



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



CARLOS EDUARDO GOUVEIA GUEDES

COMPATIBILIDADE ENTRE CIMENTO E FIBRAS DAS FOLHAS DO AÇAIZEIRO  
VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOCOMPÓSITOS

MACAPÁ - AP

2019

CARLOS EDUARDO GOUVEIA GUEDES

COMPATIBILIDADE ENTRE CIMENTO E FIBRAS DAS FOLHAS DO AÇAIZEIRO  
VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOCOMPÓSITOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Tiago Marcolino de Souza.

Co-Orientadores: Dra. Lina Bufalino e Dr. Nilson do Santos Ferreira.

MACAPÁ - AP

2019

CARLOS EDUARDO GOUVEIA GUEDES

COMPATIBILIDADE ENTRE CIMENTO E FIBRAS DAS FOLHAS DO AÇAIZEIRO  
VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOCMPÓSITOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 28 de Junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Tiago Marcolino de Souza

Dr. Tiago Marcolino de Souza - UEAP

Francisco Tarcísio Alves Junior

Dr. Francisco Tarcísio Alves Junior - UEAP

Wardsson L. Borges

Dr. Wardsson Lustrino Borges - EMBRAPA

Gabriel Araújo da Silva

Dr. Gabriel Araújo da Silva - UEAP

Dedico este trabalho em memória, à minha querida Avó, Elsira Guedes, que sempre fez de tudo para que eu tivesse uma educação de qualidade e alcançasse meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é a busca incessante pelo conhecimento e aprendizado e só foi possível pelo apoio que recebi ao longo da pesquisa.

Agradeço a Deus, primeiramente, por me guiar e proteger.

À minha esposa Ana Guedes que sempre me encorajando e incentivando durante esse período atribulado e cheio de mudanças, em vários sentidos.

Aos meus filhos Maria e João, por eles é que faço tudo nesta vida.

À minha querida mãe Ana Lúcia, que sempre ajuda à sua maneira.

À minha querida tia Ana Cláudia, por sempre torcer por mim.

Ao meu orientador Dr. Tiago Marcolino.

Aos meus Co-Orientadores Dra. Lina Bufalino e Dr. Nilson Ferreira.

À Universidade Federal do Amapá.

À Universidade Estadual do Amapá.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amapá pelo financiamento do Projeto PROGRAMA PRIMEIROS PROJETOS PPP/FAPEAP PROCESSO N° 250.203.044/2017 PROCESSO INTERNO 610005/2013-5 CNPQ SICONV N 795214/2013.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá  
Elaborada por Cristina Fernandes – CRB2/1569

---

Guedes, Carlos Eduardo Gouveia

Compatibilidade entre cimento e fibras das folhas do açazeiro visando a produção de biocompósitos / Carlos Eduardo Gouveia Guedes ; Orientador, Tiago Marcolino de Souza ; Co-orientadores, Lina Bufalino, Nilson do Santos Ferreira. – Macapá, 2019.

60 f.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

1. Materiais compósitos. 2. Fibras vegetais. 3. Euterpe oleracea. I. Souza, Tiago Marcolino de, orientador. II. Bufalino, Lina, co-orientadora. III. Ferreira, Nilson do Santos, co-orientador. IV. Fundação Universidade Federal do Amapá. V. Título.

634.9745 G924c

CDD. 22 ed.

---

## RESUMO

GUEDES, E. G. G. **Compatibilidade entre cimento e fibras das folhas do açazeiro visando a produção de biocompósitos**. 60 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

O açazeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) é a espécie arbórea de maior frequência relativa e importância socioeconômica das várzeas do Estuário do Rio Amazonas. Trata-se de uma espécie de palmeira da família Arecaceae que é cultivada para o consumo do fruto e para o consumo do palmito. Como a extração de palmito e o próprio manejo de açazeiros geram uma enorme quantidade de resíduos em comparação ao produto principal, uma alternativa para valorização dessa biomassa é o seu aproveitamento para o desenvolvimento de novos materiais, buscando a sustentabilidade sob perspectivas socioeconômicas e ambientais. O trabalho procura investigar a compatibilidade entre o cimento Portland e as fibras das folhas do açazeiro nas condições in natura e submetidas a pré-tratamentos químicos para aplicação como reforço em painéis aglomerados de cimento do tipo CBPB's com a finalidade de subsidiar a produção de biocompósitos. Foi realizado tratamento alcalino variando concentração de NaOH (1% e 5%) e temperatura (70°C, 80°C e 90°C) e o branqueamento foi feito após tratamento alcalino de 5% de NaOH à 90°C. A caracterização das fibras foi realizada utilizando-se de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise de morfologia, termogravimetria e medição de pH em água deionizada. A análise da compatibilidade entre cimento e fibras foi realizada por calorimetria, difração de raios X e ensaios mecânicos. Painéis produzidos com as fibras das folhas de açazeiro tratadas com 5% de NaOH e 90°C foram caracterizados por absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas de imersão em água, densidade aparente (DA) e módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática. O tratamento A1T90 foi o que obteve o maior índice de cristalinidade (40,5%), tanto as temperaturas mais altas quanto as concentrações maiores de NaOH provocaram aumento no índice de cristalinidade. Os tratamentos A5T90 e B4T60 provocaram o desaparecimento do pico de hemiceluloses. As pastas de cimento com fibras apresentaram temperatura de reação inferior em relação à pasta de cimento sem adição de fibras, mas foi verificada baixa taxa de inibição das fibras do açai para todas as condições. Nos difratogramas das pastas pode se observar que as intensidades dos picos das pastas contendo fibras são menores quando comparadas com as intensidades dos picos da pasta de cimento puro, as pastas com fibras apresentaram comportamento semelhante em todos os tratamentos (A1T70, A1T80, A1T90, A5T80, A5T80, A5T90 e

B4T60). Nos ensaios de compressão dos cilindros, os valores obtidos de resistência em todos os tratamentos não se aproximaram do valor mínimo de 34 MPa encontrado na NBR 5733. Os resultados das propriedades físicas das placas desenvolvidas (densidade, umidade, absorção de água e inchamento em espessura) apresentaram valores compatíveis com produtos comerciais. Entretanto, os resultados de MOE e MOR foram inferiores aos valores de referência, indicando que ainda são necessárias melhorias nas etapas de dispersão das fibras na matriz cimentícia e no processo de conformação das placas.

Palavras-chave: Compatibilidade, Biocompósitos, Folhas, Açaizeiros.



## ABSTRACT

GUEDES, E. G. G. **Compatibility between cement and leaves fibers, the açai tree for the production of biocomposites.** 60 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2019.

Açaízeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) is the tree with the highest relative frequency and socioeconomic importance of the Amazon River Estuary's floodplains. It is a species of palm tree of the *Areaceae* family that is cultivated for the consumption of the fruit and for the consumption of the palm. As palm heart extraction and the management of açai trees generate a huge amount of residues compared to the main product, an alternative for valuing this biomass is its use for the development of new materials, seeking sustainability under socioeconomic and environmental perspectives. This work aims to investigate the compatibility between Portland cement and the leaf fibers of the açai tree under fresh conditions and subjected to chemical pretreatment for reinforcement in CBPB's cement agglomerate panels in order to subsidize the production of biocomposites. An alkaline treatment was performed varying NaOH concentration (1% and 5%) and temperature (70°C, 80°C and 90°C) and bleaching was done after alkaline treatment with 5% NaOH concentration at 90 ° C. Fiber characterization was performed using X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM) for morphology analysis, thermogravimetry and pH measurement in deionized water. The compatibility analysis between cement and fibers was performed by calorimetry, X-ray diffraction and mechanical tests. Panels made from the fibers of açai leaves treated with 5% NaOH and 90°C were characterized by water absorption (AW) and thickness swelling (TS), after 2 and 24 hours of water immersion, bulk density (BD) and modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) in static flexion. The A1T90 treatment had the highest crystallinity index (40.5%). Both higher temperatures and higher NaOH concentrations caused an increase in crystallinity index. Treatments A5T90 and B4T60 caused the peak of hemicelluloses to disappear. Fiber cement pastes had a lower reaction temperature than non-fiber cement pastes, but a low inhibition rate of açai fibers was found for all conditions. In the diffractograms of the pastes it can be observed that the peak intensities of the fiber-containing pastes are lower when compared to the peak intensities of the pure cement pastes, the fiber pastes showed similar behavior in all treatments (A1T70, A1T80, A1T90, A5T80, A5T80, A5T90 and B4T60). In the compression tests of the cylinders, the strength values obtained in all treatments did not approach the minimum value of 34 MPa found in NBR 5733. The results of the physical properties of the developed plates (density,

