos à base de cimento Portland. A água que será utilizada na preparação de argamassa deve obedecer ao disposto na NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

Se a areia for mais fina, a quantidade de água a utilizar cresce, de maneira equilibrada com a quantidade de ligante e se altera de acordo com grau de umidade da areia e a temperatura ambiente. É essencial que seja utilizada a quantidade exata de água necessária para obter a plasticidade que promova a fixação da argamassa ao suporte. A argamassa se tornará mais porosa e com uma resistência menor, se houver excesso de água, assim como uma quantidade pequena, provocará uma mistura incompleta (MARTINS & ASSUNÇÃO, 2010).

## **2.4 Propriedades das argamassas**

Para que os revestimentos de argamassa possam cumprir adequadamente as suas funções, eles precisam apresentar um conjunto de propriedades específicas, que são relativas à argamassa no estado fresco e no estado endurecido (MACIEL et al, 1998).

A avaliação do desempenho dos materiais de construção é essencial, logo se fazem necessários estudos prévios destes, quando os mesmos estejam expostos a intempéries. Conhecer a relação entre a microestrutura e as propriedades colabora para um melhor desempenho dos mesmos (KRUS et al, 1997 ; QUENARD et al, 1998).

Os materiais empregados na execução das argamassas influenciam diretamente nas propriedades das mesmas (ALMEIDA, 2010).

Na sequência são colocadas algumas propriedades necessárias às argamassas de revestimento e assentamento, além de compreender a caracterização destas.

### **2.4.1 Propriedades da argamassa no estado fresco**

Para que a argamassa apresente bom desempenho é preciso apresentar determinadas características no estado fresco. Dentre as diversas

propriedades encontradas no estado fresco, procurou-se ressaltar as que serão vistas nessa pesquisa, que são: trabalhabilidade, consistência, densidade de massa e o teor de ar incorporado.

A trabalhabilidade no estado fresco revela a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, consolidadas e ainda acabadas, tudo isso em condições homogêneas. A trabalhabilidade é resultado de diversos fatores, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação e adesão inicial (LIMA, 2009). Também causam influência na trabalhabilidade as características físicas dos agregados, especialmente a granulometria e o índice de forma do agregado. Por exemplo, a modificação positiva que a trabalhabilidade sofre com o decréscimo do módulo de finura do agregado (CINCOTTO et al., 1995). Quanto mais leve, mais trabalhável será a argamassa, e, reduzirá esforço em sua aplicação fazendo com que haja maior produtividade.

A consistência é a propriedade que exprime o quanto mole ou rígida está à argamassa. É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob a ação de cargas (BAUER, 2000). Para a avaliação da consistência das argamassas o método mais utilizado é o da mesa de consistência, conforme NBR 13276 (ABNT, 2005).

Conforme Carasek (2007), segundo a sua consistência, a classificação das argamassas é mostrada conforme a Figura 1.

Figura 1 - Consistência das argamassas

CONSISTÊNCIA	Argamassa Seca	A pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera.	
	Argamassa Plástica	Uma fina camada de pasta aglomerante "molha" a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.	
	Argamassa Fluida	As partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.	

Fonte: CARASEK (2007)

A densidade de massa ou massa específica é dada pela relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Quando se determina a massa específica absoluta, não se consideram os vazios existentes no volume de argamassa. Quando se determina a massa específica relativa, também conhecida como massa unitária, são considerados os vazios.

O teor de ar incorporado é definido como a quantidade de ar que existe num certo volume de argamassa. Com o crescimento do teor de ar, diminui a massa específica relativa da argamassa (MACIEL et al, 1998).

A massa específica varia de acordo com o teor de ar incorporado. O teor de ar incorporado ou ainda os espaços ocasionados após a evaporação do excesso de água, propiciam no aparecimento de vazios nas argamassas, que

são dependentes da granulometria das partículas consideradas mais finas da mistura (CARASEK, 2007).

A massa específica e teor de ar incorporado acabam interferindo em outras propriedades da argamassa no estado fresco, como a trabalhabilidade. Uma argamassa que possui menor massa específica e maior teor de ar incorporado apresenta uma melhor trabalhabilidade.

#### **2.4.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido**

As propriedades da argamassa no estado endurecido equivalem às propriedades do próprio revestimento. Dentre essas diversas propriedades procurou-se ressaltar as utilizadas nessa pesquisa, que são: absorção de água por capilaridade e resistência mecânica.

Conforme Martins e Assunção (2010) a absorção de água por capilaridade está diretamente ligada à permeabilidade, sendo assim, é a capacidade de uma argamassa para absorver de forma natural a água líquida. Costuma-se quantificar a capilaridade por meio do coeficiente de capilaridade.

A capilaridade é a capacidade de um determinado material, não saturado, de absorver e escoar água por sucção capilar. Segundo Braga (2010) quanto mais finos forem os capilares, maior será a progressão da água.

Quanto à resistência mecânica, essa propriedade nos diz o quanto os revestimentos suportam as ações mecânicas de natureza diferentes, devidas à abrasão superficial, ao impacto e também à contração termohigroscópica. É dependente do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa que foram empregadas e da técnica de execução que busca a compactar a argamassa durante a sua aplicação e acabamento.

A resistência mecânica aumenta com a diminuição da proporção de agregado na argamassa e varia de forma inversa com a relação água/cimento da argamassa (MACIEL et al., 1998).

Após a fase do endurecimento, independentemente do tipo de aplicações a serem realizadas, as argamassas, irão ser submetidas a algum tipo de esforço mecânico. As argamassas de assentamento são solicitadas à compressão enquanto as argamassas de revestimento são solicitadas à abrasão superficial, impacto, tensões de cisalhamento decorrentes de

movimentações do substrato e variações térmicas/higroscópicas (SABATTINI, 2000).

## 2.5 Requisitos da argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005) traz classificações para as argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos. Essas classificações são relacionadas a requisitos estabelecidos nesta norma. Dentre esses requisitos, estão:

- P – Resistência à compressão axial (MPa);
- R – Resistência à tração na flexão (MPa);
- C – Coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{-1/2}$ );
- D – Densidade de massa no estado fresco ( $\text{Kg/m}^3$ ).

Sendo que cada um desses requisitos é subdividido em seis (6) classes.

A citada norma é utilizada na interpretação e classificação dos resultados encontrados para os ensaios realizados nas argamassas confeccionadas.

## 2.6 Breve histórico do dendê

No Brasil, o dendezeiro teve início através do tráfico negreiro, na chegada dos escravos no século XVI, nesse período os escravos oriundos de países como Angola, Benin e Moçambique traziam consigo sementes dentro dos navios, as quais foram responsáveis possivelmente aos primeiros dendezais no litoral do estado da Bahia (SAVIN, 1965; CHAVEZ, 1984). Constam em relatos dos primeiros navegadores que os dendezeiros eram parte integrante da paisagem e também da cultura popular da África, desde o século XV. Desde a época dos faraós egípcios já se utiliza o óleo de palma (ALVES, 2007).

O gênero possui apenas duas espécies, uma mais frequente nas Américas, o caiaué (*Elaeis oleifera* H. B. K. Cortês), e a outra no continente africano, a palma ou dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq).

É considerada uma planta oleaginosa, que pode chegar a até 15 metros (m) de altura, monocotiledônea e de ciclo perene (FERWERDA, 1975; CORLEY & TINKER, 2003; CARVALHO, 2009; PÁDUA, 2012). Pelas características apresentadas pela espécie, em especial o cultivo manual,

contribuiu para o desenvolvimento social e econômico com a geração de empregos (PÁDUA, 2012).

O dendezeiro cujo nome científico é *Elaeis guineensis* Jacq, também é conhecido por seus nomes populares, como palma-de-guiné e coqueiro de dendê, sendo seu fruto visto na Figura 2 (dendê) (MORCILLO et al., 2007).

Figura 2 – Planta de dendezeiro e frutos



Fonte: VIRBOGA (2013)

O Brasil gerou 275 mil toneladas de óleo extraído da palma na safra referente aos anos 2011/2012, ao passo que no mesmo período para efeitos de comparação, a Indonésia (2º maior produtora mundial) produziu aproximadamente 26 mil toneladas (AGRIANUAL, 2012).

### 2.6.1 Ecofisiologia do dendezeiro e sua importância socioeconômica

A cultura do dendezeiro se desenvolve bem em climas quentes e úmidos, logo a disponibilidade de água é essencial para o sucesso dessa cultura (ALVES, 2007).

No Brasil, o litoral baiano propiciou ao seu clima tropical úmido que a espécie se desenvolvesse, sendo que essa capacidade de adaptação fez com que essa cultura se estendesse em outras partes do mundo, vindo a constituir

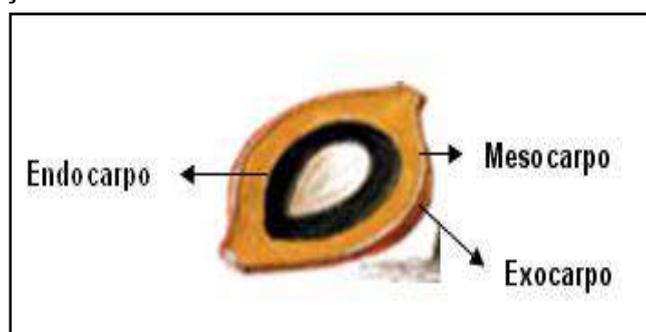
a flora local tanto através da elaboração dos dendezais quanto na maneira de exploração comercial. São encontradas plantações no sul da Bahia, na Amazônia Ocidental e em regiões próximas a Belém-PA (CLEMENT; LLERAS-PERÉZ; LEEUWEN, 2005).

O estado da Bahia possui mais de 700 mil hectares adequados para a dendeicultura, apresentando clima apropriado para cultura, com pluviosidade anual variando de 1600 à 1800 mm, temperatura média acima de 23° C, ou seja fatores atrativos pra o desenvolvimento de programas voltados a dendeicultura.

Atualmente, estima-se que haja cerca de 20 milhões de hectares desmatados sem atividade econômica, na Amazônia. Sendo o dendê a cultura em grande escala, mais apropriada para a região, e o estado do Pará possui dois (2) milhões de hectares de terras improdutivas cujo clima e solo são apropriados para o dendê.

O óleo de palma tem influencia econômica, sendo que a palma produz frutos em cachos. O fruto individual apresenta peso variando entre 6 gramas (g) e 20 g, e é composta por exocarpo, mesocarpo e endocarpo, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Composição do fruto



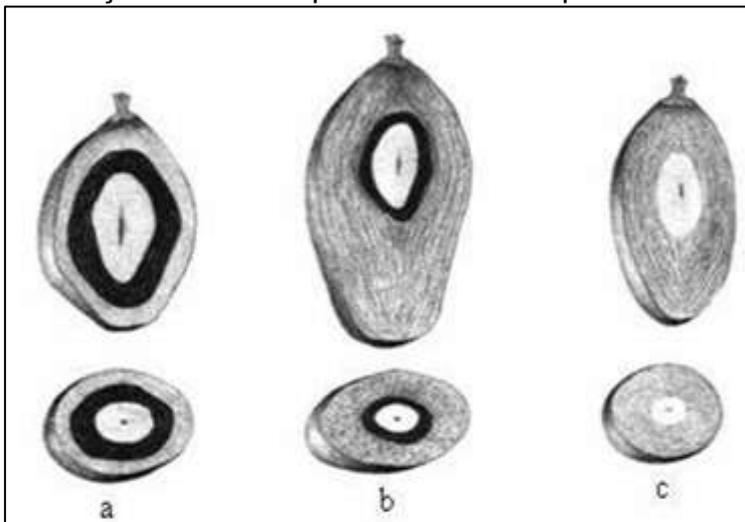
Fonte: ALVES (2007)

A histologia da parede do fruto, conhecida como pericarpo se divide em: exocarpo (casca do fruto), mesocarpo (polpa, ou parte carnosa do fruto) e o endocarpo (muito próximo à semente).

Há uma classificação que diz respeito às diferentes espessuras do endocarpo (Figura 4), sendo elas:

- a) Dura: cujos frutos possuem endocarpo variando de 2 a 8 milímetro (mm) de espessura;
- b) Tenera: cujos frutos possuem endocarpo variando de 0,5 a 2 mm de espessura;
- c) Psífera: cujos frutos não apresentam endocarpo.

Figura 4 – Classificação dos frutos pelas variadas espessuras do endocarpo



Fonte: Adaptado de ALVES (2007).

Também chamado de endocarpo, o caroço de dendê, possui importância econômica, uma vez que é utilizado como fonte de rendimento de óleos comestíveis e técnicos, com aplicações na maioria dos países que apresentam altos índices pluviométricos e em climas tropicais, que fazem o cultivo do óleo de palma como plantação (POKU, 2002).

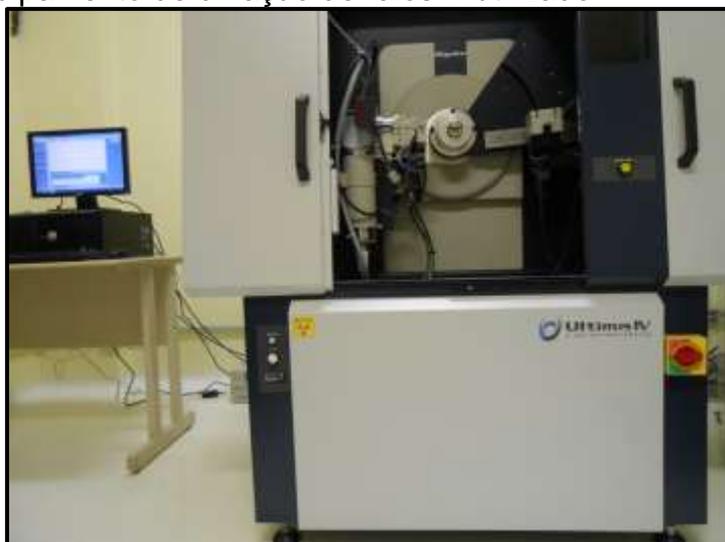
Em 2002, o governo federal criou o “Programa Brasileiro de Biocombustíveis – Rede Nacional de Biodiesel”, onde foi inserido o Programa Probioamazon dendê. Foi priorizada na Amazônia, a cultura do dendezeiro como geração de matéria-prima para o desenvolvimento do Programa Biodiesel, graças aos inúmeros aspectos benéficos que a dendeicultura promove.

## 2.7 Resultados da caracterização físico-química do caroço de dendê

### 2.7.1 Difração de raio x (DRX)

Esse ensaio foi realizado no laboratório institucional de nanoestruturas da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) - Campus Bagé, sendo uma técnica não destrutiva, e sua análise se deu através da avaliação do difratograma dos picos presentes. O difratômetro utilizado foi da marca Rigaku, e modelo ULTIMA IV, com geometria Bragg-Brentano, como pode ser visto na Figura 5.

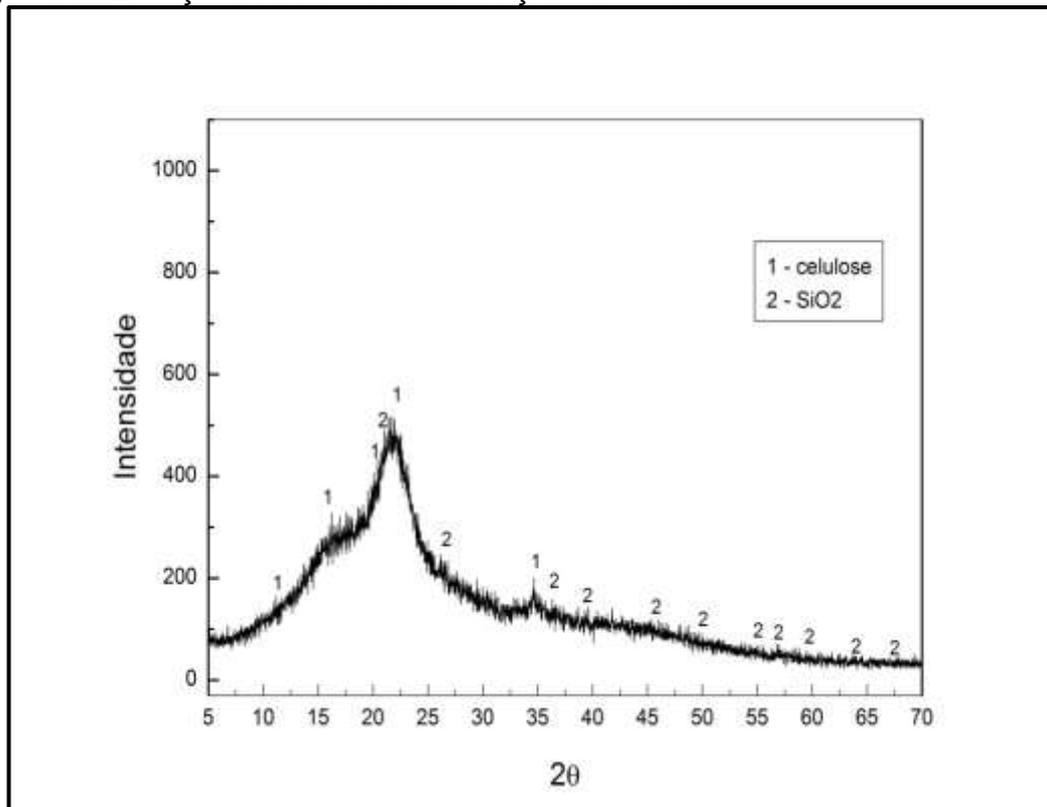
Figura 5 – Equipamento de difração de raios X utilizado



Fonte: HOFFMAN (2016)

Nas amostras ensaiadas foi possível verificar picos de difração em  $2\theta=20^\circ$  e  $2\theta=12^\circ$ , da celulose II e em  $2\theta=16^\circ$ ;  $22^\circ$  e  $34^\circ$ , que são característicos da forma cristalina da celulose I (LI & RENNECKAR, 2011). Também foi possível identificar a presença de fases específicas do óxido de silício. As demais contribuições que são visualizadas nos difratogramas são de fases de Ferro e óxidos de Cálcio. A Figura 6 traz o difratograma do caroço do dendê obtido.

Figura 6 – Difração de Raios X do caroço de dendê



Fonte: HOFFMAN (2016)

O difratograma do caroço de dendê apresentou características de um material amorfo, com algumas variações de fases cristalinas, ou seja, o material não se mostra totalmente amorfo e sim parcialmente amorfo.

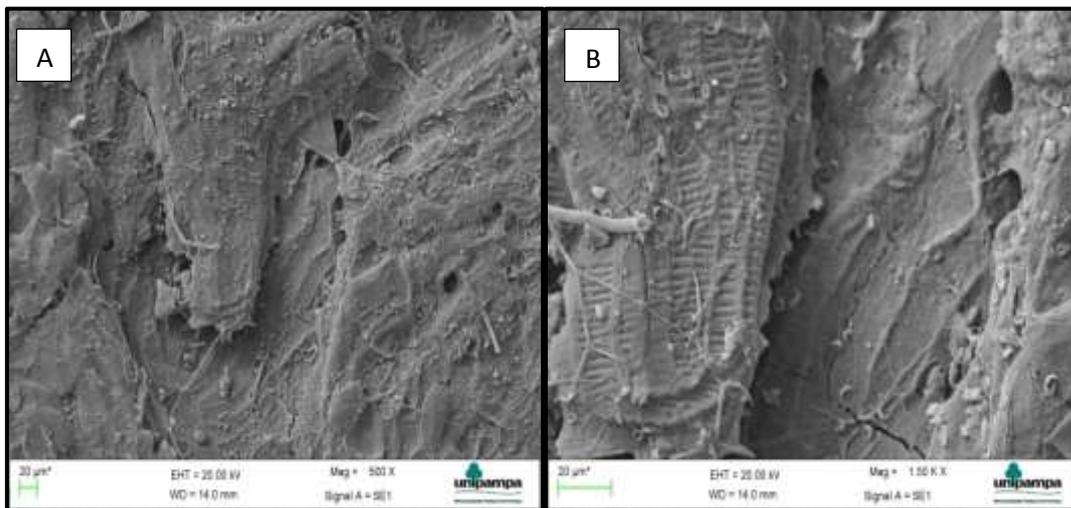
Segundo Hoffman (2016), o material em estudo possui baixa atividade pozolânica, permitindo assim seu emprego em compósitos à base de cimento Portland apenas como carga.

### 2.7.2 Microscópio eletrônico de varredura por elétrons secundários (MEV)

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais da UNIPAMPA - Campus Alegrete, utilizando o microscópio eletrônico modelo EVO | MA10 da Zeiss, obtendo-se informações rápidas sobre a morfologia quanto à identificação dos elementos químicos em uma amostra sólida.

A Figura 7 apresenta imagens capturadas a partir da microscopia eletrônica de varredura, em que se observa o caroço do dendê com ampliação de 500 e 1500 vezes (X).

Figura 7 – Microscopia do caroço de dendê com ampliação de 500 X (A) e 1500 X (B)

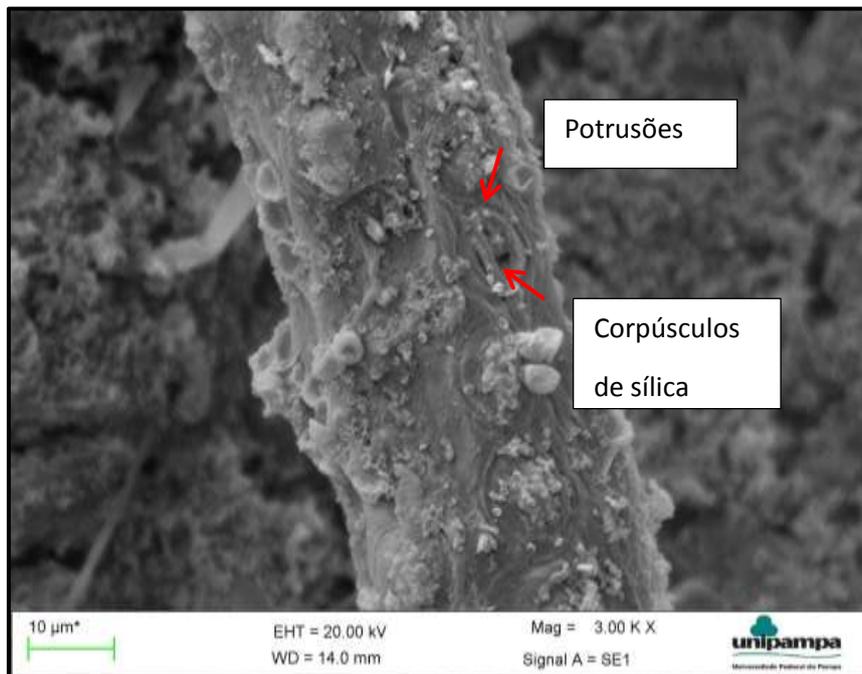


Fonte: HOFFMAN (2016)

Como resultado, a estrutura do caroço do dendê é composta por fibras, apresentando diversos vuculos, além de ser desorganizado e irregular. Logo, a estrutura do material é semelhante a de uma célula de traqueıda.

O caroço de dendê ao longo de toda sua extensão apresenta regiões com rugosidade e potrusões (Figura 8), referentes à presença de silicio (ALMEIDA, 2006), cujas características tornaram a amostra promissora como reforço. Os corpúsculos de silicio que se mostraram presentes são comuns em outras espécies de Arecaceae (HENDERSON, 2006).

Figura 8 – Microscopia dos corpúsculos de sílica e potrusões no caroço de dendê com ampliação de 3000 X



Fonte: HOFFMAN (2016)

### 2.7.3 Microdureza Vickers

A microdureza Vickers (a qual se utilizou) faz uso de cargas baixas, e não se aplica somente aos metais e sim a todos os tipos de materiais. O ensaio foi realizado em conformidade a norma American Society for Testing and Materials (ASTM) E -384-99 (2000) no laboratório de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA - Campus Alegrete e o equipamento utilizado foi o Buehler Micromet 6010 digital, que é visto na Figura 9, além da amostra sendo preparada para o ensaio.

Figura 9 – Microdureza Vickers: Equipamento (A) e embutimento da amostra (B)



Fonte: HOFFMAN (2016)

Foram efetuadas seis leituras em cada amostra, e a dureza média encontrada foi de 20 HV, se assemelhando a materiais cerâmicos que possuem alta dureza, como a cerâmica Avançada Al 203 que possui dureza de 16,1 HV (MAMALIS et al., 2002).

#### 2.7.4 Massa específica do dendê

A massa específica real foi verificada através do frasco volumétrico de Chatelier, conforme NBR NM 23 (ABNT, 2000), utilizando como reagentes a água e querosene, respectivamente. O resultado encontrado para a massa específica do dendê foi de 1,435 g/cm<sup>3</sup>, semelhante a outros valores encontrados na literatura, tais como: macadâmia com 1,015 g/cm<sup>3</sup> (ROCHA et al., 2006) e butiá 1,461 g/cm<sup>3</sup> (ROSSETO et al., 2014). Já em comparação aos agregados utilizados na argamassa convencional (areia) a massa específica do caroço de dendê é considerada baixa, uma vez que os agregados (areia) costumam apresentar massa específica variando entre 2,6 e 2,7 g/cm<sup>3</sup> (NEVILLE e BROOKS, 2013). Porém, esse resultado pode se mostrar benéfico quando se pensa em conjunto com a argamassa, pois podem resultar em uma argamassa leve, e com isso a trabalhabilidade que se mostra proporcional a leveza em uma argamassa, poderia com isso designar menos esforço por parte do funcionário, trazendo assim ganhos em produtividade (CARASEK, 2007).

## **2.8 Pesquisas utilizadas como parâmetro quanto à argamassa com substituição parcial**

Pela falta de estudos disponíveis quanto à utilização de caroço de dendê moído como substituição parcial junto à argamassa, buscaram-se nas bibliografias relacionadas a esse tema, autores que trouxeram outros materiais na confecção de argamassas com substituições parciais.

### **2.8.1 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos componentes do traço referencial**

Quanto às argamassas cujo traço referencial era composto por cimento, areia e água, encontrou-se igualdade nas pesquisas de Souza (2008); Silva (2009); Lima (2009); Braga (2012); Cavalcanti (2013); Oliveira (2013); Braga (2014); Farinha (2015); Oliveira (2015); Paes (2015); e Silva (2016). Souza (2008) pesquisou a durabilidade da argamassa utilizando cinzas de casca de arroz. Silva (2009) apresenta a viabilidade da melhora de desempenho de argamassas de cimento através da adição de agregados muito finos de cerâmicas (tijolos). Lima (2009) utilizou cinzas do bagaço de cana de açúcar como substituição parcial ao agregado miúdo. Braga (2012) avaliou o desempenho da argamassa incorporando agregados de concreto finos reciclados. Cavalcanti (2013) utilizou a areia contendo cinza da cana do bagaço de açúcar em substituição total e parcial ao agregado miúdo para produção de argamassa. Oliveira (2013) estudou a incorporação de agregados finos de vidro como enchimento na argamassa. Braga (2014) verificou a redução do teor de cimento em argamassas confeccionadas com agregados finos de concreto. Farinha (2015) analisou o comportamento das argamassas de cimento e com adição de artigos sanitários finos triturados. Oliveira (2015) pesquisou sobre a argamassa contendo finos de vidro como agregados e eventual redução do teor de cimento. Paes (2015) avaliou a substituição da areia pela cinza do caroço de açaí na produção de argamassas. Silva (2016) estudou sobre o desempenho de renderizações cimentícias e argamassas de alvenaria contendo agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.

### **2.8.2 Substituições parciais junto à argamassa quanto à consistência**

Quanto às argamassas com substituição parcial em que foram estabelecidas faixas de consistência, encontrou-se semelhança nas pesquisas de Oliveira (2001); Carvalho (2006); da Silva (2006); Braga (2012); Cavalcanti (2013); Cintra et al (2014); Farinha (2015) e Soares (2015). Oliveira (2001) verificou a influência da adição do polipropileno em argamassas e estabeleceu uma faixa ótima de consistência de  $255 \pm 10$  mm. Carvalho (2006) estudou o comportamento da argamassa com adição de resíduo (lama de cal) e cal hidratada em diferentes porcentagens e estabeleceu uma faixa de consistência que variava de 240 mm à 315 mm. Por sua vez, da Silva (2006) que pesquisou a influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas estabeleceu uma consistência de  $210 \pm 10$  mm. Cintra et al (2014) pesquisou sobre argamassa de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus, estabelecendo uma consistência ótima de aproximadamente 250 mm. Por fim, Soares (2015) avaliou a utilização de sílica de casca de arroz em argamassas de assentamento e definiu a consistência ótima de  $250 \pm 5$  mm.

### **2.8.3 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos tipos de traço: massa e volume, e quanto à proporção dos traços**

Quanto às argamassas com substituição parcial em que se utilizaram traços em massa, encontrou-se igualdade nas pesquisas de Lima (2009); Braga (2012); Cavalcanti (2013); Carvalho (2013); Paes (2015) e Soares (2015). Carvalho (2013) fez o estudo de argamassas com fibras de papel de embalagens de cimento.

Quanto às argamassas com substituição parcial em que se utilizaram traços em volume, encontrou-se igualdade nas pesquisas de Silva (2009); Oliveira (2013); Oliveira (2015); Farinha (2015) e Silva (2016).

Quanto à proporção dos traços, 1:3 (cimento:areia), encontrou-se igualdade nas pesquisas de Oliveira (2001); Lima (2009) e Silva (2016).

#### **2.8.4 Substituições parciais junto à argamassa quanto aos corpos de prova moldados**

Quanto à moldagem dos corpos de prova, prismáticos, encontrou-se igualdade nas pesquisas realizadas por: Oliveira (2001), da Silva (2006) e Cavalcanti (2013).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para verificar a viabilidade do caroço do dendê aplicado na argamassa, e a produção do compósito cimentício.

#### **3.1 Materiais a serem utilizados**

Os materiais componentes para a produção da argamassa serão definidos em conformidade as normas específicas da ABNT, fazendo uso dos materiais disponíveis comercialmente na região de Alegrete/RS, com exceção do caroço de dendê. Para um melhor desempenho por parte da argamassa é essencial o cuidado quanto à qualidade de cada material que virá a compor a mesma, sendo assim, o cimento, a areia e o componente do caroço de dendê passaram por análises especificadas pelas NBRs. Para a areia serão analisadas as seguintes normas: Norma Mercosul (NM) 52 (2002) – massa específica, NM 45 (2006) – massa unitária, e NM 248 (2003) – determinação da composição granulométrica. Para o cimento será analisada a seguinte NM 23 (2001) – massa específica. Para o caroço de dendê que inicialmente passará por um processo de moagem, também será utilizada a NM 248 (2003).

Quanto à composição granulométrica realizada para a areia e o caroço de dendê, são apresentados os cálculos de parâmetros de uso muito frequente: o diâmetro máximo característico (DMC) e o módulo de finura (MF) formam o conjunto de parâmetros quantificados que tradicionalmente caracterizam uma areia do ponto de vista dimensional. O DMC corresponde à abertura nominal em milímetros, na qual o agregado possui uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa. Sendo que o MF é dado pela soma das porcentagens retidas acumuladas, de um agregado, em massa, nas peneiras da série normal, divididas por 100, segundo estabelece a NBR 7211 (ABNT, 2009). Através da análise do MF do agregado miúdo a ser realizado que será feita a avaliação da granulometria do mesmo. É a composição granulométrica da areia que regula a água de amassamento presente nas argamassas.

Por se tratar de um elemento composto, a argamassa, precisa ser misturada e posteriormente curada para que venha a se tornar um material rígido, assim, ela alterna entre os estados: fresco e endurecido, cada qual com

suas peculiaridades e propriedades diferentes de desempenho a ser requeridas.

### 3.1.1 Caroço de dendê

O endocarpo do dendê, cujo nome científico é *Elaeis guineenses* Jacq da espécie que foi utilizado nessa pesquisa é oriundo da Bahia, cedido por uma empresa da Região de Valença/BA. O município de Valença (Figura 10) se localiza na mesorregião do sul da Bahia, apresentando um clima tropical-úmido, com temperatura média de 25,5° C.

Figura 10 – Mapa da localização de Valença-Ba



Fonte: Google Maps (2016)

A empresa que cedeu o material realizou um procedimento de lavagem com vapor de água a elevada temperatura, com o intuito de extrair o excesso de óleo nas paredes internas do endocarpo. Os caroços foram lavados em água corrente, secados em estufas (60° C por 24 horas e resfriados na estufa por 12 horas), logo após foram moídos. Para a moagem dos caroços de dendê utilizou-se um triturador, pois através de tentativa de moagem manual verificou-se a rigidez do material e notou-se que seria preciso um triturador mecanizado para que o mesmo pudesse ser utilizado na confecção das argamassas com substituição parcial. O triturador utilizado foi o TRAPP – THF 400 – Super (Figura 11) do Instituto Federal Farroupilha (IFF), o qual obteve um pó fino,

classificado e separado por peneiras de aproximadamente 2 mm, assemelhando-se as dimensões de areias médias.

Figura 11 – Triturador TRAPP – THF 400 – Super



Fonte: Elaboração própria

Realizou-se a preparação da amostra, a caracterização do caroço de dendê, bem como sua granulometria, para que fosse definida a quantidade do caroço de dendê e a granulometria a ser utilizada na fabricação dos compósitos em substituição parcial à areia.

### 3.1.2 Areia natural

A areia natural utilizada na produção da argamassa de referência e nos traços com substituição parcial tanto para o traço em massa quanto para o traço em volume, é proveniente do Rio Ibicuí – Manoel Viana/RS, e foi classificada em conformidade às especificações da NBR 7211 – Agregados para concreto (ABNT, 2009) como uma areia muito fina.

### 3.1.3 Cimento

Utilizou-se nesse estudo o Cimento Portland IV, mais especificamente o CP IV-32 da empresa CIMPOR, lotes de fevereiro e de setembro de 2017. Esse

cimento tem como diferencial a adição de pozolana junto ao clínquer. A pozolana diferentemente da escória não apresenta reação quando em contato com a água em seu estado natural.

### **3.1.4 Água**

O outro componente utilizado para a produção da argamassa em ambos os traços: em massa e em volume, foi à água de amassamento seguindo as exigências da NBR 15900-1 (ABNT, 2009). Com isso, utilizou-se água da rede pública de abastecimento, disponível do laboratório e considerada potável de acordo com as exigências estabelecidas pela portaria N° 518/04 do Ministério da Saúde.

## **3.2 Métodos**

Foi realizada a caracterização dos materiais utilizados na composição da argamassa, tanto a referencial quanto a modificada, para ambos os traços: em massa e em volume.

A adição do caroço de dendê moído em diferentes porcentagens na argamassa, mais especificamente 5%, 15% e 30%, substituindo parcialmente em massa e em volume a areia, é avaliada em ensaios laboratoriais, tendo como referencia a argamassa convencional, cuja composição era de cimento, areia e água e seu traço era de 1:3 (cimento:areia). Quanto à escolha das porcentagens para a substituição parcial das argamassas em estudo, que foram de 5% a 30%, utilizou-se como parâmetro as pesquisas de Bandeira (1996); Oliveira (2001); Canelas (2005); Lima (2009); Silva (2009) Braga (2012); Oliveira (2013); Marques (2014); Oliveira (2015); Paes (2015) e Soares (2015). Bandeira (1996) trabalhou em sua pesquisa com a adição de cinzas, dregs e grits na argamassa. Canellas (2005) verificou a substituição parcial do agregado miúdo por diferentes porcentagens de PET reciclado. Por sua vez, Marques (2014) pesquisou as potencialidades do uso de resíduos de celulose como agregado em argamassas.

O método de dosagem de argamassa utilizado foi o método Cientec (Fundação de Ciência e Tecnologia), representando a pesquisa através da busca de uma proporção com a menor quantidade de água possível para

garantir a trabalhabilidade almejada, e com a garantia de manter as características físico-mecânicas especificadas.

Toda vez que possibilite um bom manuseio e aplicação, a trabalhabilidade é considerada satisfatória. Como as NBRs 7215 (ABNT, 1996) e 13276 (ABNT, 2005) não estabelecem limites tanto inferior como superior para esta determinação, fica a critério de quem opera a argamassa definir uma faixa de valores, para que a mesma seja considerada satisfatória. Para o traço em massa, o qual não foi fixado um fator de água/cimento ( $a/c$ ), a faixa de valores definida como satisfatória nessa pesquisa foi de  $240 \pm 10$  mm. Já para o traço em volume foi fixado o fator  $a/c$ , sendo assim não foi definida uma faixa de valores para a consistência.

Quanto às argamassas com substituição parcial em que igualmente à essa pesquisa (para o traço em massa) não se fixou o fator água/cimento ( $a/c$ ), encontrou-se semelhança nas pesquisas de: da Silva (2006); Souza (2008); Braga (2012); Carvalho (2013); Oliveira (2013); Braga (2014); Farinha (2015); Oliveira (2015); Paes (2015) e Soares (2015). Souza (2008) verificou que quanto maior a quantidade de resíduo utilizada na fabricação de sua argamassa, maior era o seu fator  $a/c$ . Carvalho (2013) fez o estudo de argamassas com fibras de papel de embalagens de cimento e verificou que quanto maior a porcentagem de fibras utilizada maior era o teor de água a utilizado para atingir uma trabalhabilidade adequada. Na pesquisa de Soares (2015) também foi verificado o aumento do fator  $a/c$  conforme era aumentada a porcentagem de sílica de casca de arroz.