humidity, water absorption and thickness swelling) presented values compatible with commercial products. However, the MOE and MOR results were below the reference values, indicating that improvements are still needed in the dispersion of fibers in the cementitious matrix and in the slab forming process.

**Keywords:** Compatibility, Biocomposites, Leaves, Açazeiros.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tratamentos alcalinos e ultrassônicos de fibras de sisal.....	21
Figura 2 - Estrutura das fibras naturais. ....	22
Figura 3 - Curva de termométrica de hidratação do cimento Portland.....	24
Figura 4 - Difração das fibras TRATADA A1T70, A1T80 e A1T90: tratamento alcalino com 1% de NaOH a 70°C, 80°C e 90°C, respectivamente; A5T70, A5T80 e A5T90: tratamento alcalino com 5% de NaOH a 70°C, 80°C e 90°C, respectivamente B4T60: tratamento alcalino com 4% de NaOH a 60°C do tratamento A5T90;.....	34
Figura 5 - Fotografias das fibras obtidas após os diferentes tratamentos alcalinos e o branqueamento. a) A1T70 b) A1T80 c) A1T90 d) A5T70 e) A5T80 f) A5T90 g) B4T60. ....	35
Figura 6 - Micrografias da Folha do açazeiro <i>in natura</i> . Superfície adaxial da folha de açazeiro ampliada (a) 100 vezes b) 200 vezes c) 600 vezes; e, superfície abaxial da folha de açazeiro ampliada (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes. ....	37
Figura 7 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro tratadas com 1 % de NaOH à 70°C e ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 1 % de NaOH à 80 °C e ampliadas: (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes.....	39
Figura 8 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro tratadas com 1 % de NaOH à 90 °C ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 5 % de NaOH à 70 °C ampliadas: (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes.....	41
Figura 9 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro tratadas com 5 % de NaOH à 80 °C e ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 5 % de NaOH à 90 °C e ampliadas: (d) 80 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes. ....	42
Figura 10 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro branqueadas com 4 % de NaOH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 25 % à 60 °C e ampliadas: (a) 50 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. ....	43
Figura 12 - Diâmetro médio e desvio padrão das fibras nos tratamentos A1T70, A1T80, A1T90, A5T70, A5T80, A5T90 e B4T60. ....	46
Figura 13 - Curvas de TG e DTG da fibra <i>in natura</i> e dos tratamentos químicos, Alcalino A5T90 e Branqueamento B4T60. ....	47
Figura 14 - pH em função do tempo para as fibras tratadas imersas em meio aquoso.....	49
Figura 15 - Curvas de hidratação do cimento Portland e dos tratamentos alcalinos à 1%. ....	50
Figura 16 - Curvas de hidratação do cimento Portland e dos tratamentos alcalinos à 5%. ....	50
Figura 17 - Curvas de hidratação do cimento Portland e do tratamento de branqueamento B4T60.....	51
Figura 18 - Difratoograma da pasta de cimento Portland, sem fibras, E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.....	52
Figura 19 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T70. ....	53