### **3.2.1 Avaliações das propriedades da argamassa**

É necessário atribuir à importância da análise e caracterização realizada sobre o material, que trouxe informações minuciosas sobre a consequente utilização do mesmo, e à busca de produzir uma argamassa com características comparadas à argamassa convencional, e por fim encontrando uma apropriada destinação aos resíduos desta natureza.

Por se tratar de um elemento composto, a argamassa, precisa ser misturada e posteriormente curada para que venha a se tornar um material rígido, assim, ela alterna entre os estados: fresco e endurecido, cada qual com

suas peculiaridades e propriedades diferentes de desempenho a ser requeridas.

### **3.2.1.1 Avaliações das propriedades da argamassa no estado fresco**

Serão realizadas avaliações das seguintes propriedades da argamassa no estado fresco: índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado, todas em conformidade com suas respectivas normas da ABNT, sendo realizadas no laboratório de materiais da UNIPAMPA – Campus Alegrete.

#### **3.2.1.1.1 Índice de consistência**

O índice de consistência baseia-se na menor ou na maior facilidade que a argamassa tem de se deformar sob a ação de cargas.

Utilizando a mesa de espalhamento (flow table) realiza-se o ensaio do índice de consistência conforme NBR 13276 (ABNT, 2005). Para todas as composições (traço referencial e substituições parciais) em massa, a água foi ajustada na mistura para um espalhamento de  $240 \pm 10$  mm, uma vez que esse foi o intervalo determinado diante da satisfatória trabalhabilidade das argamassas estudadas. Para as composições (traço referencial e substituições parciais) confeccionadas em volume, a água foi mantida fixa. Além disso, devem-se respeitar algumas condições, tais como: temperatura variando entre  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa variando entre  $60 \pm 5\%$ .

#### **3.2.1.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado**

Conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005) a densidade de massa da argamassa (A), no estado fresco é determinada através da Equação 4, enquanto a densidade de massa teórica da argamassa (sem vazios) (B) é dada pela Equação 5, ambas a seguir:

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad \dots (4)$$

Onde:

A = Densidade de massa da argamassa

Mc = massa do recipiente cheio de argamassa, em g

Mv = massa do recipiente vazio, em g

Vr = volume do recipiente, em cm<sup>3</sup>

$$B = \frac{\sum M_i}{\sum \frac{M_i}{\gamma_i}} \quad \dots (5)$$

Onde:

B = Densidade de massa teórica da argamassa (sem vazios)

M<sub>i</sub> = massa seca de cada componente da argamassa, inclusive massa da água;

γ<sub>i</sub> = densidade de massa de cada componente da argamassa

Já o teor de ar incorporado, a ser realizado em conformidade com a NBR 13278 (ABNT, 2005), é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa, e junto com a massa específica influenciam na trabalhabilidade das argamassas.

De posse de ambas as densidades da argamassa: A e B (com e sem vazios) encontra-se o teor de ar incorporado (AI), através da Equação 6, como pode ser visto abaixo:

$$AI = 100 \times \left(1 + \frac{A}{B}\right) \quad \dots (6)$$

Onde:

AI = Teor de ar incorporado da argamassa

A = Densidade de massa da argamassa (resultado da equação 4)

B = Densidade de massa teórica da argamassa (resultado da equação 5)

Na Figura 12, é visto o recipiente cheio (com a argamassa com substituição parcial com 30%) sendo pesada, para que fosse encontrado o resultado referente ao teor de ar incorporado da composição.

Figura 12 – Pesagem do recipiente para o ensaio de teor de ar incorporado



Fonte: Elaboração própria

### 3.2.1.2 Avaliações das propriedades da argamassa no estado endurecido

Para avaliar as propriedades das argamassas no estado endurecido, serão realizadas avaliações das seguintes propriedades: absorção de água por capilaridade, resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão, ambas em conformidade com suas respectivas normas da ABNT, sendo realizadas no laboratório de materiais da UNIPAMPA – Campus Alegrete. A resistência mecânica das argamassas, no estado endurecido, diz respeito à capacidade de suportar os esforços mecânicos que sobre ela atuam. Os corpos de prova (cps) serão submetidos a ensaios destrutivos de resistência mecânica aos 28 dias, onde a cura está completa. Ensaiam-se os cps com traços em massa e em volume, no que diz respeito ao modo de confecção das argamassas e serão utilizados cps prismáticos de dimensões 4x4x16 cm, o que perfazia um volume de 256 cm<sup>3</sup> por cp.

### 3.2.1.2.1 Absorção de água por capilaridade

Para a determinação da absorção de água por capilaridade será utilizada como referência a NBR 15259 (ABNT, 2005) que é específica para argamassas de assentamento e revestimento (o trabalho em questão é de argamassa com um traço usualmente utilizado para assentamento).

Serão confeccionados, cinco (5) cps tanto para o traço referência, quanto para os traços com substituição parcial, sendo que, o valor mínimo especificado pela norma era de três (3) cps. O ensaio realiza-se aos 28 dias de idade da amostra.

Durante a realização do ensaio, é determinada a massa saturada ( $m_t$ ) dos cps em dois intervalos distintos de tempo, 10 e 90 minutos (min). Após a última leitura ser completa, os cps são rompidos por compressão para que possa ser verificada a distribuição de água no seu interior. O resultado é dado em  $g/cm^2$ , pelo aumento de massa dos cps que foram imersos parcialmente em água, conforme é verificado na Equação 7, a seguir:

$$A_t = \frac{m_t - m_o}{16} \quad \dots (7)$$

Onde:

$A_t$  = Absorção de água por capilaridade ( $g/cm^2$ )

$m_o$  = massa do cp seco (g)

$m_t$  = massa do cp durante o ensaio (g)

$t$  = corresponde aos intervalos de tempo (10 e 90 min.)

16 = área da seção transversal do cp ( $cm^2$ )

O coeficiente de capilaridade (C), representado em  $g/dm^2 \cdot min^{1/2}$ , calcula-se igualmente para cada cp, conforme Equação 8:

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad \dots (8)$$

Onde:

C = Coeficiente de capilaridade

### 3.2.1.2.2 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial é o que melhor representa a resistência mecânica das argamassas, e é especificado pela NBR 13279 (ABNT, 2005). O consumo de cimento influencia de forma direta na resistência mecânica dos revestimentos, e o aumento desse consumo traz a melhora da resistência (MARTINELLI, 91).

A Equação 9, mostra o cálculo utilizado para se chegar nessa resistência mecânica.

$$R_C = \frac{F_C}{A} \quad \dots (9)$$

Onde:

R<sub>C</sub>: Resistência à compressão (MPa);

F<sub>C</sub> : Carga máxima aplicada, em Newton (N);

A = Área da zona comprimida (1600 mm<sup>2</sup>, corpo de prova 40x40mm)

Serão moldados 5 cps para o ensaio de ruptura na idade de 28 dias. A moldagem dos mesmos é realizada de acordo com o que especifica a referida norma citada anteriormente.

A Figura 13 apresenta o ensaio de resistência à compressão sendo realizado (traço de referência em massa), sendo que o equipamento utilizado para a conferência das resistências mecânicas foi à prensa universal EMIC – DL 2000.

Figura 13 - Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Elaboração própria

### 3.2.1.2.3 Resistência à tração na flexão

Quanto a resultados, o limite de resistência à tração é bem inferior se comparada ao limite de resistência à compressão. Tanto a aparelhagem necessária para se realizar o ensaio, como a execução da moldagem dos corpos de prova é igual aos procedimentos adotados na verificação da resistência à compressão, ou seja, seguindo as orientações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

O cálculo da resistência à tração na flexão é dado pela Equação 10:

$$RF = \frac{1,5 F_f \times L}{40^3} \quad \dots (10)$$

Onde:

RF = Resistência à tração na flexão (MPa)

F<sub>f</sub> = Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L = Distância entre os suportes (mm).

A Figura 14 apresenta o rompimento de um corpo de prova na flexão à tração (composição com substituição parcial de caroço de dendê moído com 5% - traço em massa).

Figura 14 - Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaboração própria

## 4 RESULTADOS

A seguir são apresentados e discutidos os resultados encontrados, desde à caracterização dos materiais utilizados nessa pesquisa, bem como, as possíveis alternativas na confecção de argamassas com substituição parcial de caroço de dendê moído no agregado natural.

### 4.1 Caracterização do caroço de dendê

Na Figura 15, podem ser visualizadas as peneiras utilizadas no ensaio de granulometria tanto para o caroço de dendê moído quanto para a areia natural (da abertura com 0,15 mm até a abertura com 4,8 mm, além do fundo).

Figura 15 – Peneiras da série normal utilizadas para o dendê moído e a areia natural



Fonte: Elaboração própria

Logo, a NBR 7211 (ABNT, 2005), estabelece os limites dos agregados miúdos quanto à fração granulométrica, que traz o módulo de finura (MF)

podendo ser classificado em: zona utilizável inferior (MF entre 1,55 a 2,20), zona ótima (MF entre 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF entre 2,90 a 3,50).

A Tabela 1 apresenta a composição granulométrica do caroço de dendê moído (utilizado para o traço em massa) isoladamente, após passar por peneiramento, conforme estabelece a NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 1 - Composição granulométrica do caroço de dendê moído (traço em massa)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				Dendê Resultados
	Limites inferiores		Limites superiores		
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima	
9,5 mm	0	0	0	0	0,00
6,3 mm	0	0	0	7	0,00
4,75 mm	0	0	5	10	0,03
2,36 mm	0	10	20	25	5,34
1,18 mm	5	20	30	50	47,99
0,60 mm	15	35	55	70	70,31
0,30 mm	50	65	85	95	92,38
0,15 mm	85	90	95	100	99,27
Diâm. Máximo Característico (mm)					4,75
Módulo de Finura					3,15

Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 1, o caroço de dendê moído apresentou um módulo de finura de 3,15, com características semelhantes à de uma “areia média” e foi utilizado para o traço confeccionado em massa.

A Tabela 2 apresenta a composição granulométrica do caroço de dendê moído (utilizado para o traço em volume) isoladamente, após passar ter sido peneirado, assim como estabelece a NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 2 - Composição granulométrica do caroço de dendê moído (traço em volume)

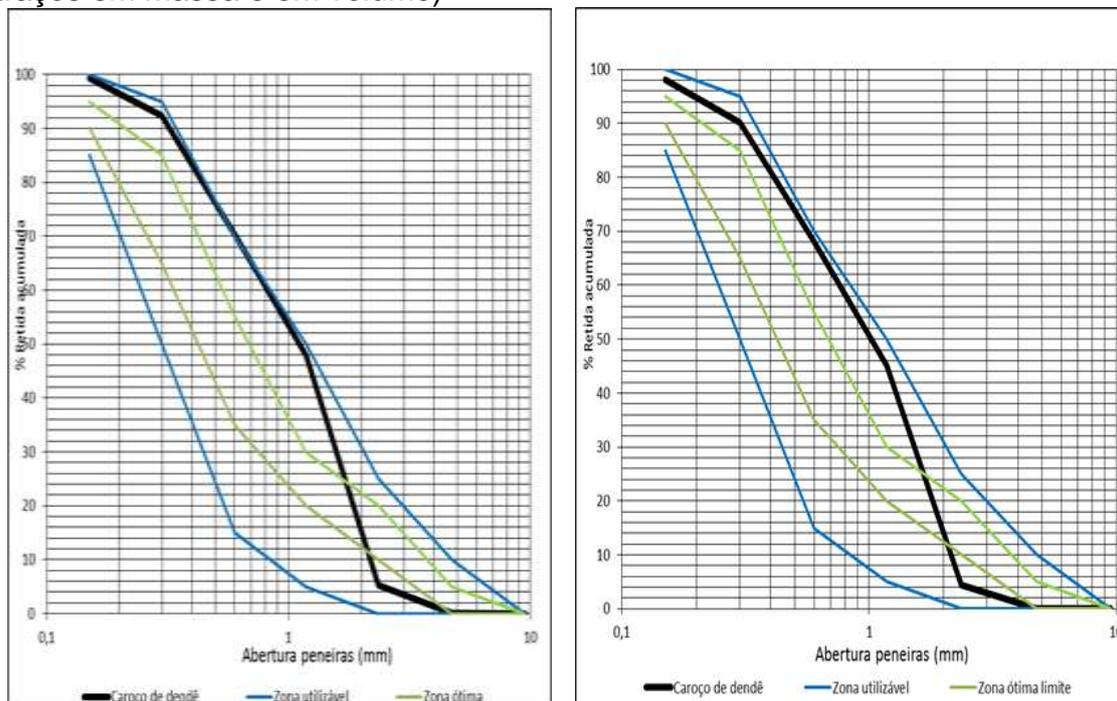
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				Dendê Resultados
	Limites inferiores		Limites superiores		
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima	
9,5 mm	0	0	0	0	0,00
6,3 mm	0	0	0	7	0,00
4,75 mm	0	0	5	10	0,02
2,36 mm	0	10	20	25	4,34
1,18 mm	5	20	30	50	45,09
0,60 mm	15	35	55	70	68,16
0,30 mm	50	65	85	95	90,13
0,15 mm	85	90	95	100	98,17
Diâm. Máximo Característico (mm)					2,36
Módulo de Finura					3,06

Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 2, o caroço de dendê moído apresentou um módulo de finura de 3,06, com características semelhantes à de uma “areia média” e foi utilizado para o traço confeccionado em volume. O fato de ambas as amostras de caroço de dendê terem obtido a mesma classificação (areia média) é positivo, até mesmo para efeitos de comparação.

A Figura 16 traz as curvas granulométricas da média das amostras dos caroços de dendê moído e os limites inferiores e superiores (zona utilizável e zona ótima), especificados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009) referentes aos dados das Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Figura 16 – Curvas Granulométricas dos caroços de dendê moídos utilizados (traços em massa e em volume)



Fonte: Elaboração própria

Os caroços de dendê, utilizados tanto no traço em massa quanto no traço em volume, por meio da curva granulométrica, se enquadraram na zona utilizável superior (MF entre 2,90 e 3,50).

#### 4.2 Caracterização da areia natural

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados referentes às composições granulométricas da areia natural, para os traços em massa e em volume, utilizadas na pesquisa, respectivamente.

Tabela 3 - Composição granulométrica da areia natural (traço em massa)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				Areia Natural Resultados
	Limites inferiores		Limites superiores		
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima	
9,5 mm	0	0	0	0	0,00
6,3 mm	0	0	0	7	0,00
4,75 mm	0	0	5	10	0,00
2,36 mm	0	10	20	25	0,06
1,18 mm	5	20	30	50	0,34
0,60 mm	15	35	55	70	1,84
0,30 mm	50	65	85	95	54,64
0,15 mm	85	90	95	100	98,14
Diâm. Máximo Característico (mm)					0,60
Módulo de Finura					1,55

Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 3, a areia natural ensaiada, utilizada para o traço confeccionado em massa, apresentou um módulo de finura de 1,55 e foi classificada como uma “areia muito fina”.

Tabela 4 - Composição granulométrica da areia natural (traço em volume)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				Areia Natural Resultados
	Limites inferiores		Limites superiores		
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima	
9,5 mm	0	0	0	0	0,00
6,3 mm	0	0	0	7	0,00
4,75 mm	0	0	5	10	0,00
2,36 mm	0	10	20	25	0,84
1,18 mm	5	20	30	50	1,58
0,60 mm	15	35	55	70	2,46
0,30 mm	50	65	85	95	71,40
0,15 mm	85	90	95	100	99,54
Diâm. Máximo Característico (mm)					0,60
Módulo de Finura					1,76

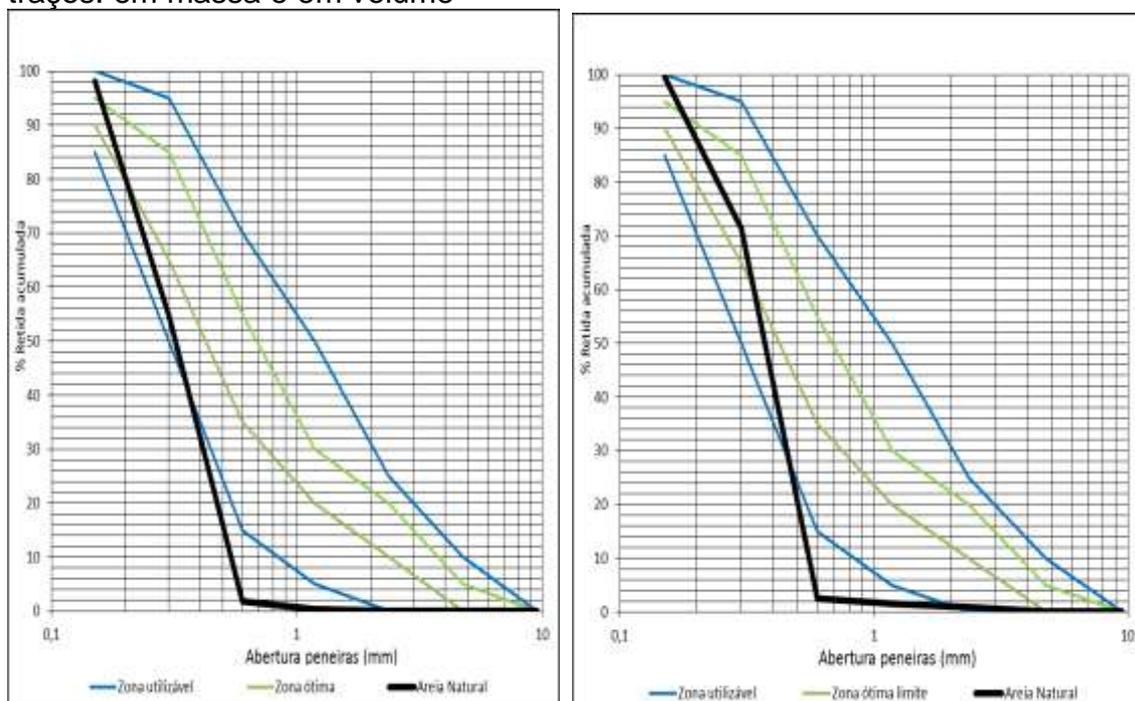
Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 4, a areia natural ensaiada, utilizada para o traço confeccionado em volume, apresentou um módulo de finura de 1,76 e igualmente foi classificada como uma “areia muito fina”. Assim como havia

ocorrido para o caroço de dendê, as amostras de areia natural utilizadas para confecção de ambos os traços: em massa e em volume apresentaram mesma classificação (areia muito fina) que é considerado satisfatório, até mesmo para efeitos de comparação.

A Figura 17 apresenta as curvas granulométricas médias das amostras de agregado natural (areia utilizada para ambos os traços: massa e volume), junto com os limites normativos, especificados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009), com base nos dados das tabelas 3 e 4.

Figura 17 – Curvas granulométricas das areias naturais utilizadas em ambos os traços: em massa e em volume



Fonte: Elaboração própria

Ambas as areias naturais utilizadas para confecção das argamassas nos traços em massa e em volume, por meio da curva granulométrica, se enquadraram na zona utilizável inferior.

#### 4.2.1 Massa específica da areia natural

A massa específica da areia foi determinada pela NM 52 (ABNT, 2002), sendo que o ensaio foi repetido uma vez para outra amostra de 500 g, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Amostras de areia ensaiadas no frasco de Chapman (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

A Equação 1 apresenta o cálculo utilizado para encontrar a massa específica do agregado miúdo.

$$\gamma = \frac{500}{l - 200} \quad \dots (1)$$

Onde:

$\gamma$  = massa específica do agregado miúdo (areia natural em g/cm<sup>3</sup>);

$l$  = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo cm<sup>3</sup>).

Por meio das Tabelas 5 e 6, vemos a massa específica da areia natural

utilizadas em ambos os traços: em massa e em volume.

Tabela 5 - Massa específica da areia (traço em massa)

Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Valores
$\gamma_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
$\gamma_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
$\gamma$ média(g/cm <sup>3</sup> )	2,63

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 - Massa específica da areia (traço em volume)

Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Valores
$\gamma_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,61
$\gamma_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,63
$\gamma$ média(g/cm <sup>3</sup> )	2,62

Fonte: Elaboração própria

Normalmente a massa específica da areia pode apresentar variações quando comparadas a outras pesquisas, até mesmo pelo fato de poder variar de acordo com a origem mineralógica da jazida em que a mesma foi retirada. Segundo Recena (2012), a massa específica da areia é aproximadamente 2,63 g/cm<sup>3</sup>, o que confirma os dados encontrados em estudo (2,63 g/cm<sup>3</sup> em massa e 2,62 g/cm<sup>3</sup> em volume). E reiterando o que havia sido dito, a massa específica da areia (aproximadamente 2,63 g/cm<sup>3</sup>) é bem superior á do caroço de dendê (1,435 g/cm<sup>3</sup>) encontrada por Hoffman (2016).

#### 4.2.2 Massa unitária da areia natural

A massa unitária do agregado foi determinada pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). Segundo a norma acima citada são três (3) métodos que poderiam ser empregados para a determinação da massa unitária da areia, e optou-se por seguir o Método C, que determina a massa unitária do material em estado solto.

A Equação 2, a seguir, mostra como é determinada a massa unitária do agregado.

$$\delta = \frac{m_{\text{recipiente+amostra}} - m_{\text{recipiente}}}{\text{volume}} \quad \dots (2)$$

Onde:

$\delta$  = massa unitária;

m = massa.

As Tabelas 7 e 8 mostram os resultados encontrados para que se chegasse à massa unitária encontrada para o agregado em estudo.

Tabela 7 - Massa unitária da areia (traço em massa)

Material	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
1° Amostra	1,53
2° Amostra	1,53
3° Amostra	1,53
$\delta$ Areia	1,53

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Massa unitária da areia (traço em volume)

Material	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
1° Amostra	1,51
2° Amostra	1,53
3° Amostra	1,51
$\delta$ Areia	1,52

Fonte: Elaboração própria

Segundo Recena (2012), a massa unitária da areia é aproximadamente 1,5 kg/dm<sup>3</sup>, que se confirma através dos dados ensaiados, onde se encontrou 1,53 kg/dm<sup>3</sup> e 1,52 kg/dm<sup>3</sup>, para os traços em massa e volume, respectivamente.

#### 4.2.2.1 Composição granulométrica das substituições parciais com areia natural/caroço de dendê moído com 5% , 15% e 30% - traço em massa

Foram realizadas as composições de areia e caroço de dendê moído para as porcentagens estabelecidas de: 5%, 15% e 30%, visando conhecer as propriedades da composição granulométrica desses materiais, quando misturados.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de granulometria das composições citadas para os traços em massa.

Tabela 9 - Composições granulométricas das substituições parciais (traço em massa)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Dendê 5%	Dendê 15%	Dendê 30 %
9,5 mm	0	0	0
6,3 mm	0	0	0
4,75 mm	0	0	0
2,36 mm	0,20	0,56	1,98
1,18 mm	1,68	4,16	12,82
0,60 mm	4,14	9,76	22,32
0,30 mm	57,80	69,06	66,20
0,15 mm	97,38	97,46	97,64
Diâmetro Máximo Característico (mm)	0,60	1,18	2,36
Módulo de Finura	1,61	1,81	2,01

Fonte: Elaboração própria

A composição entre areia e dendê 5% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 0,60 mm e MF de 1,61, com características semelhantes à de uma “areia muito fina”, bem como havia sido o resultado quando se ensaiou a areia natural de forma isolada.

A composição entre areia e dendê 15% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 1,18 mm e MF de 1,81, mostrando-se um pouco maior em relação à composição anterior, de dendê 5% que apresentou um módulo de finura de 1,61, e igualmente com características semelhantes à de uma “areia muito fina”.

A composição entre areia e dendê 30% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 2,36 mm e MF de 2,01, mostrando-se um pouco maior em

relação à composição de dendê 15% que apresentou um módulo de finura de 1,81. A composição foi classificada como uma “areia fina”, ou seja, sendo um meio termo entre o caroço de dendê moído que se apresentou com características semelhantes há de uma “areia média” e a areia natural que fora classificada como “areia muito fina”.

#### 4.2.2.2 Composição granulométrica das substituições parciais com areia natural/caroço de dendê moído com 5% , 15% e 30% - traço em volume

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios de granulometria das composições citadas para os traços em volume.

Tabela 10 - Composições granulométricas das substituições parciais (traço em volume)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Dendê 5%	Dendê 15%	Dendê 30 %
9,5 mm	0	0	0
6,3 mm	0	0	0
4,75 mm	0	0	0
2,36 mm	0,28	0,04	0,04
1,18 mm	4,04	2,22	2,70
0,60 mm	6,16	8,36	8,80
0,30 mm	74,60	77,24	93,42
0,15 mm	98,66	97,78	99,16
Diâmetro Máximo Característico (mm)	1,18	1,18	1,18
Módulo de Finura	1,84	1,86	2,04

Fonte: Elaboração própria

A composição entre areia e dendê 5% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 1,18 mm e MF de 1,84, com características semelhantes à de uma “areia muito fina”.

A composição entre areia e dendê 15% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 1,18 mm e MF de 1,86, mostrando-se um pouco maior em relação à composição anterior, de dendê 5% que apresentou um módulo de finura de 1,84, com características semelhantes à de uma “areia muito fina”.

A composição entre areia e dendê 30% apresentou seu DMC na peneira com abertura de 1,18 mm e MF de 2,04, mostrando-se um pouco maior em

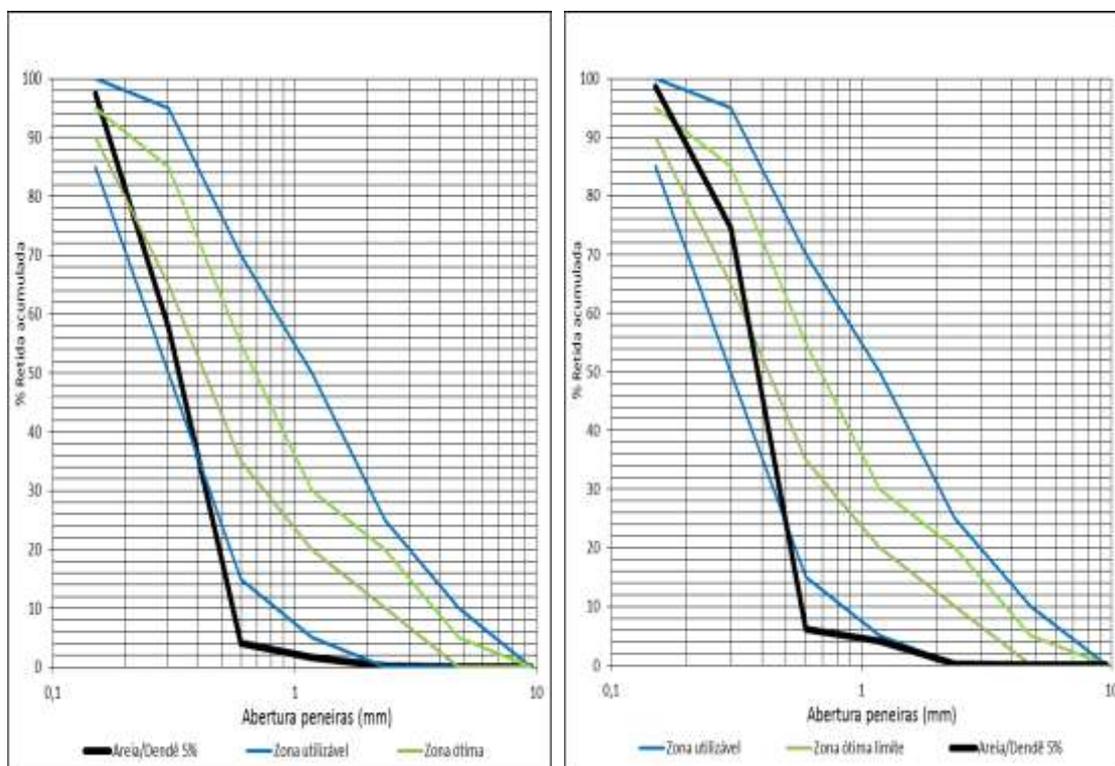
relação a composição de dendê 15% que apresentou um módulo de finura de 1,86. A composição foi classificada como uma “areia fina”. Logo, foi possível verificar que todas as composições com substituição parcial apresentaram DMC localizado na peneira de mesma abertura.

Com base nos resultados referentes à granulometria de ambos os traços (massa e volume), é possível afirmar que o dendê moído em maiores percentuais na composição fez com que o MF aumentasse. Acreditamos que este comportamento se deva à aglutinação das partículas de dendê.

#### 4.2.2.3 Curvas granulométricas das substituições parciais com areia natural/caroço de dendê moído com 5%, 15% e 30% - traços em massa e em volume

A Figura 19 traz as curvas granulométricas das composições areia/dendê 5% (traço em massa e em volume, respectivamente) e os limites normativos conforme a NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 19 – Curvas Granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 5% (traços em massa e em volume)

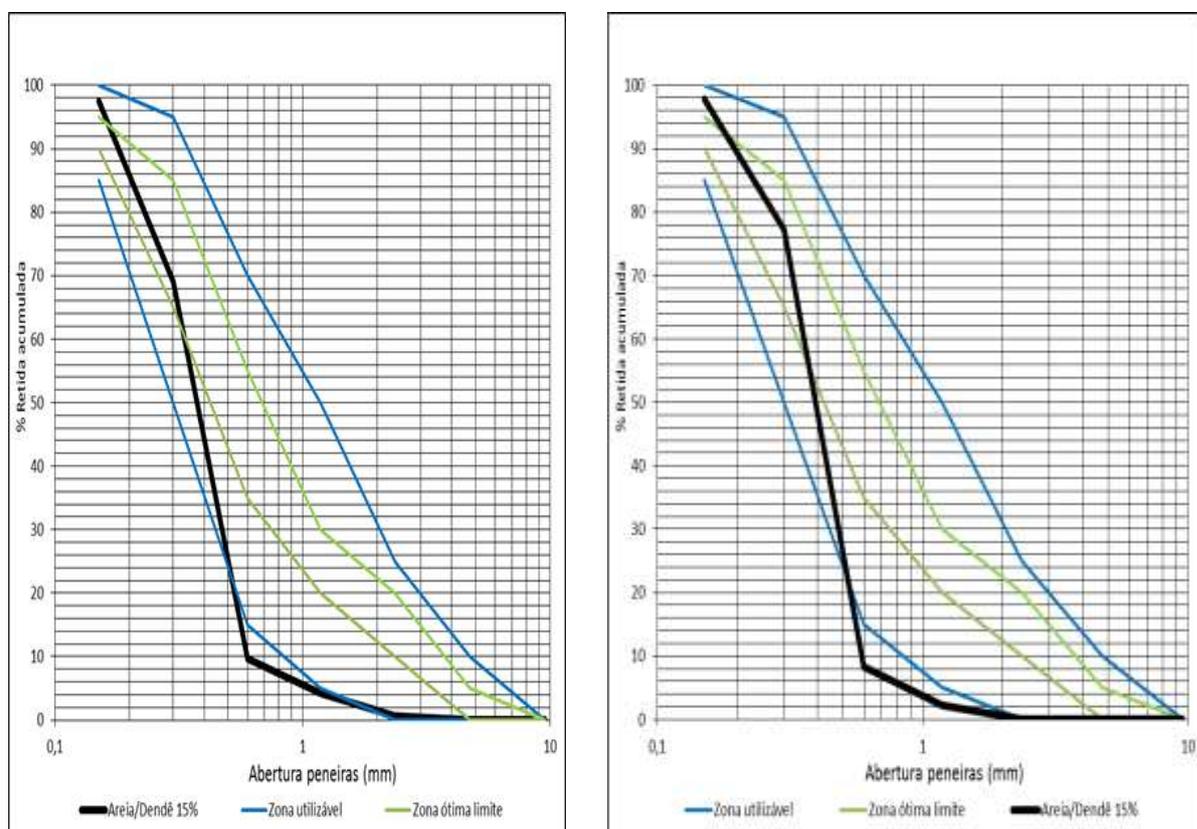


Fonte: Elaboração própria

Ambas as composições entre areia/dendê 5% (traço em massa e em volume), por meio da curva granulométrica, se enquadraram na zona utilizável inferior (com MF entre 1,55 e 2,20).

A Figura 20 traz as curvas granulométricas das composições areia/dendê 15% (traço em massa e em volume, respectivamente), além dos limites normativos estabelecidos pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 20 – Curvas Granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 15% (traços em massa e em volume)

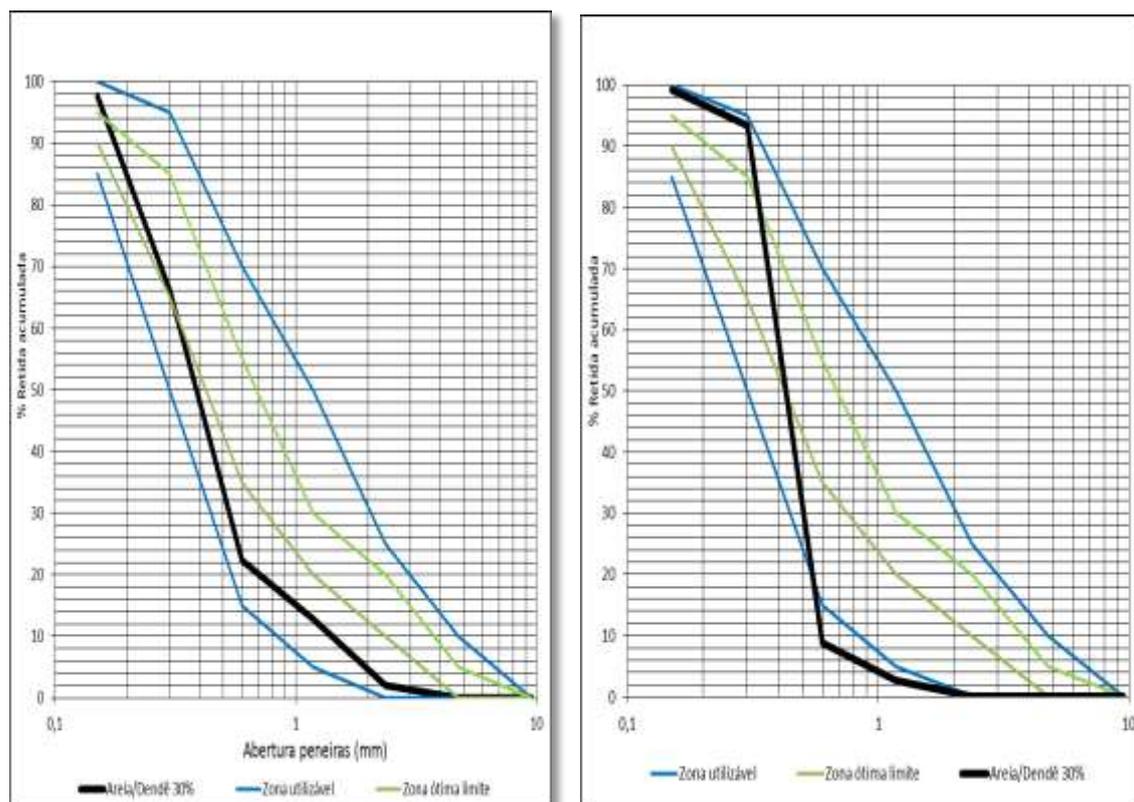


Fonte: Elaboração própria

As composições entre areia/dendê 15% (traço em massa e em volume), por meio das curvas granulométricas, se enquadraram no limite inferior, na zona utilizável, bem como havia sido para as areias naturais quando realizadas de forma isolada e para as composições com areia/dendê com 5%.

A Figura 21 apresenta as curvas granulométricas das composições areia/dendê 30% (traço em massa e em volume, respectivamente) e os limites normativos de acordo com a NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 21 – Curvas Granulométricas das composições areia/caroço de dendê moído com 30% (traços em massa e em volume)



Fonte: Elaboração própria

As composições entre areia/dendê 30% (traço em massa e em volume), por meio das curvas granulométricas, se enquadraram assim como as demais composições (5% e 15%) na zona utilizável inferior (com MF entre 1,55 e 2,20).

### 4.3 Massa específica do cimento

As massas específicas do cimento foram encontradas, através do ensaio realizado de acordo com a NM 23 (2001), por meio do frasco de Le Chatelier, e fazendo uso de querosene, como líquido não reagente à amostra.

O procedimento foi realizado duas vezes para cada amostra do material. A Figura 22 mostra o ensaio da massa específica do cimento (traço em massa)

sendo realizado através do frasco de Le Chatelier no laboratório de materiais da UNIPAMPA – Campus Alegrete.

Figura 22 – Ensaio da massa específica do cimento através de Le Chatelier



Fonte: Elaboração própria

As massas específicas foram determinadas através da Equação 10:

$$\gamma = \frac{m}{v} \quad \dots (3)$$

Onde:

$\gamma$  = massa específica do aglomerante (cimento em kg/dm<sup>3</sup>)

$m$  = massa do frasco com líquido e cimento ( $m_2$ ) – massa do frasco com líquido ( $m_1$ );

$v$  = volume do frasco somados líquido e cimento ( $V_2$ ) – volume do frasco com o líquido ( $V_1$ ).

Nas Tabelas 11 e 12, é possível verificarmos a massa específica do cimento.