Figura 20 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T80. ....	53
Figura 21 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T90. ....	54
Figura 22 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T70. ....	54
Figura 23 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T80. ....	55
Figura 24 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T90. ....	55
Figura 25 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento B4T60, tratamento alcalino + branqueamento. ....	56
Figura 26 - Análise da resistência à compressão dos CP's do cimento Portland e Tratamentos químicos; Cura 7 e 28 dias. ....	62
Figura 27 - Painel mineral (CPPB) de fibra de folhas de açazeiro.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição estrutural das fibras naturais.....	19
Tabela 2 - Propriedades mecânicas de algumas fibras. ....	21
Tabela 3 - Constituintes do cimento Portland e suas fórmulas. ....	23
Tabela 4. - Principais fases hidratadas do cimento Portland.....	25
Tabela 5 - Nomenclatura do cimento Portland, sigla e classe.....	25
Tabela 6 - Características físicas do cimento CP V- ARI - Alta força inicial.....	26
Tabela 7 - Delineamento dos tratamentos alcalinos.....	27
Tabela 8 - Classificação de materiais lignocelulósicos segundo o índice de inibição. ....	31
Tabela 9 - Teste ANOVA para os diâmetros das fibras dos 7 tratamentos deste trabalho.....	44
Tabela 10 - Teste Tukey à 0,05 de confiabilidade dos diâmetros das fibras dos 7 tratamentos químicos das folhas.....	44
Tabela 11 - Dados obtidos das curvas de termogravimetria, TG e DTG. ....	48
Tabela 12 - Tempo, temperatura e taxa de variação máxima observados nos testes de calorimetria. ...	51
Tabela 13 – Resultado do teste Anova da resistência à compressão dos corpos de prova das pastas com e sem fibras tratadas com 7 de cura.....	58
Tabela 14 - Resultado do teste de Tukey das médias da resistência à compressão dos corpos de provas com 7 dias de cura.....	59
Tabela 15 - Teste ANOVA da resistência á compressão para os corpos de prova com tempo de cura 28 dias .....	60
Tabela 16 - Resultado do teste de Tukey das médias da resistência à compressão dos corpos de provas com 28 dias de cura.....	60
Tabela 17 - Teste ANOVA para os CP's sem fibras de 7 e 28 dias.....	61
Tabela 18 - Teste de Tukey para CP's sem fibras co tempo de cura de 7 e 28 dias. ....	61
Tabela 19 - Resultados médios da umidade, absorção de água (AA) em 2 e 24 horas, inchamento em espessura (IE) após 2 e 24 horas de imersão dos corpos de prova, densidade média, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). ....	63

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2 OBJETIVOS .....	15
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	15
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
3.1 Painéis minerais.....	15
<b>3.2. Fibras naturais</b> .....	17
<b>3.3. Cimento Portland</b> .....	22
3.3.1. Hidratação do cimento Portland .....	23
3.3.2. Tipos de cimento Portland.....	25
3.4. Aditivos químicos .....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
<b>4.1. Matérias-primas</b> .....	26
4.1.1. Folhas de açazeiro .....	26
4.1.2. Aglomerante .....	27
<b>4.2. Tratamentos das fibras das folhas do açazeiro</b> .....	27
4.2.1. Tratamento alcalino.....	27
4.2.2. Tratamento alcalino e branqueamento das fibras .....	28
<b>4.3. Massa específica das fibras tratadas</b> .....	28
<b>4.4. Determinação da umidade das fibras</b> .....	28
<b>4.5. Análise do pH das fibras obtidas nos tratamentos químicos</b> .....	29
<b>4.5. Caracterização das fibras</b> .....	29
4.5.1. Índice de cristalinidade.....	29
4.5.2. Microscopia eletrônica por varredura (MEV) .....	29
4.5.3. Termogravimetria.....	29
<b>4.6. Análise da compatibilidade entre as fibras e cimento Portland</b> .....	29
4.6.1. Difração de raios X .....	29