Tabela 11 - Massa específica do cimento – lote fevereiro (traço em massa)

Amostras	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
1° Amostra	2,77
2° Amostra	2,73
γ Média	2,75

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 - Massa específica do cimento – lote setembro (traço em volume)

Amostras	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
1° Amostra	2,75
2° Amostra	2,73
γ Média	2,74

Fonte: Elaboração própria

Conforme especificação técnica da empresa que produziu o cimento, a massa específica do mesmo deve variar entre 2,7 a 3,2 g/ cm<sup>3</sup>, o que é retificado segundo Recena (2012), que traz a massa específica do cimento como sendo 2,70 Kg/dm<sup>3</sup>.

Sendo assim, ambas as massas específicas dos cimentos ensaiados estão de acordo conforme é recomendado pela empresa. Ainda, junto à empresa que fabricou o cimento utilizado nessa pesquisa, foram obtidas informações sobre os resultados dos ensaios de caracterização dos mesmos. As Tabelas 13 e 14 trazem os dados referentes ao cimento/lote fevereiro, utilizado na confecção da argamassa cujo traço era em massa.

Tabela 13 – Resultados físicos obtidos com a empresa que produziu o cimento (lote de fevereiro 2017)

CP IV – 32	Resultados Físicos				
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	# 200 (%)	# 325 (%)	Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)
Exigência		≤ 8,0		≥ 60	≤ 720
Média	4.640	0,3	2,1	405	526
Desvio Máx.	154.75	0.00	0,22	42.43	48,42
Quantidade de Dados	22	22	22	22	22

Fonte: INTERCEMENT (2017)

Tabela 14 – Resultados físicos e químicos obtidos junto à empresa (lote de fevereiro 2017)

CP IV – 32	Resultados Físicos			Resultados Químicos			
	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	MgO (%)	SO3 Média (%)	Perda ao Fogo Média (%)	Resíduo Insolúvel (%)
Exigência	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 4,5	
Média	20,2	24,1	38,8	4,7	2,0	3,6	40,9
Desvio Máx.	1.97	1.59	1.83	0.39	0.10	0.36	1.77
Quantidade de Dados	22	22	22	21	21	22	20

Fonte: INTERCEMENT (2017)

Já as Tabelas 15 e 16 trazem os dados referentes ao cimento/lote setembro, utilizados na confecção da argamassa cujo traço era em volume.

Tabela 15 – Resultados físicos obtidos com a empresa que produziu o cimento (lote de setembro 2017)

CP IV – 32	Resultados Físicos				
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	# 200 (%)	# 325 (%)	Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)
Exigência	-	≤ 8,0		≥ 60	≤ 720
Média	4.922	0,3	2,8	408,2	511,3
Desvio Máx.	80.43	0.00	0.99	25.01	29.37
Quantidade de Dados	25	25	25	14	8

Fonte: INTERCEMENT (2017)

Tabela 16 – Sequência de dados obtidos junto à empresa (lote de setembro 2017)

CP IV – 32	Resultados Físicos			Resultados Químicos			
	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> Média (%)	Perda ao Fogo Média (%)	Resíduo Insolúvel (%)
Exigência	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 4,5	-
Média	15,4	21,6	34,0	4,7	4,3	2,8	42.9
Desvio Máx.	2.05	1.93	1.62	0.39	0.10	0.55	1.74
Quantidade de Dados	25	14	17	21	25	25	25

Fonte: INTERCEMENT (2017)

#### 4.4 Resultados dos ensaios realizados no estado fresco da argamassa

##### 4.4.1 Índice de consistência

O experimento foi realizado de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005). O ensaio de consistência, utilizando a mesa de espalhamento foi realizado tanto para a argamassa utilizada com traço de referência quanto para as argamassas confeccionadas com substituição parcial do agregado miúdo por diferentes porcentagens de caroço de dendê moído, especificamente 5%, 15% e 30% para ambos os traços: em massa e em volume e os resultados encontrados são apresentados a seguir.

#### 4.4.1.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa

A argamassa utilizada como referência apresentava em sua composição os seguintes componentes: cimento, areia e a água, e o seu traço estabelecido foi de 1:3 (ou seja, uma quantidade de cimento para três quantidades de areia). Inicialmente utilizou-se a mesma quantidade de água em relação ao cimento (1:1), porém notou-se que a composição havia ficado muito fluída, então por tentativas passou-se a utilizar uma quantidade de água com metade da massa de cimento (1 : 0,5) e novamente por observação, definiu-se a quantidade de água (0,54) em relação ao cimento (1), estabelecendo assim o traço utilizado como referência no estudo em questão. Assim pode-se encontrar o índice de consistência de 23,67 cm ou 236,70 mm, como pode ser visto na Figura 23, valor obtido através de uma média determinada após três observações, fazendo uso de paquímetro.

Figura 23 – Ensaio de consistência do traço de referência (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

#### 4.4.1.1.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído com 5%, 15% e 30% – traço em massa

Para a argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, inicialmente utilizou-se a mesma quantidade de água em relação ao traço de referência, ou seja, definiu-se a quantidade de água (0,54) em relação ao cimento (1), porém a composição havia ficado seca e o índice de consistência encontrado foi de 215 mm e optou-se por acrescentar água à mistura. Logo, através de observações foi definida a quantidade de água (0,59), e encontrou-se um índice de consistência de 250 mm.

Da mesma forma, a argamassa com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, inicialmente utilizou-se a mesma quantidade de água em relação ao traço com substituição parcial de 5%, ou seja, definiu-se a quantidade de água (0,59) em relação ao cimento (1), porém a composição se mostrou seca e optou-se por acrescentar água à mistura. Com isso, foi definida a quantidade de água (0,64), e o índice de consistência encontrado foi de 246,30 mm (Figura 24).

Figura 24 – Ensaio de consistência com acréscimo de água (traço 15%)



Fonte: Elaboração própria

Por fim, a argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, partiu da quantia de água utilizada na composição anterior (substituição parcial com 15%), ou seja, 0,64, porém a composição se mostrou seca e optou-se por acrescentar água à mistura. Foi realizada uma 2ª tentativa no qual a quantidade de água foi de 0,69 em relação ao cimento (1), porém a mesma igualmente se mostrou seca, assim sendo utilizou-se a quantidade de água 0,74 em relação ao cimento (1) e o resultado se mostrou satisfatório, encontrando um índice de consistência de 245,00 mm (Figura 25).

Figura 25 – Ensaio de consistência com acréscimo de água (traço 30%)



Fonte: Elaboração própria

A Tabela 17, traz os resultados dos diferentes índices de consistência ensaiados, desde o traço de referência (T1-0%) passando pelos traços com substituição parcial (T2-5%, T3-15% e T4-30%) e suas respectivas quantidades de água em cada mistura, fator a/c para os traços confeccionados em massa.

Tabela 17 - Índices de consistência e fator água/cimento dos traços ensaiados

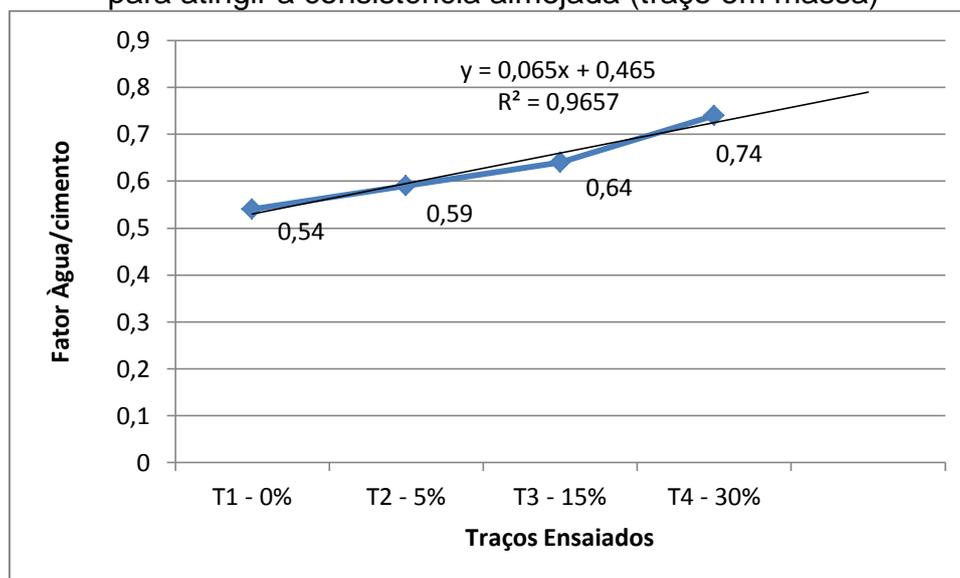
Índice de consistência (mm)		Fator a/c
T1-0%	236,70	0,54
T2-5%	250,00	0,59
T3-15%	246,30	0,64
T4-30%	245,00	0,74

Fonte: Elaboração própria

Com base nesses resultados, nota-se, para que fosse possível apresentar um índice de consistência considerado dentro da faixa estabelecida,  $240 \pm 10$  mm, as argamassas com substituição de caroço de dendê moído precisaram consumir mais água, sendo que a relação foi diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a porcentagem de substituição parcial (5%, 15% e 30%), maior o fator a/c (0,59, 0,64 e 0,74).

O Gráfico 1 apresenta os fatores a/c utilizados desde o traço referencial até as composições com diferentes percentuais de substituição parcial, para que fosse obtidos os valores estabelecidos para a consistência desejada para o traço em massa. Nesse gráfico é apresentada a linha de tendência linear dos dados (fatores a/c), (que nada mais é que uma linha reta de melhor ajuste utilizada juntamente com conjunto de dados lineares simples) bem como a sua respectiva equação (y) e o seu valor de R-quadrado ( $R^2$ ), que quanto mais próximo a 1, maior confiabilidade dá aos dados analisados.

Gráfico 1 – Resultados para os traços em estudo quanto ao fator a/c utilizado para atingir a consistência almejada (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

Através do gráfico 1 e de sua respectiva linha de tendência, observa-se uma relação linear entre as composições que pode ser retificada pelo  $R^2$  apresentado (0,9657), além do fato de verificar que o ponto definido pela substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído está um pouco elevado, fato esse comprovado pela sua consistência (250mm) que está no limite da faixa de valores estabelecida para um consistência adequada (240 ± 10mm).

#### 4.4.1.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume

A argamassa utilizada como referência apresentava em sua composição os mesmos componentes da argamassa de referência anterior: cimento, areia e a água, e o seu traço estabelecido foi de 1:3 (ou seja, um volume de cimento para três volumes de areia). Sendo fixado o fator a/c em 0,69. Esse valor foi encontrado através de observações e tentativas, sendo que inicialmente buscou-se utilizar a menor quantidade de água utilizada nas composições em massa (a/c = 0,54 utilizado no traço de referência), partindo da composição com substituição parcial de 30%, cujo traço em massa foi o que necessitou mais água (a/c = 0,74). Após terem sido observados os fatores a/c de 0,54; 0,59 e 0,64 e os mesmo não terem apresentado uma trabalhabilidade

adequada, percebeu-se que seria preciso uma quantidade maior de água. Sendo assim, foi estabelecido o fator a/c de 0,69 citado anteriormente, que apresentou um valor de índice de consistência de 33,9 cm ou 339 mm, como pode ser visto na Figura 26, valor obtido através de uma média determinada após três observações, fazendo uso de paquímetro.

Figura 26 – Ensaio de consistência com fator a/c fixo (traço referencial)



Fonte: Elaboração própria

#### **4.4.1.2.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído (5%, 15% e 30%) – traço em volume**

Para a argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, bem como as demais composições confeccionadas em volume, manteve-se fixo o fator a/c em 0,69. Assim pode-se encontrar o índice de consistência de 300,00 mm, como pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 – Ensaio de consistência com fator a/c fixo (traço 5%)



Fonte: Elaboração própria

Do mesmo modo, para a argamassa com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, assim como às composições anteriores (traço referencial e substituição parcial com 5%), manteve-se fixo o fator a/c em 0,69. Assim pode-se encontrar o índice de consistência de 278,00 mm.

Por fim, a argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, assim como as demais para os traços em volume, manteve-se fixo o fator a/c em 0,69. Assim pode-se encontrar o índice de consistência de 230,00 mm.

A Tabela 18, traz os resultados dos diferentes índices de consistência ensaiados, desde o traço de referência (T1-0%) passando pelos traços com substituição parcial (T2-5%, T3-15% e T4-30%) e suas respectivas quantidades de água em cada mistura, fator a/c para os traços confeccionados em volume.

Tabela 18 - Índices de consistência e fator água/cimento fixo dos traços ensaiados

Índice de consistência (mm)		Fator a/c
T1-0%	339,00	0,69
T2-5%	300,00	0,69
T3-15%	278,00	0,69
T4-30%	230,00	0,69

Fonte: Elaboração própria

Com base nesses resultados, é possível ver que, as argamassas com substituição de caroço de dendê moído, conforme maior a sua porcentagem (5%, 15% e 30%) menor era o seu índice de consistência (300 mm, 278 mm e 230 mm), respectivamente, ou seja, com o fator a/c sendo fixado, quanto maior os teores de substituição parcial, mais secas as argamassas produzidas.

#### 4.4.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O experimento foi realizado de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005) tanto para a argamassa utilizada com traço de referência quanto para as argamassas confeccionadas com substituição parcial do agregado miúdo por diferentes porcentagens de caroço de dendê moído, especificamente 5%, 15% e 30% em ambos os traços: em massa e em volume e os resultados encontrados são apresentados a seguir.

##### 4.4.2.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa

A argamassa utilizada como referência apresentou densidade de massa 1,96 g/cm<sup>3</sup>, densidade de massa sem vazios 2,22 g/cm<sup>3</sup> e teor de ar incorporado de 11,71%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, é fornecida pela NBR 13281 (ABNT, 2005) uma classificação para as argamassas tanto de assentamento quanto de revestimento. A argamassa com traço de referência apresentou valores que a enquadram na categoria D4 (densidade de massa classe 4), com densidade entre 1,6-2,0 g/cm<sup>3</sup>. Já quanto ao teor de ar

incorporado, a versão de 2001 da NBR 13281, indica a classe que a argamassa pertence, quanto ao ar incorporado, que seria a classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ).

#### **4.4.2.1.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído com 5%, 15% e 30% – traço em massa**

Para a argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, os resultados encontrados foram: densidade de massa  $1,83\text{ g/cm}^3$ , densidade de massa sem vazios  $2,14\text{ g/cm}^3$  e teor de ar incorporado de 14,48%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, assim como o traço de referência, a composição com substituição de 5% é da categoria D4. O ar incorporado diz respeito aos vazios formados pela entrada de ar que se observam no interior da argamassa. Com isso, explica-se o aumento do teor de ar em relação ao traço de referência (passou de 11,71% para 14,48%), pois as amostras com substituições apresentaram uma superfície mais porosa em relação às amostras do traço referencial. Porém, em se tratando de classificação quanto ao teor de ar incorporado, a classe que a argamassa pertence é igualmente a classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ).

Já a argamassa com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, obteve os seguintes resultados: densidade de massa  $1,73\text{ g/cm}^3$ , densidade de massa sem vazios de  $2,03\text{ g/cm}^3$  e teor de ar incorporado de 14,78%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, assim como nos traços anteriores, a composição é da categoria D4. O traço com substituição de 15% obteve um aumento do teor de ar incorporado, pois as amostras com substituições apresentaram uma superfície mais porosa em relação à composição com substituição com 5% de dendê moído (passou de 14,48% para 14,78%), e pode-se dizer que quanto maior a porcentagem de caroço de dendê moído, maior o teor de ar incorporado. Porém, em se tratando de classificação quanto ao teor de ar incorporado, a argamassa é igualmente da classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ) bem como os demais traços.

A argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído apresentou os seguintes resultados: densidade de massa de 1,61 g/cm<sup>3</sup>, densidade de massa sem vazios de 1,87 g/cm<sup>3</sup> e teor de ar incorporado de 13,90%.

Assim como nos outros traços ensaiados, à densidade de massa da argamassa encontrada (1,61 g/cm<sup>3</sup>) classifica-se na categoria D4, ou seja, menor que o valor encontrado para a substituição parcial com 15% (1,73 g/cm<sup>3</sup>). Quanto ao teor de ar incorporado, obteve um aumento (13,90%), se comparado ao traço de referência (11,71%), porém apresentou uma redução em termos de valores se comparados aos traços com substituição de 5% e 15% (14,48% e 14,78%). No entanto, em se tratando de classificação quanto ao teor de ar incorporado, a composição é igualmente da classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ) assim como os demais traços.

#### **4.4.2.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume**

A argamassa utilizada como referência apresentou densidade de massa 2,30 g/cm<sup>3</sup>, densidade de massa sem vazios 2,13 g/cm<sup>3</sup> e teor de ar incorporado de 8,00%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, apresentou valores que a enquadram na categoria D6 (densidade de massa classe 6), com densidade de massa maior que 2,0 g/cm<sup>3</sup>. Já quanto ao teor de ar incorporado, o traço referencial é da classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ).

##### **4.4.2.2.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído (5%, 15% e 30%) – traço em volume**

A argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído através dos ensaios realizados apresentou como resultado: densidade de massa 2,27 g/cm<sup>3</sup>, densidade de massa sem vazios 2,09 g/cm<sup>3</sup> e teor de ar incorporado de 8,60%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, a composição com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído é classificada como D6. Quanto ao teor de ar incorporado, houve um aumento na comparação ao traço de referência (passou de 8,00% para 8,60%). Porém, em se tratando de

classificação quanto ao teor de ar incorporado, o traço referencial e a substituição parcial com 5% foram igualmente enquadrados na classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ).

A argamassa com substituição com parcial com 15% de caroço de dendê moído obteve os seguintes resultados: densidade de massa  $1,84 \text{ g/cm}^3$ , densidade de massa sem vazios de  $2,01 \text{ g/cm}^3$  e teor de ar incorporado de 8,46%.

Quanto à densidade de massa da argamassa, a citada composição, classifica-se na categoria D4. O traço com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído obteve um decréscimo do teor de ar incorporado em relação à composição com substituição com 5% de dendê moído (passou de 8,60% para 8,46%), e pode-se dizer que quanto maior a porcentagem de caroço de dendê moído, menor é o teor de ar incorporado. Porém, em se tratando de classificação quanto ao teor de ar incorporado, a classe que a argamassa pertence é igualmente a classe B ( $\geq 8\%$  e  $\leq 18\%$ ).

A argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído apresentou: densidade de massa de  $1,78 \text{ g/cm}^3$ , densidade de massa sem vazios de  $1,89 \text{ g/cm}^3$  e teor de ar incorporado de 5,82%.

A densidade de massa da argamassa foi classificada na categoria D4, com densidade de massa de  $1,78 \text{ g/cm}^3$ , ou seja, menor que o valor encontrado para a substituição parcial com 15% ( $1,84 \text{ g/cm}^3$ ), porém de mesma classificação. Quanto ao teor de ar incorporado, a substituição com 30% de caroço de dendê moído apresentou um decréscimo de (5,82%), se comparado ao traço de referência (8,00%), e um decréscimo em termos de valores se comparados aos traços com substituição parcial de 5% e 15% (8,6%, 8,46%). Em se tratando de classificação, quanto ao teor de ar incorporado, a composição com substituição com 30% de caroço de dendê moído é da classe A ( $< 8\%$ ) diferentemente dos demais traços.

#### **4.4.2.3 Resultados dos ensaios de densidade e teor de ar incorporado para os traços ensaiados: em massa e em volume**

A Tabela 19 mostra a evolução dos resultados dos traços de referência e com substituições parciais com caroço de dendê moído quanto aos ensaios

referentes às densidades (com e sem vazios) e teor de ar incorporado para os traços confeccionados em massa.

Tabela 19 – Densidades e teores de ar dos traços ensaiados (traço em massa)

Traços	Teor de ar incorporado (%)	Densidade (com vazios)	Densidade (sem vazios)
T1-0%	11,71	1,96	2,22
T2-5%	14,48	1,83	2,14
T3-15%	14,78	1,73	2,03
T4-30%	13,90	1,61	1,87

Fonte: Elaboração própria

Quanto às densidades relativas (consideram os vazios na argamassa) pode-se dizer que os mesmos foram decrescendo conforme a substituição parcial apresentava um percentual maior (5%, 15% e 30%) na comparação com o traço de referência. Quanto às densidades absolutas (não consideram os vazios na argamassa), pode-se dizer que apresentou o mesmo comportamento em relação às densidades relativas, ou seja, foram decrescendo conforme a substituição parcial apresentava um percentual maior na comparação ao traço de referência. Quanto aos teores de ar incorporados na argamassa, pode-se dizer que os mesmos foram crescendo conforme a substituição parcial era maior percentualmente, na comparação com o traço de referência. Essa relação foi desfeita na composição com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, que apresentou resultado de 13,90%, ou seja, menor em relação à composição de 15% (14,78%). Porém, pode se destacar o fato de todas as composições (referencial e substituições parciais) terem obtido mesma classificação.

A Tabela 20 mostra a evolução dos resultados dos traços de referência e com substituições parciais com caroço de dendê moído quanto aos ensaios referentes às densidades (com e sem vazios) e teor de ar incorporado para os traços confeccionados em volume.

Tabela 20 – Densidades e teores de ar dos traços ensaiados (traço em volume)

Traços	Teor de ar incorporado (%)	Densidade (com vazios)	Densidade (sem vazios)
T1-0%	8,0	2,30	2,13
T2-5%	8,6	2,27	2,09
T3-15%	8,46	1,84	2,01
T4-30%	5,82	1,78	1,89

Fonte: Elaboração própria

Tanto às densidades relativas, quanto às densidades absolutas apresentaram o mesmo comportamento já visto nos traços confeccionados em massa, ou seja, ambas foram decrescendo conforme a substituição parcial apresentava um percentual maior quando comparadas as densidades do traço referencial. Quanto aos teores de ar incorporados na argamassa, pode-se dizer que os mesmos foram decrescendo (8,6%, 8,46% e 5,82%) conforme era aumentada a substituição parcial (5%, 15% e 30%). Essa relação só é desfeita quando são comparadas as composições com substituição parcial à composição do traço referencial (teor de ar incorporado de 8%).

#### 4.4.3 Resumo dos resultados no estado fresco

A Tabela 21, traz um resumo dos resultados médios, que foram obtidos através dos ensaios realizados com as argamassas, tanto a referencial como as composições com substituição com caroço de dendê moído, no estado fresco para os traços confeccionados em massa. Esses resultados são classificados conforme estabelece a NBR 13281 (ABNT, 2005) que nos dá os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Tabela 21 – Resumo dos resultados no estado fresco (traço em massa)

Traços	Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )		Teor de ar incorporado (%)		Índice de consistência (mm)	
	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Faixa Estabelecida
T1 - 0%	1,96	D4 (1,6-2,0)	11,71	B (≥ 8 e ≤ 18)	236,70	240 ± 10
T2 - 5%	1,83	D4 (1,6-2,0)	14,48	B (≥ 8 e ≤ 18)	250	240 ± 10
T3 - 15%	1,73	D4 (1,6-2,0)	14,78	B (≥ 8 e ≤ 18)	246,30	240 ± 10
T4 - 30%	1,61	D4 (1,6-2,0)	13,90	B (≥ 8 e ≤ 18)	245	240 ± 10

Fonte: Elaboração própria

Quanto à densidade de massa é possível verificar que os valores obtidos são inversamente proporcionais ao aumento da substituição parcial de caroço de dendê moído, uma vez que quanto maior a porcentagem utilizada do mesmo, menor a densidade de massa.

Em se tratando de outros autores, quanto à semelhança de resultados, Jantsch (2015) que utilizou argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes, quanto à densidade de massa da argamassa obteve a mesma condição de classe D4 (1,6–2,0 g/cm<sup>3</sup>).

Já quanto ao teor de ar incorporado, no qual todos os traços desde o referencial até as composições com substituição parcial com dendê obtiveram a mesma classificação B (valores ≥ 8 % e ≤ 18 %), encontraram igualdade na pesquisa realizada por Cintra et. al (2014) que utilizou argamassa vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus.

A Tabela 22, traz um resumo dos resultados médios, que foram obtidos através dos ensaios realizados com as argamassas, tanto a referencial como as composições com substituição com caroço de dendê moído, no estado fresco para os traços confeccionados em volume. Esses resultados são classificados conforme estabelece a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 22 – Resumo dos resultados no estado fresco (traço em volume)

Traços	Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )		Teor de ar incorporado (%)		Índice de consistência (mm)	
	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Faixa Estabelecida
T1 - 0%	2,30	D6 (> 2,0)	8,00	B (≥ 8 e ≤ 18)	339	Não houve
T2 - 5%	2,27	D6 (> 2,0)	8,60	B (≥ 8 e ≤ 18)	300	Não houve
T3 - 15%	1,84	D4 (1,6-2,0)	8,46	B (≥ 8 e ≤ 18)	278,00	Não houve
T4 - 30%	1,78	D4 (1,6-2,0)	5,82	A (< 8)	230	Não houve

Fonte: Elaboração própria

Quanto à densidade de massa é possível verificar que os valores obtidos são inversamente proporcionais ao aumento da substituição parcial de caroço de dendê moído, uma vez que quanto maior a porcentagem utilizada do mesmo, menor a densidade de massa.

Em se tratando de outros autores, quanto à semelhança de resultados, Jantsch (2015) e Paes (2015), quanto à densidade de massa da argamassa obtiveram a mesma condição de classe D4 (1,6–2,0 g/cm<sup>3</sup>), encontrada na composição com substituição parcial com 15% e 30% de caroço de dendê moído.

Já quanto ao teor de ar incorporado, o traço referencial e as composições com substituição parcial com dendê de 5% e 15% obtiveram a mesma classificação B (valores ≥ 8 % e ≤ 18 %), encontrando igualdade na pesquisa realizada por Cintra et. al (2014), enquanto a composição com substituição parcial de 30%, foi definida como classe A (valores < 8%) e encontrou igualdade na pesquisa realizada por de Paula (2013), que pesquisou o reaproveitamento de escória de aciaria na produção de argamassa de assentamento em substituição aos agregados naturais.

#### **4.4.4 Resultados dos ensaios realizados no estado endurecido da argamassa**

##### **4.4.4.1 Absorção de água por capilaridade**

O ensaio foi realizado em conformidade com a NBR 15259 (ABNT, 2005) a qual é específica para argamassas de assentamento e revestimento.

##### **4.4.4.1.1 Argamassa de referência confeccionada com traço em massa**

A argamassa confeccionada através do traço de referência apresentou como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0022 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0056 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 5,45 g/dm<sup>2</sup> . min<sup>1/2</sup>.

Em se tratando de classificação quanto à absorção de água por capilaridade, a tabela 4 da NBR 13281 (ABNT, 2001), nos permite classificar as argamassas. A composição utilizando o traço de referência foi classificada como C5, pois apresenta coeficiente de capilaridade (C) entre 5 a 12 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>, uma vez que o valor encontrado foi de 5,45 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

Conforme Bauer (2000) o coeficiente de capilaridade para aplicações gerais deve estar na faixa C3 (2 a 4 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>), já para paredes que estejam expostas as intempéries a classificação recomendada é C1(≤1,5 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) ou C2 ( 1 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>). Com base no que foi dito acima, o coeficiente de capilaridade da composição em questão (traço de referência) não se enquadraria tanto nas aplicações gerais como para paredes expostas a chuva.

##### **4.4.4.1.1.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído com 5%, 15% e 30% – traço em massa**

A argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, obteve como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0015 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0048 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 5,32 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição, assim como o traço referencial foi classificada como C5, pois apresentou coeficiente de capilaridade (C) de 5,34 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

A argamassa com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, obteve os valores de absorção aos 10 min de 0,0010 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0021 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 1,90 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição, apresentou coeficiente de capilaridade de 1,90 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>, logo, segundo a tabela 4 da NBR 13281 (ABNT, 2005) foi classificada como C2, pois seu coeficiente de capilaridade (C) está entre 1 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. Com isso, essa classificação C2 (1,0 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>), recomendaria, segundo Bauer (2000) que a argamassa pudesse até mesmo vir há ser utilizada em paredes que estejam expostas as intempéries.

A argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, obteve como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0016 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0038 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 3,63 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição, apresentou um coeficiente de capilaridade de 3,63 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup> e sendo assim, foi classificada como C3 segundo a tabela 4 da NBR 13281 (ABNT, 2005), pois apresentou coeficiente de capilaridade (C) entre 2 a 4 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>, e segundo Bauer (2000) nesta faixa de valores poderia ser utilizada para aplicações gerais.

#### **4.4.4.1.2 Argamassa de referência confeccionada com traço em volume**

A argamassa confeccionada através do traço de referência apresentou como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0037 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0088 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 8,13 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

Em se tratando de classificação quanto à absorção de água por capilaridade, a composição utilizando o traço de referência foi classificada como C5, cujo valor encontrado foi de 8,13 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

Conforme Bauer (2000), o coeficiente de capilaridade da composição em questão (traço de referência) não se enquadraria tanto nas aplicações gerais como para paredes expostas a chuva.

#### **4.4.4.1.2.1 Argamassas com substituições parciais do agregado miúdo por caroço de dendê moído com 5%, 15% e 30% – traço em volume**

A argamassa com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, obteve como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0031 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0064 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 5,52 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição foi classificada como C5, pois apresentou coeficiente de capilaridade (C) de 5,52 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

A argamassa com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, obteve como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0016 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0034 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 2,81 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição, apresentou coeficiente de capilaridade de 2,81 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>, logo, foi classificada como C3. Com essa classificação obtida, recomendaria, segundo Bauer (2000) que a argamassa pudesse ser utilizada para aplicações gerais.

A argamassa com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, obteve como resultado para o ensaio de absorção por capilaridade os valores de absorção aos 10 min de 0,0030 g/mm<sup>2</sup>, absorção aos 90 min de 0,0062 g/mm<sup>2</sup> e coeficiente de capilaridade de 5,53 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>. A citada composição, apresentou um coeficiente de capilaridade de 5,53 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup> e sendo assim, foi classificada como C5.

#### **4.4.4.1.3 Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados**

A Tabela 23 mostra a evolução dos resultados dos traços de referência e com substituições parciais com caroço de dendê moído quanto aos ensaios referentes à absorção de água por capilaridade para os traços confeccionados em massa.

Tabela 23 - Absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados (traço em massa)

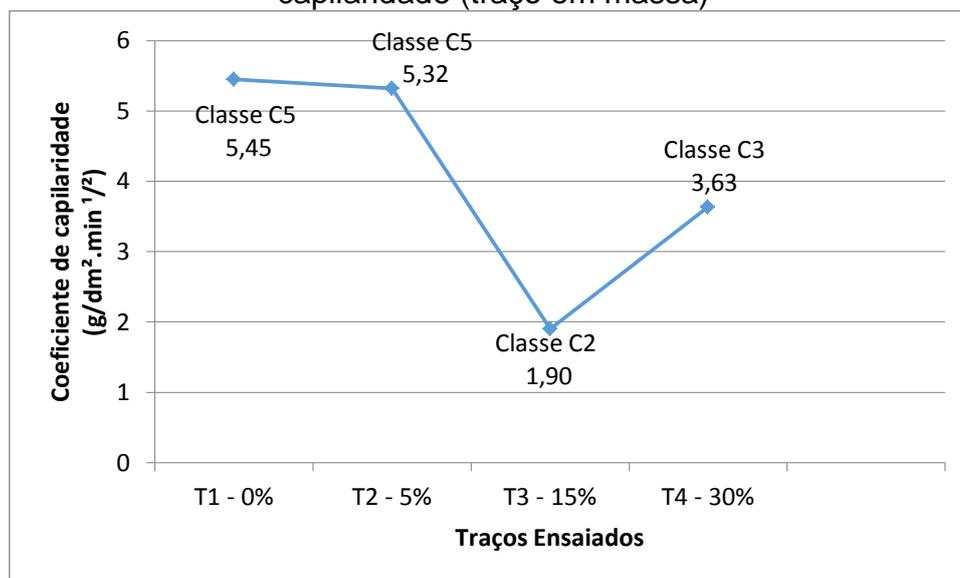
Amostras	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4 - 30%
Absorção aos 10min (g/mm <sup>2</sup> )	0,0022	0,0015	0,0010	0,0016
Absorção aos 90min (g/mm <sup>2</sup> )	0,0056	0,0048	0,0021	0,0038
Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )	5,45	5,32	1,90	3,63
NBR 13281/2005 (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )	C5 (5 -12)	C5 (5 - 12)	C2 (1 – 2,5)	C3 (2,5 – 4,5)

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a classificação da tabela 4 da NBR 13281 (ABNT, 2001), as amostras T1-0% e T2-5% possuem as mesmas classificações, pois apresentam coeficientes de capilaridade (C) na mesma faixa de valores (5 a 12 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>). Já a composição T3-15% apresentou valores inferiores tanto para a absorção nos intervalos de 10 e 90 min, quanto para o coeficiente de capilaridade, pois obteve classificação C2, cuja faixa de valores é menor (1 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>). Por outro lado, a composição T4-30% obteve resultado semelhante para a absorção no primeiro intervalo de tempo (10 minutos), porém resultados inferiores se comparados ao traço referencial e a composições T1-0% e T2-5% para o segundo intervalo (90 minutos), e conseqüentemente apresentou um coeficiente de capilaridade abaixo dessa faixa de valores, mais especificamente 3,63 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>, e assim sendo classificado como C3 cuja faixa de valores varia entre 2,5 a 4,5 g/dm<sup>2</sup>. min<sup>1/2</sup>.

O Gráfico 2, apresenta os valores encontrados para cada uma das composições quanto à absorção de água por capilaridade, por meio do coeficiente de capilaridade para os traços em massa.

Gráfico 2 – Resultados para os traços em estudo quanto ao coeficiente de capilaridade (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

E por meio desse gráfico fica evidente que realmente não há um comportamento que demonstre um padrão em se tratando do percentual de substituição parcial de caroço de dendê moído e o coeficiente de capilaridade.

A Tabela 24 traz os valores referentes às massas médias dos corpos de prova utilizados no ensaio de absorção de água por capilaridade, e as perdas de massa médias dos mesmos em duas situações distintas: após o intervalo de 10 minutos e após o intervalo de 90 minutos para os traços confeccionados em massa.

Tabela 24 – Massas dos corpos de prova após ensaio de absorção de água por capilaridade (traço em massa)

Amostras	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Massa do corpo de prova seco (g)	525,70	483,06	448,63	389,23
Ganho de Massa do cp após Absorção aos 10min (g)	3,60	2,40	1,60	3,00
Ganho de Massa do cp após Absorção aos 90min(g)	9,00	7,70	3,50	6,00
Ganho de Massa Total do cp (%)	1,71	1,59	0,78	1,54

Fonte: Elaboração própria

Com base nos dados acima, é possível ver um paralelo direto entre as massas dos corpos de prova secos e o aumento dos percentuais nas substituições, ou seja, há uma relação inversamente proporcional entre ambos. Conforme era aumentada a substituição parcial, o peso do corpo de prova dos traços ensaiados sofriam decréscimos, tomando como base a massa de T1-0% (525,70 g) em relação à T2-5%, T3-15% T4-30% (483,06 g, 448,63 g, 389,23 g, respectivamente). Isso mostra a relação entre a massa específica do caroço de dendê que é menor que a massa específica da areia, com o aumento da substituição parcial, ou seja, que por possuir uma massa específica mais leve, consequentemente apresentou corpos de prova mais leves em relação ao traço referencial (que apresentavam somente areia como agregado).

A Tabela 25 mostra a evolução dos resultados dos traços de referência e com substituições parciais com caroço de dendê moído quanto aos ensaios referentes à absorção de água por capilaridade para os traços confeccionados em volume.

Tabela 25 - Absorção de água por capilaridade para os traços ensaiados (traço em volume)

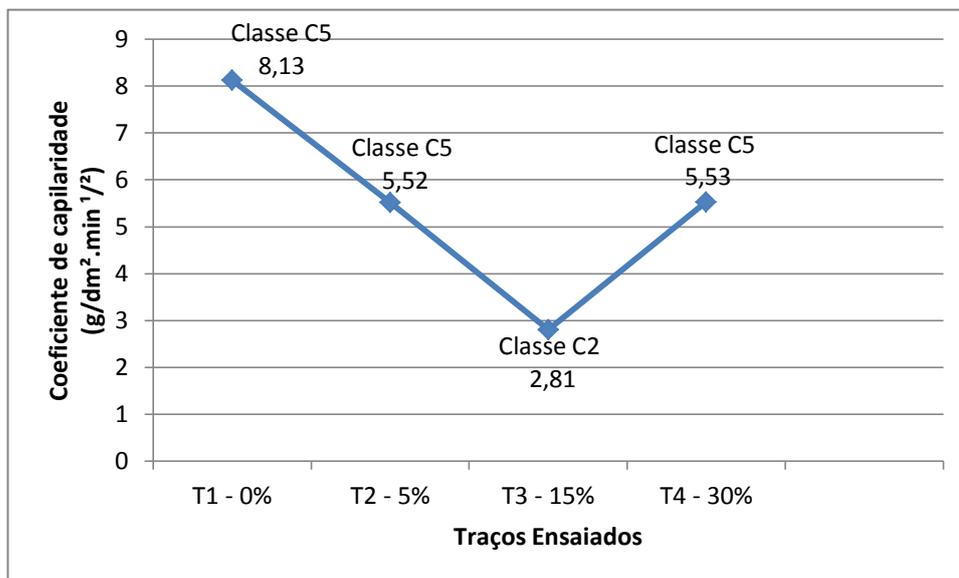
Amostras	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Absorção aos 10min (g/mm <sup>2</sup> )	0,0037	0,0031	0,0016	0,0030
Absorção aos 90min (g/mm <sup>2</sup> )	0,0088	0,0065	0,0034	0,0062
Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )	8,13	5,52	2,81	5,53
NBR 13281/2005 (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )	C5 (5 -12)	C5 (5 - 12)	C3 (2,5 – 4,5)	C5 (5 - 12)

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a classificação da tabela 4 da NBR 13281 (ABNT, 2005), as amostras T1-0% e T2-5% e T4-30% possuem as mesmas classificações, pois apresentam coeficientes de capilaridade (C) na mesma faixa de valores (5 a 12 g/dm<sup>2</sup> . min<sup>1/2</sup>). Já a composição T3-15% apresentou valores inferiores tanto para a absorção nos intervalos de 10 e 90 min, quanto para o coeficiente de capilaridade, pois obteve classificação C3, cuja faixa de valores é menor (2,5 a 4,5 g/dm<sup>2</sup> . min<sup>1/2</sup>).