4.6.2.	Calorimetria semi-adiabática.....	30
4.6.2.1.	Índice de inibição .....	30
4.6.3.	Análise mecânica – compressão.....	31
<b>4.7.</b>	<b>Produção dos painéis.....</b>	<b>31</b>
<b>4.8.</b>	<b>Análises físicas e mecânicas dos painéis .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
5.1.	Massa específica das fibras.....	33
5.2.	Cristalinidade e a influência dos tratamentos nas fibras.....	33
<b>5.3.</b>	<b>Compatibilidade entre as fibras e o cimento Portland.....</b>	<b>49</b>
5.3.1.	Calorimetria e Índice de inibição .....	49
5.3.2.	Difração de raios X das pastas .....	52
5.3.3.	Resistência mecânica das pastas.....	57
<b>5.4</b>	<b>Caracterização física e mecânica dos compósitos.....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O açáizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) é a espécie arbórea de maior frequência relativa e importância socioeconômica das várzeas do Estuário do Rio Amazonas. Trata-se de uma espécie de palmeira da família Arecaceae que é cultivada para o consumo do fruto e para o consumo do palmito (PETRUZZELLO, 2015). Nativas da América do Sul e da América Central, as palmeiras de açaí são comuns ao longo do Rio Amazonas e também são cultivadas em planícies de inundação, especialmente nos estados do Amapá e Pará, no Brasil. Segundo Rogez (2000), o fruto dessa palmeira, o açaí, proporciona delicioso e nutritivo suco e constitui-se num dos principais alimentos das populações ribeirinhas, rico em gorduras, proteínas e fibras, ainda contando com apreciáveis quantidades de ferro, cálcio, fósforo e potássio. A planta tem sido valorizada comercialmente por seus corações de palma (palmito) de alta qualidade, e por seus frutos, promovidos como superalimentos, que cresceram em popularidade em todo o mundo no início do século XXI.

Segundo Yamanaka (2012), existem diferentes utilidades para os produtos e subprodutos do açáizeiro. Dos frutos podem ser produzidos sucos, cremes, sorvetes, etc. Do palmito podem ser obtidos picles, salada e ração animal. Das raízes pode ser fabricado vermífugo. Do cacho são fabricados vassouras e adubo orgânico. As estirpes podem ser utilizadas na construção de casas, pontes, cercas, currais, lenha, obtenção de celulose e isolamentos. E as folhas podem ser utilizadas em coberturas de casas, em paredes, em cestos, em tapetes, em chapéis, esteiras, obtenção de celulose, ração animal, adubo orgânico, coberturas mortas e sombreamento de sementeiras e plantas.

Assim como na produção de palmito, o manejo para produção de fruto de açaí gera muitos resíduos. De acordo com Freitas (2015), o açazal manejado produz mais frutos e de melhor qualidade. Mas, para conservá-lo produtivo, é preciso fazer a manutenção a cada dois anos, por meio de roçagem e retirada das palmeiras muito finas e com mais de 12 metros de altura. Manejar um açazal, de forma otimizada, pode proporcionar ao produtor uma renda maior, devido ao aumento da produção do fruto, se comparado a um açazal nativo.

Como em toda atividade de extração de recursos naturais, os resíduos gerados e depositados no ambiente podem tornar-se um problema. A decomposição desses resíduos fibrosos é normalmente lenta (ADENESKY FILHO, 2007), o que pode ser preocupante quando os mesmos são descartados de forma inadequada e sem previsão de reutilização.

Como a extração de palmito e o próprio manejo de açazais geram uma enorme quantidade de resíduos em comparação ao produto principal, uma alternativa para valoração dessa biomassa



é o seu aproveitamento para o desenvolvimento de novos materiais, buscando a sustentabilidade sob perspectivas socioeconômicas e ambientais.

A aplicação de recursos naturais e resíduos na produção de biocompósitos, que podem ser destinados para aplicação na construção civil, além de evitar desperdícios, poderia contribuir para a minimizar a exploração e evitar o esgotamento de derivados do petróleo. Segundo Quiroga et al. (2015), existe um problema social grave em vários países da América do Sul, a deficiência em habitação. Este fator afeta diretamente o interesse pelo desenvolvimento de materiais alternativos que sejam empregados na construção civil. Matérias primas locais são o foco de vários estudos nesse campo da ciência em países como Argentina, Brasil e Chile, que enfrentam situações emergenciais.