O Gráfico 3, apresenta os valores encontrados para cada uma das composições quanto à absorção de água por capilaridade, por meio do coeficiente de capilaridade para os traços em volume.

Gráfico 3 – Resultados para os traços em estudo quanto ao coeficiente de capilaridade (traço em volume)



Fonte: Elaboração própria

E por meio desse gráfico fica evidente que realmente não há um comportamento que demonstre um padrão em se tratando do percentual de substituição parcial de caroço de dendê moído e o coeficiente de capilaridade.

A Tabela 26 traz os valores referentes às massas médias dos corpos de prova utilizados no ensaio de absorção de água por capilaridade, e as perdas de massa médias dos mesmos em duas situações distintas: após o intervalo de 10 minutos e após o intervalo de 90 minutos para os traços confeccionados em volume.

Tabela 26 – Massas dos corpos de prova após ensaio de absorção de água por capilaridade (traço em volume)

Amostras	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Massa do corpo de prova seco (g)	500,18	483,50	437,63	407,48
Ganho de Massa do cp após Absorção aos 10min (g)	5,95	4,95	2,55	4,80
Ganho de Massa do cp após Absorção aos 90min(g)	14,08	10,47	5,40	9,92
Ganho de Massa Total do cp (%)	2,81	2,17	1,23	2,43

Fonte: Elaboração própria

Com base nos dados acima, é possível ver um paralelo direto entre as massas dos corpos de prova secos e o aumento dos percentuais nas substituições, ou seja, há uma relação inversamente proporcional entre ambos. Conforme era aumentada a substituição parcial, o peso do corpo de prova dos traços ensaiados sofriam decréscimos, tomando como base a massa de T1-0% (500,18 g) em relação à T2-5%, T3-15% T4-30% (483,50 g, 437,63 g, 407,48 g, respectivamente). Isso mostra a relação entre a massa específica do caroço de dendê que é menor que a massa específica da areia, com o aumento da substituição parcial, ou seja, que por possuir uma massa específica mais leve, consequentemente apresentou corpos de prova mais leves em relação ao traço referencial (que apresentavam somente areia como agregado).

#### 4.4.4.2 Resistência à compressão axial

O ensaio mecânico de resistência à compressão axial foi realizado aos 28 dias em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005) tanto para os traços confeccionados em massa como para os traços confeccionados em volume.

A Tabela 27 traz os resultados para os diferentes traços, quanto ao ensaio de resistência à compressão axial para os traços confeccionados em massa.

Tabela 27 – Resistências à compressão axial para os traços ensaiados (traço em massa)

Estado Endurecido	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Resistência à Compressão (MPa)	21,64	16,69	13,93	6,64
NBR 13281/2005 (MPa)	P6 (> 8)	P6 (> 8)	P6 (> 8)	P5 (5,5 a 9)
Desvio Padrão	1,63	1,48	1,12	0,55
Coeficiente de Variação (%)	7,53	8,87	8,04	8,28

Fonte: Elaboração própria.

O fato de todas as composições terem apresentado um coeficiente de variação  $\leq 15\%$  é muito positivo, pois o mesmo analisa a dispersão dos dados em termos relativos. De uma forma geral, quanto menor for o coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, e para coeficientes de variação  $\leq 15\%$ , os dados são considerados homogêneos e de baixa dispersão.

O traço de referência obteve através do ensaio acima citado uma resistência média de 21,64 MPa. Já a composição com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 16,69 MPa, no entanto em termos de classificação, através da tabela 1 da NBR 13281 (ABNT, 2005), que trata da resistência à compressão axial, ambos os resultados estão classificados na mesma faixa de valores, na classe P6, para resistências maiores que 8 MPa.

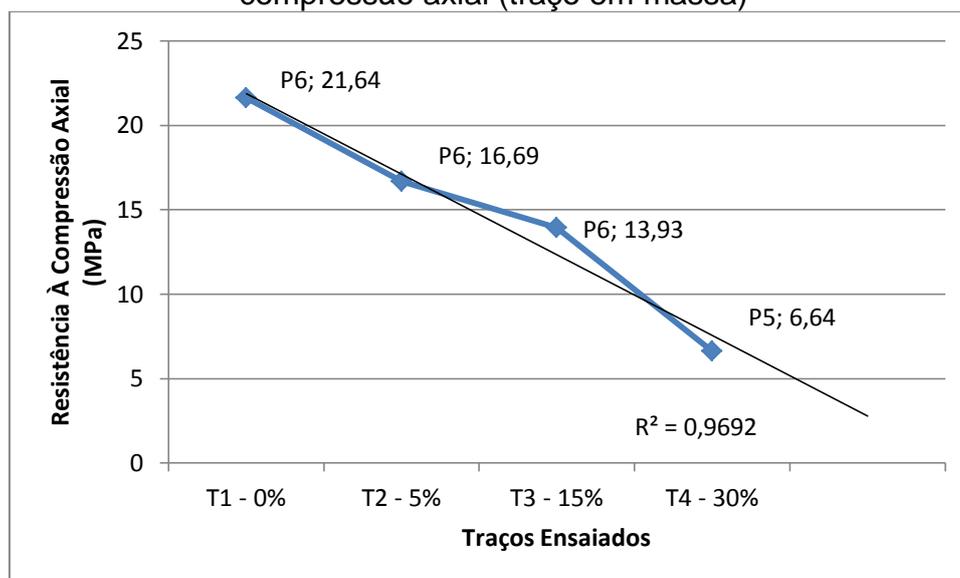
A composição com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 13,93 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 35% menor em relação ao traço referencial, porém, igualmente de classe P6.

A composição com substituição parcial com 30%, apresentou uma resistência média de 6,64 MPa, e através da tabela 1 da NBR 13281 (ABNT, 2005), foi classificada como P5, cujos valores de resistência média variam entre 5,5 à 9 MPa. Contudo, levando-se em conta uma futura utilização em argamassa de revestimento, essa resistência encontrada seria considerada

satisfatória, quando comparadas a resistências utilizadas nas argamassas de revestimento.

O Gráfico 4, apresenta os valores encontrados para cada uma das composições confeccionadas em massa quanto ao ensaio mecânico de resistência a compressão axial.

Gráfico 4 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à compressão axial (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 4 reforça o que fôra dito, que ao aumentar o teor de substituição parcial de caroço de dendê moído junto a areia, o comportamento mecânico quanto a resistência à compressão vai decrescendo, como pode ser pela sua respectiva linha de tendência. Através da citada linha de tendência é possível salientar que a substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído apresenta valores um pouco superiores aos estimados, além do fato do R-quadrado ser de 0,9692, sendo assim, um bom ajuste de linha para os dados.

A Tabela 28 traz os resultados para os diferentes traços, quanto ao ensaio de resistência à compressão axial para os traços confeccionados em volume.

Tabela 28 – Resistências à compressão axial para os traços ensaiados (traço em volume)

Estado Endurecido	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Resistência à Compressão (MPa)	17,01	17,72	11,51	6,67
NBR 13281/2005 (MPa)	P6 (> 8)	P6 (> 8)	P6 (> 8)	P5 (5,5 a 9)
Desvio Padrão	1,44	1,49	1,08	0,62
Coefficiente de Variação (%)	8,46	8,41	9,38	9,29

Fonte: Elaboração própria.

Todas as composições apresentaram um coeficiente de variação  $\leq 15\%$  considerados homogêneos e de baixa dispersão.

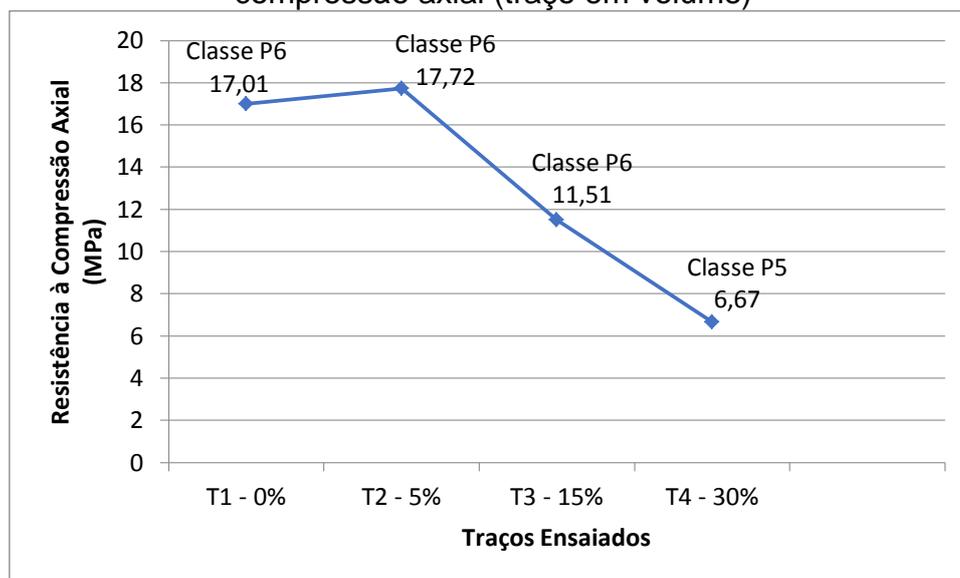
O traço de referência obteve através do ensaio acima citado uma resistência média de 17,01 MPa. Já a composição com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 17,72 MPa, ou seja, um valor 4% maior em relação ao traço referencial, porém, ambos os resultados estão classificados na mesma faixa de valores, na classe P6, para resistências maiores que 8 MPa.

A composição com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 11,51 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 35% menor em relação ao traço com substituição parcial com 5%, no entanto, igualmente da classe P6.

A composição com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 6,67 MPa, foi classificada como P5, cujos valores de resistência média variam entre 5,5 à 9 MPa, porém se levarmos em conta as resistências das argamassas a serem utilizadas para revestimento, seria considerado um resultado positivo.

O Gráfico 5, apresenta os valores encontrados para cada uma das composições confeccionadas em volume quanto ao ensaio mecânico de resistência a compressão axial.

Gráfico 5 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à compressão axial (traço em volume)



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 5 reforça o que fôra dito, que ao aumentar o teor de substituição parcial de caroço de dendê moído junto a areia, o comportamento mecânico quanto a resistência à compressão vai decrescendo. Porém, à substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou resistência superior ao traço referencial.

#### 4.4.4.3 Resistência à tração na flexão

Este ensaio também foi realizado após 28 dias da confecção de cada traço e igualmente com base na NBR 13279 (ABNT, 2005) para ambos os traços: em massa e em volume.

A Tabela 29 traz os resultados para os diferentes traços, quanto ao ensaio de resistência à tração na flexão para as argamassas confeccionadas em massa.

Tabela 29 – Resistências à tração na flexão nos diferentes traços ensaiados (traço em massa)

Estado Endurecido	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	4,82	3,41	3,33	1,78
NBR 13281/2005 (MPa)	R6 ( $\geq 4,5$ )	R4 (2 a 3,5)	R4 (2 a 3,5)	R3 (1,5 a 2,7)
Desvio Padrão	0,52	0,35	0,41	0,20
Coefficiente de Variação (%)	10,79	10,26	12,31	11,23

Fonte: Elaboração própria

Todas as composições apresentaram um coeficiente de variação  $\leq 15\%$ , ou seja, os dados são considerados homogêneos e de baixa dispersão.

Quanto aos valores, assim como esperado, os resultados referentes à resistência de tração na flexão tanto para o traço de referência quanto para as composições com substituições parciais apresentaram valores menores que os apresentados para a resistência à compressão axial. Para da Silva (2006), isso acontece porque o comportamento flexural é mais afetado por pequenos defeitos, nomeadamente, neste caso, por uma ligação fraca entre matriz e agregados.

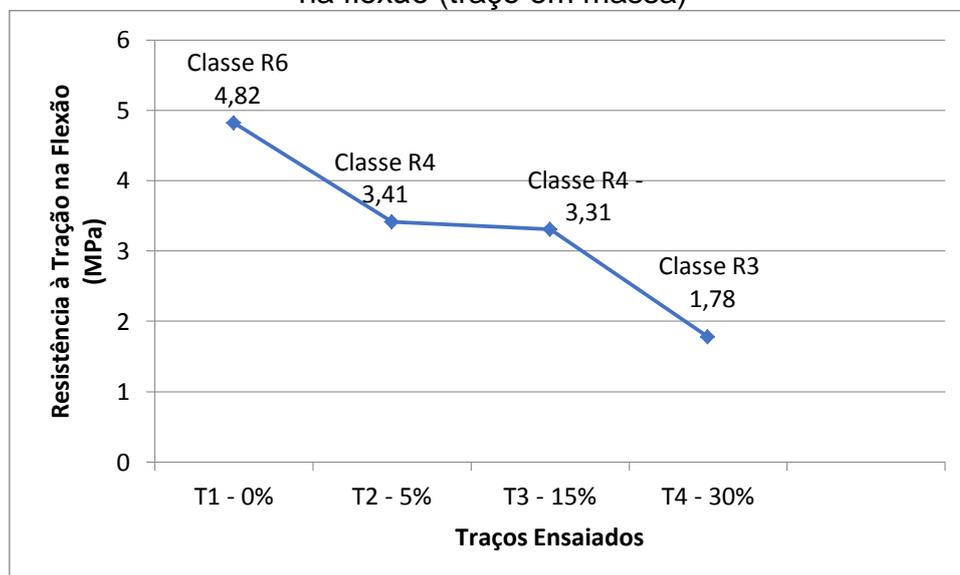
O traço de referência obteve através do ensaio acima citado uma resistência média de 4,82 MPa. Já a composição com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 3,41 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 30% menor em relação ao traço referencial. Em termos de classificação, através da tabela 3 da NBR 13281 (ABNT, 2005), que trata da resistência à tração na flexão, o traço referencial foi classificado como R6 (resistência média  $\geq 4,50$  MPa), enquanto a composição com substituição parcial com 5% se enquadrou na classe R4 (resistências médias com valores variando entre 2,0 a 3,5 MPa).

A composição com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 3,33 MPa. Assim como a composição anterior (5%), foi classificada como R4.

A composição com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 1,78 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 64% menor em relação ao traço referencial. Logo, a composição também foi classificada como R3 (resistências médias com valores variando entre 1,5 a 2,7 MPa).

O Gráfico 6 apresenta os valores encontrados para cada uma das composições confeccionadas em massa quanto ao ensaio mecânico de resistência a tração na flexão.

Gráfico 6 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à tração na flexão (traço em massa)



Fonte: Elaboração própria

O gráfico 6, com os dados referentes ao ensaio de tração na flexão, apresenta o mesmo comportamento já visto no ensaio de resistência à compressão axial, ou seja, que ao aumentar o teor de substituição parcial de caroço de dendê moído junto a areia, o comportamento mecânico quanto a resistência a tração na flexão vai decrescendo se comparados ao traço referencial.

A Tabela 30 traz os resultados para os diferentes traços, quanto ao ensaio de resistência à tração na flexão para as argamassas confeccionadas em volume.

Tabela 30 – Resistências à tração na flexão nos diferentes traços ensaiados (traço em volume)

Estado Endurecido	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	3,60	3,74	2,70	1,84
NBR 13281/2005 (MPa)	R5 (2,7 a 4,5)	R5 (2,7 a 4,5)	R4 (2 a 3,5)	R3 (1,5 a 2,7)
Desvio Padrão	0,48	0,38	0,39	0,28
Coeficiente de Variação (%)	13,33	10,16	14,44	13,59

Fonte: Elaboração própria

Todas as composições apresentaram um coeficiente de variação  $\leq 15\%$ , ou seja, os dados são considerados homogêneos e de baixa dispersão.

Quanto aos valores, os resultados referentes à resistência de tração na flexão tanto para o traço de referência quanto para as composições com substituições parciais apresentaram resultados inferiores quando comparados aos de resistência à compressão axial.

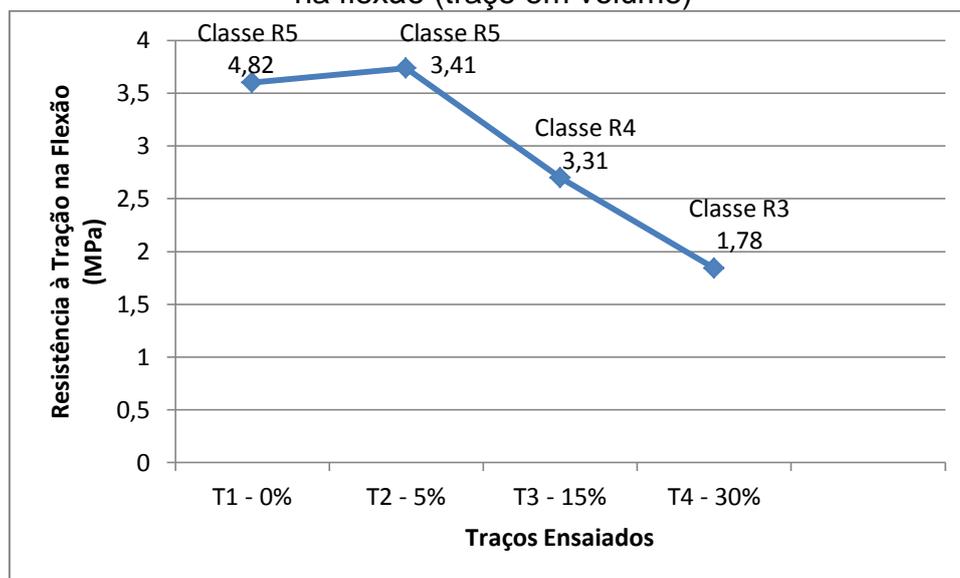
O traço de referência obteve resistência média de 3,60 MPa. Já a composição com substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 3,74 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 3,75 % maior em relação ao traço referencial. Em termos de classificação, ambas as composições foram classificadas como R5 (resistências médias variando entre 2,7 e 4,5 MPa).

A composição com substituição parcial com 15% de caroço de dendê moído, apresentou uma resistência média de 2,70 MPa, e foi classificada como R4 (resistências médias com valores variando entre 2,00 a 3,50 MPa).

A composição com substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído apresentou uma resistência média de 1,84 MPa, sendo classificada como R3 (resistências médias com valores variando entre 1,50 a 2,70 MPa).

O Gráfico 7, apresenta os valores encontrados para cada uma das composições confeccionadas em volume quanto ao ensaio mecânico de resistência a tração na flexão.

Gráfico 7 – Resultados para os traços em estudo quanto à resistência à tração na flexão (traço em volume)



Fonte: Elaboração própria

Através do gráfico 7, com os dados referentes ao ensaio de tração na flexão, é possível afirmar que na medida em que os percentuais das substituições parciais aumentaram (5%, 15% e 30%), seus resultados expressaram quedas em questão de valores e de classe (R5, R4 e R3). Porém, à substituição parcial com 5% de caroço de dendê moído, apresentou resistência superior ao traço referencial.

#### 4.4.4.4 Resumo dos resultados no estado endurecido

A Tabela 31, traz um resumo dos resultados médios, que foram obtidos através dos ensaios realizados com as argamassas, tanto a referencial como as composições com substituição com caroço de dendê moído, no estado endurecido, para as argamassas confeccionadas em massa. Esses resultados são classificados conforme estabelece a NBR 13281 (ABNT, 2005) que nos dá os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Tabela 31 – Resumo dos resultados no estado endurecido (traço em massa)

Traços	Absorção de água por capilaridade (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )		Resistência à compressão axial (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)	
	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma
T1 - 0%	5,45	C5 (>5 e < 12)	21,64	P6 (> 8)	4,82	R6 (≥ 4,5)
T2 - 5%	5,32	C5 (>5 e < 12)	16,69	P6 (> 8)	3,41	R4 (>2 e < 3,5)
T3 - 15%	1,90	C2 (>1 e <2,5)	13,93	P6 (> 8)	3,33	R4 (>2 e < 3,5)
T4 - 30%	3,63	C3 (>2 e < 4)	6,64	P5 (>5,5e<9)	1,78	R3 (>1,5 e<2,7)

Fonte: Elaboração própria

Em se tratando de outros autores, quanto à semelhança de resultados, Canelas (2005) e Carvalho (2006), que utilizaram: PET reciclada em substituição parcial ao agregado miúdo, e, adições de resíduo de carbonato de cálcio, respectivamente, além de ambos terem utilizado na argamassa que serviu de referência os mesmos componentes desse estudo, ou seja: cimento, areia e água, obtiveram, quanto à resistência a compressão axial a mesma condição de classe P6 (para valores de resistência médias maiores que 8 MPa). Para Canelas (2005) esses resultados foram obtidos tanto para o traço referencial quanto para as substituições com 10 e 30% de PET em volume, enquanto para Carvalho (2006) os resultados foram obtidos para a argamassa confeccionada com o traço referencial e para a composição na qual havia 20% de resíduos.

Já quanto ao ensaio de tração na flexão, no qual os traços desde o referencial até as composições com substituição parcial com dendê obtiveram diferentes classificações (R3, R4 e R6), encontraram resultados semelhantes nos estudos realizados por Canelas (2005) para a argamassa composta com 10% de PET reciclado em volume e por Paes (2015) para argamassas com substituição parcial da areia pela cinza do caroço de açaí em percentuais de 10% e 20% (R4 – resistências entre 2,0 a 3,5 MPa), 30% PET reciclado (R3 – resistências entre 1,50 a 2,70 MPa) e por Jantsch (2015) para argamassas estabilizadas com 36 horas aos 28 dias (R6, para resistência ≥ 3,5 MPa).

A Tabela 32, traz um resumo dos resultados médios, que foram obtidos através dos ensaios realizados com as argamassas, tanto a referencial como as composições com substituição com caroço de dendê moído, no estado endurecido, para as argamassas confeccionadas em volume. Esses resultados são classificados conforme estabelece a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 32 – Resumo dos resultados no estado endurecido (traço em volume)

Traços	Absorção de água por capilaridade (g/dm <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup> )		Resistência à compressão axial (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)	
	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma
T1 - 0%	8,13	C5 (>5 e < 12)	17,01	P6 (> 8)	3,60	R5 (>2,7e< 4,5)
T2 - 5%	5,52	C5 (>5 e < 12)	17,72	P6 (> 8)	3,74	R5 (>2,7e< 4,5)
T3 - 15%	2,81	C3 (> 2,5 e < 4,5)	11,51	P6 (> 8)	2,70	R4 (>2 e < 3,5)
T4 - 30%	5,53	C5 (>5 e < 12)	6,67	P5 (>5,5e<9)	1,84	R3 (>1,5 e<2,7)

Fonte: Elaboração própria

Em se tratando de outros autores, quanto à semelhança de resultados, Canelas (2005) e Carvalho (2006), obtiveram quanto à resistência a compressão axial a mesma condição de classe P6 (para valores de resistência médias maiores que 8 MPa).

Já quanto ao ensaio de tração na flexão, no qual os traços desde o referencial até as composições com substituição parcial com dendê obtiveram diferentes classificações (R3, R4 e R5), encontraram resultados semelhantes nos estudos realizados por Casali et al. (2011) para a argamassas estabilizadas com 36 horas (R3 – resistências entre 1,50 a 2,70 MPa e R4 – resistências entre 2 a 3,5 MPa) e por Jantsch (2015) para argamassas estabilizadas com 36 horas aos 40 dias (R5, para resistências médias variando entre 2,7 e 4,5 MPa).

Logo, para ambas as argamassas (confeccionadas em massa e em volume), foi possível verificar que as composições com substituições parciais apresentaram cps mais leves e quando comparados aos cps dos traços referenciais, as diferenças das massas médias chegavam a aproximadamente 20% para a substituição parcial com 30% de caroço de dendê moído. Com

isso, é possível afirmar que esse material poderia ser utilizado em situações em que além da busca de necessidades estruturais há a busca por leveza. Sendo assim, utilizado em situações em que funcionaria como uma espécie de enchimento, como por exemplo, em substituição ao isopor (Poliestireno Expandido – EPS), que apesar de ser um material amplamente utilizado na construção civil, tem como fator negativo ser altamente inflamável e tóxico, além de ser considerado um material combustível quanto a sua resistência ao fogo como elemento construtivo.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussões verificados nessa pesquisa, pode-se afirmar que ambas as argamassas com substituições parciais confeccionadas (traço em massa e em volume) apresentaram resultados semelhantes. De modo geral estas composições seriam recomendados quanto à sua utilização para argamassas de assentamento.

Os traços com substituições parciais com 5% e 15% apresentaram resultados satisfatórios tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, em ambos os traços. Na composição de 15% em volume, as suas propriedades mecânicas foram catalogadas na mesma classe, possibilitando seu uso em lajes leves.

Os resultados obtidos em ambas composições de 30 %, apresentaram uma correlação de classe quanto ao comportamento mecânico/leveza, muito interessantes, visando seu uso em argamassas de revestimento. Esta mesma composição utilizando o argumento anterior poderia ser utilizada em blocos de enchimento nas mais diversas aplicações, em especial a substituição ao Isopor no que tange a segurança.

Concluímos este trabalho vislumbrando o uso de um material orgânico e semelhantes, outrora descartado ou “lixo”, hoje é uma possível solução a escassez natural de agregado miúdo e/ou agregados graúdos. Com isto o impacto ambiental seria diminuído nas extrações dos recursos naturais.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Pesquisar diferentes teores de substituição parcial com agregado de caroço de dendê moído na argamassa para verificar sua viabilidade;
- Realizar nova pesquisa com agregado de caroço de dendê moído utilizando cimentos de diferentes classes;
- Pesquisar substituição parcial com agregado de caroço de dendê moído em uma argamassa de cal, visando aplicações distintas;
- Realizar pesquisa com foco no envelhecimento da argamassa, quanto ao comportamento mecânico em um prazo maior em relação à cura da argamassa;
- Avaliação da viabilidade dos concretos com substituição parcial do agregado de caroço de dendê moído;
- Verificação das propriedades térmicas/acústicas nas argamassas com substituição parcial com caroço de dendê moído.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP, 2012.

ALMEIDA, J. L. M. S. L. **Argamassas Tradicionais e Industriais em Edifícios**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). 2010 – Universidade do Porto, Portugal 108 p.

ALVES, S. A. O. **Resgate in vitro de Híbridos Interespecíficos de Dendezeiros (Elaeis Guineensis X Elaeis Oleifera)**. Universidade Federal Rural da Amazônia. Tese de Mestrado. Belém - Estado do Pará-Brasil, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E – 384 – 99/2000**: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, 1999.

ANGELIM, R. R.; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: CETA / ANTAC, 2003.p.159-168.

ARAÚJO, G. S. **Estudos de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23:2001 **Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45:2006 **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 52 – **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2003 **Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310 - 1:2010. **Peneiras de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010. 20p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 6507-1:2008. **Materiais metálicos – ensaio de dureza Vickers – parte 1: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2008. 103p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200:1998 – **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas** – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211:2005 – **Agregados para concreto** – Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7215:1996 – **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276:2005 **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278:2005. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279 – **Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529:2013. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia**. Rio de Janeiro, 2013. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259:2005 **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15900-1 – **Água para amassamento do concreto** - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.11p.

BANDEIRA, Z. R. **Utilização racional de resíduos da indústria de celulose como matéria-prima para a construção civil**. 1996. 128p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória,ES,1996.

BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de construção**. 5. ed. rev . Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 2000. v.1. 471p.

BRAGA, M. **Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão – efeito de filler e pozolânico**. 2010. 122p. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2010.

BRAGA, M.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine concrete aggregates in mortars**. Construction and Building Materials, n.36. p.960-968, 2012.

BRAGA, M.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Reduction of the cement in mortars made with fine concrete aggregates**. Materials and Structures, n.47. p.171-182, 2014.

CANELAS, S. S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. 2005. 78p. Tese (Mestrado em Engenharia Metalurgica e de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,RJ,2005.

CARASEK, H. Argamassas. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ISAIA,G.C. (Organizador/Editor).São Paulo: IBRACON,2007. p.804-863.

CARVALHO, A. L. **Avaliação das propriedades mecânicas da argamassa contendo adição de resíduo de carbonato de cálcio gerado na fabricação de celulose.** 2006. 142p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, Ba, 2006.

CARVALHO JR., A. N., **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** 2005. 331p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 331p. Belo Horizonte, MG. 2005.

CARVALHO, M. **Embriogênese somática a partir de folhas imaturas e flores desenvolvidas in vitro de dendezeiro (Elaeis guineenses Jacq.).** 2009. 73p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009.

CARVALHO, P. E. F.; COSTA, D.; CARASEK, H. **Aplicação do método de cálculo de volumes técnicos para o estudo de argamassas com fibras de papel de embalagens de cimento.** X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais. Fortaleza, maio 2013.

CASALI, J. M. A.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D. A.; ARRIAGADA, N.T. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento.** IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais. Minas Gerais, maio 2011.

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 de Argamassas. Anais. Fortaleza, maio 2013.

CHAVEZ, C. **Menjoramiento genético.** Curso de palma aceitera. Palm Research Program. Golfito, Coto 54, Costa Rica, 1984.

CINTRA, C.L.D; PAIVA, A.E.M.; BALDO, J.B. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclados de pneus – Propriedades relevantes.** 2014. 8p. Revista Cerâmica (Departamento de Construção Civil) – Instituto Federal do Maranhão, São Luis, Ma. 2014. p. 69-76.

CLEMENT, C.R.; LLERAS-PÉREZ, E.; LEEUWEN, J.van. **O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas.** Agrociências, Montevideu, v.9, n.1/2, p.67-71,2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedade e métodos de ensaio** – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995 (Boletim 68).

CORLEY, R. H. V; TINKER, P. B. H. **The oil palm.** Blackwell Science Ltd. 4ª ed. Oxford. 2003.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre.** 2000. 102 f. Tese (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FARINHA, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars.** Construction and Building Materials, n.83. p.194-206, 2015.

FERWERDA, J. D. **Ecophysiology of the african oil palm.** In: **Alvim P. de (Coord.) Ecophysiology of tropical crops.** Ilhéus: Ceplac v.2, p.1-49. 1975.  
FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos.** São Paulo: Pini, 1994.

HANAY, J. B. **Construções de argamassa armada.** São Paulo: Pini, 1992, p. 189.

HENDERSON, F. M. **Morphology and anatomy of palm seedlings.** The Botanical Review, v.72, p.273-329, 2006. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1663/00068101\(2006\)72%5b273:MAAOPS%5d2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1663/00068101(2006)72%5b273:MAAOPS%5d2.0.CO;2)>. Acesso em 22 de março de 2017.

HOFFMAN, S. **Caracterização físico-química do caroço de dendê visando futuras aplicações.** 2016. 89p. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS. Tese (Mestrado em Engenharia).

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil: Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais.** Vol. 1. 2ª Edição Ampliada e Revisada. Ed.: IBRACON, 2010. São Paulo, p. 1773.

JANTSCH, A.C.A. **Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. 2015. 145p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

KALIL, S. M. B. et al., **Alvenaria estrutural**. 2012. 86 f. Apostila de Alvenaria Estrutural. Pontifícia Universidade Católica. Porto Alegre.

KITAMURA, S., **Estudo Experimental da Influência do Teor de Fibras e das Dimensões dos Corpos de Prova na Resistência à Tração por Compressão Diametral e sua Relação com a Resistência à Tração na Flexão**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense/Niterói, 2006.

KRUS, M.; HANSEN, K. K.; KUNZEL, H. M. **Porosity and liquid absorption of cement paste. Materials and structures/Matériaux et constructions**. Vol. 30. 1997. p. 394-398.

LI, Q.; RENNECKAR, S. **Supramolecular structure characterization of molecularly thin cellulose I nanoparticles**. *Biomacromolecules*, vol. 12, p. 650-659, 2011.

LIMA, S. A. et al. **Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo**. *Revista Tecnológica*. 2009, 12f. p. 87-97.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, SP. 1998.

MAMALIS A. G.; KUNDRAK J., GYANI K; HORVATH M.; **“On the Precision Grinding of Advanced Ceramics”**, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 20, pp. 255–258, 2002.

MARQUES, M. L. et al. **Potencialidades do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas**. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.16, n.4. p.423-431, 2014.

MARTINELLI, F. A; HELENE, P. R. L. **Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de**

**alvenaria.** Boletim Técnico PCC/47. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.

MARTINS, J. G., & ASSUNÇÃO, J. S. (2010). **Materiais de construção: argamassas e rebocos** (3ª ed.).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

MORCILLO, F. et al. EgAP2-1, an AINTEGUMENTA-like (AIL) gene expressed in meristematic and proliferating tissues of embryos in oil palm. *Planta*, Berlin, v. 226, n. 6, p. 1353-1362, Nov. 2007.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2.ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013. 1v. 472 p.

OLIVEIRA, M. L. **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas.** 2001. 171p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

OLIVEIRA, R. B. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de vidro: efeito de filler e pozolânico.** 2012. 282p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2012.

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine glass aggregates in renderings.** *Construction and Building Materials*, n.44. p.329-341, 2013.

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Reduction of the cement content in rendering mortars with fine glass aggregates.** *Construction and Building Materials*, n.95. p.75-88, 2015.

PÁDUA, M. S. **Germinação in vitro, indução e caracterização de massas pró-embriogênicas de dendezeiro (Elaeis guineensis Jacq.).** 2012. 120f. Tese (Mestrado em Biotecnologia Vegetal), Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2012.

PAES, I.; COSTA, D.; CÂMARA, M; VIEIRA, S.; CORDEIRO, L. N. P. **Argamassas com substituição do agregado pela cinza do caroço do açaí.**

XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais. Porto Alegre, abril 2015.

PAULA, D. P. DE; SANTOS, D. H. DOS; OKADA, E. M.; SOUZA, B. P. DE; FONTES, W. C.; PEIXOTO, R. A. F. **Argamassas de escória de aciaria para assentamento de alvenarias e revestimentos**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais. Fortaleza, maio 2013.

POKU, K. **Small-Scale Palm Oil Processing in Africa**. , 148, p. 59. **Boletim técnico Food and Agriculture Organization (FAO)**. [S.l.], p. 59. 2002. (148).

QUENARD, D. A.; XU, K.; KUNZEL, H. M.; BENTZ, D. P.; MARTYS, N. S. **Microstructure and transport properties of porous building materials. Materials and structures/Matériaux et constructions**. Vol. 31. n. 209. 1998. p. 317-324.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa** 1<sup>o</sup> edição Editoração Eletrônica Visual Produções (2012). EDIPURS. Porto Alegre.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 101 p.

ROCHA, W. D. et al., **Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de noz macadâmia e de semente de goiaba**. 2006. Revista Escola de Minas. Vol 59, n<sup>o</sup> 4. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Ouro Preto. UFOP. Ouro Preto. Minas Gerais. 2006.

ROSSETO, V.; ZOTTIS, R.; MORAIS, M. M. , ALMEIDA, A. R. F. **Caracterização física, química e térmica de endocarpos de butiá**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, SC. 2014.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistentes**. Boletim IPT, 1986, São Paulo, 26 p.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007.

SAVIN, G. **O dendezeiro no Estado da Bahia**. Ministério da Agricultura/Instituto de óleos. 1965. 11p. Mimeografa.

SCHUTTER, G.; POPPE, A.M. **Quantification of the water demand of sand in mortar.** Cement and Concrete Research, v. 18, 517-521, 2004.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine ceramics in mortars.** Construction and Building Materials, n.23. p.556-564, 2009.

SILVA, R.V.; BRITO, J.; DHIR, R.K. **Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes.** Construction and Building Materials, n.105. p.400-415, 2016.

Da SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Influência dos finos e da cal nas propriedades da argamassa.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, Brasil, Agosto de 2006, pp 434-439.

SILVA, R. P. et al. **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, Dropping Ball e Squeeze Flow.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Revista Tecnológica. Florianópolis, 2005, 15f. p. 106-120.

SOARES, E. L.; KLIMACZWSKI, F.; TONELLO, I.; OLIVEIRA, M. D.; EDERLI, M.; MARTON, L. F. **Avaliação da utilização de sílica de casca de arroz em argamassas de assentamento.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais. Porto Alegre, abril 2015.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz.** 2008. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências de Tecnologia, Campina Grande, PB, 2008.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995. 188p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,SC,1995.

VIRBOGA – **The Virtual Botanic Garden.** 2013. Disponível em: <[http://www.virboga.de/Elaeis\\_guineensis.htm](http://www.virboga.de/Elaeis_guineensis.htm)> Acesso em: 05 de janeiro de 2017.