Uma possibilidade promissora para utilização de resíduos e/ou fibras naturais para aplicação na construção civil seria o desenvolvimento de painéis minerais. Esse tipo de painel aglomerado, usualmente chamados de CBPBs ou CFBFs (Cement Bonded Particle Boards ou Cement Bonded Fiber Boards), são constituídos de partículas de madeira (ou fibras naturais), cimento Portland, aditivos e água e, são facilmente produzidos por meio da mistura dos componentes numa betoneira e prensagem na forma de placas.

Existem várias vantagens dos CBPBs e CFBFs em relação a outros tipos de painéis aglomerados, por exemplo, não apresentar resinas sintéticas em sua composição e necessitar de uma quantidade baixa de energia para sua fabricação. Portanto, sua constituição e processos de produção relativamente simples são vantagens para regiões onde desenvolvimento tecnológico ainda não está consolidado, como é o caso do Amapá.

Adicionalmente, segundo Zhao et al. (2013), esses compósitos fornecem a possibilidade de utilização de diferentes tipos de resíduos, de modo a auxiliar a indústria de materiais de construção e a economia de energia sendo possível gerar indústrias multifuncionais verdes. Segundo Brasileiro, Vieira e Barreto (2013), esses materiais podem ser utilizados em várias fases na construção civil, por serem leves, são utilizados em paredes não estruturais e nos tetos.

O estudo da compatibilidade entre as folhas de açaizeiro e o cimento pode viabilizar a produção desses painéis utilizando essa matéria-prima. De acordo com Jansen et al. (2012), o processo de hidratação é complexo e vários fatores podem influenciar na compatibilidade ou no desempenho dos biocompósitos, tais como: a composição química do material lignocelulósico, o teor e tipo de extrativos e hemiceluloses, etc.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Investigar a compatibilidade entre o cimento Portland e as fibras das folhas do açazeiro com a finalidade de subsidiar a produção de biocompósitos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar as propriedades físicas e químicas da matéria prima na condição in natura;
- Avaliar a influência de diferentes pré-tratamentos nas características das fibras do açazeiro;
- Combinar as técnicas de difração de raios X, calorimetria e resistência mecânica para analisar a compatibilidade entre cimento Portland e as fibras das folhas do açazeiro modificadas;
- Caracterizar as propriedades físico-mecânicas dos biocompósitos produzidos com as biomassas nas condições modificadas;

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Painéis minerais**

Painéis minerais têm sido utilizados por muitos anos na área de construção civil, por exemplo, painéis aglomerados prensados que garantem o isolamento em paredes e lajes (ZOULALIAN et al., 1995). Esses painéis são apropriados para aplicações externas e internas (ELTOMATION, 2019) e permitem tratamentos em suas superfícies (verniz, lâminas e pinturas, etc) (POMARICO, 2013).

Os painéis minerais são admitidos em muitos países por causa de suas características vantajosas sobre outros tipos de painéis (MOSLEMI; PFISTER, 1987). Segundo Ferraz (2011), a vantagem desse tipo de painel está na sua resistência e dureza, relativamente maiores que as de seus materiais em separado, além do seu baixo peso. Além dessas características, podem ser citadas: alta durabilidade (SAVASTANO JUNIOR; WARDEN, 2003), trabalhabilidade similar à dos produtos de madeira, bom comportamento no emprego de pregos e parafusos, alta resistência ao fogo, resistência a mudanças drásticas de temperatura, alta resistência à umidade, alta resistência a fungos e insetos e o fato de não conter formaldeído (POMARICO, 2013).

Os painéis minerais são compostos basicamente de partículas ou fibras de materiais lignocelulósicos (madeira, biomassa vegetal: aglomerado), cimento Portland (aglomerante),

aditivos (que podem ser aceleradores para pega do cimento) e água (PAULA et al., 2009; SÁ et al., 2010; BUFALINO, 2010; POMARICO, 2013; BILCATI, 2015;). A prensagem é normalmente realizada a frio, ou seja, não é utilizado calor para produção desses painéis. Essa característica do processo tem um impacto tanto financeiro quanto tecnológico.

A produção destes painéis permite a utilização de uma variedade de materiais lignocelulósicos (YOUNGQUIST, 1999). Segundo Bicalti (2015), o emprego de fibras vegetais se torna vantajoso, na produção de painéis, dependendo das propriedades estruturais e mecânicas, que geralmente são influenciadas pelo local de origem, condições climáticas, idade das plantas e métodos de extração das fibras. Além disso, as fibras quando empregadas nos painéis, na formação de compósitos, devem ser facilmente dispersas da mistura, apresentar boas propriedades mecânicas, além é claro, possuir geometria que seja apropriada (WANG; WU; LI, 2000).

O objetivo da utilização de fibras vegetais em painéis é a melhoria das propriedades mecânicas (BICALTI, 2015). Visto que a matriz de cimento é frágil, as fibras entrariam com reforço deste material, melhorando características dos painéis, tais como: rompimento, tenacidade e resistência a tração. De acordo com Agopyan et al. (2005) e Lopes (2010), as fibras normalmente diminuem a fissuração da matriz e podem ser usadas na fabricação de materiais destinados à construção civil.

De acordo com Ferraz (2011) e Matoski (2005), compósitos reforçados com material lignocelulósico apresentam entre 30 e 70% de sua massa de material lignocelulósico e de 70 a 30% de aglomerante (fase ligante). Os painéis minerais, possuem uma extensa variabilidade em forma e função (WOLFE; GJINOLLI, 1996; FERRAZ, 2011). Painéis com alta densidade, 1,5 – 2,0 g/cm<sup>3</sup>, contendo de 5 % a 10 % da massa em fibras, são muito utilizados em aplicações que necessitam de uma superfície durável e que suporte intempéries (telhados, pisos e tapumes). E os painéis de baixa densidade, 0,5 – 1,0 g/cm<sup>3</sup>, têm sua utilização onde a absorção sonora e resistência ao fogo são mais necessários.

Para Matoski (2005), a fase ligante teria algumas funções, entre elas, o cimento transmitiria o esforço entre as fibras, além de proteger as fibras do meio e orientá-las de forma apropriada. O comportamento de compósitos reforçados com fibras vegetais depende, geralmente, da relação entre a fibra e a matriz e da capacidade de transferência de tensão da matriz para a fibra, sendo que a eficiência dessa transferência tem um papel importante na determinação das propriedades mecânicas do composto (FERRAZ, 2011; BICALTI, 2015).

A presença de substâncias químicas, extrativos, como compostos fenólicos, ácidos e açúcares, nos materiais lignocelulósicos podem gerar a incompatibilidade química entre estes e o cimento (LATORRACA; IWAKIRI, 2000; MORI et al., 2007; PAULA et al., 2009; BERALDO, 2012), o que pode ser uma das limitações dos painéis cimento-fibras naturais (SÁ et al, 2010; POMARICO, 2013;), pois afetam a cura do cimento (CHITTENDEN et al., 1975; LATORRACA, 2000). De um modo geral, se o processo de cura do cimento não for influenciado ou for pouco influenciado pela presença da madeira, significa que esses produtos são compatíveis, entretanto, se a cura for prejudicada ou não acontecer a pega, então esses são tidos como incompatíveis (FERRAZ, 2011).

Para mitigar a incompatibilidade e permitir o uso de espécies com altos teores de extrativos, faz-se necessário o uso de tratamentos dos materiais lignocelulósicos (SÁ et al., 2010). Para Ferraz (2011), a quantidade de pesquisas para desenvolvimento e produção de painéis minerais vem aumentando devido ao reconhecimento da adequação de diversas matérias primas, aceitabilidade de novos produtos pelo mercado, assim como o intuito de proteção da biodiversidade.

### **3.2. Fibras naturais**

Fibras naturais são subdivididas com base em suas origens, provenientes de plantas, animais ou minerais. Geralmente, plantas ou fibras vegetais são usadas para reforçar plásticos. As fibras vegetais podem incluir pelos (algodão, sumáuima), feixes de fibras de plantas dicotílicas ou feixes de vasos de plantas monocotiledonias, como por exemplo, fibras do floema (linho, cânhamo, juta, rami) e fibras duras (sisal, henequen, coco) (BLEDZKI, GASSAN, 1999).

Desde o início da evolução da espécie humana as fibras naturais têm sido utilizadas (BALAKRISHNA; RAO; RAKESH, 2013). As fibras naturais de celulose sempre receberam muita atenção devido à sua grande importância das propriedades "verdes" e de proteção à saúde, e têm sido amplamente utilizadas em vários campos, como a indústria têxtil e na vida diária (YANG et al., 2019). Nas últimas décadas, houve um aumento no interesse por fibras de base celulósica como cargas de reforço nos compósitos poliméricos, devido à poluição ambiental causada pelo uso extensivo de fibras sintéticas, como as fibras de vidro (KRISHNAIAH; RATNAM; MANICKAM, 2017; TIAN; ZHONG; PAN, 2018).

As fibras naturais existem em abundância, geralmente apresentam baixo custo, sendo deriváveis de várias partes de materiais vegetais, como folhas, hastes, superfície de frutas ou madeira (OLORUNNISOLA, 2007). As fibras naturais apresentam diversas vantagens, tais como: baixa massa específica, maciez, abrasividade reduzida, baixo custo, reciclabilidade,

atoxidade, biodegradabilidade, estímulo a empregos na zona rural e o baixo consumo de energia para sua produção. Além disso, algumas fibras naturais são conhecidas por terem bons potenciais de reforço para produzir compósitos (KABIR; LAU; CARDONA, 2012).

Segundo Kabir, Lau e Cardona (2012), as fibras naturais não são alternativas livres de problemas. Suas composições estruturais (celulose, hemiceluloses lignina, pectina e substâncias cerosas) permitem a absorção da umidade do ambiente, o que leva a uma má ligação com os materiais da matriz cimentícia, painel.

Assim, pode-se enumerar também outras desvantagens e/ou limitações: baixas temperaturas de processamento, acentuada variabilidade em suas propriedades mecânicas e baixa estabilidade dimensional, sensibilidade a efeitos ambientais (variações de temperatura e umidade), propriedades mecânicas modestas quando comparadas às fibras sintéticas (fibra de carbono, de vidro, etc.), presença de seções transversais de geometria complexa e não uniforme (NETO; PARDINI, 2006).

As estruturas químicas das fibras e da matriz podem causar uma transferência de tensão ineficaz em toda a interface dos compósitos. Por isso, tratar a superfície das fibras é extremamente necessário. Estes tratamentos são baseados em compostos que podem reagir com as estruturas da fibra e mudar sua composição. A tendência de absorção de umidade das fibras é reduzida e isso facilita a compatibilidade com a matriz polimérica (ABDELMOULEH, 2007; KABIR; LAU; CARDONA, 2012). Mesmo existindo muitos benefícios na utilização de fibras naturais, deve-se levar em conta a afinidade das fibras naturais, umidade e água nos ambientes de serviço (YANG et al., 2019; JAIN ET AL. 2019). Segundo Tian, Zhong e Pan (2018), absorção de umidade nas fibras naturais leva ao inchaço das fibras e à deterioração da ligação entre as fibras naturais e a matriz. A exposição prolongada à umidade pode resultar em plastificação da matriz, inchaço, hidrólise, oxidação, e coesão interfacial entre fibra e matriz (JAIN et al., 2019). Vários métodos de pré-tratamentos de fibras foram propostos no passado para reduzir a susceptibilidade à umidade das fibras naturais.

De acordo com Jain et al. (2019), pré-tratamentos das fibras com diferentes concentrações alcalinas melhoram a rugosidade superficial, reduzindo o teor de celulose e hemicelulose, com isso, reduzindo a absorção de água em diversos tipos de fibras naturais. Para Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017), a modificação da superfície das fibras naturais é frequentemente

o método seguido para a remoção de materiais amorfos da superfície da fibra, essa remoção tem o intuito de aumentar a compatibilidade entre as interfaces fibra-matriz nos compósitos.

Tratamentos alcalinos reduzem os diâmetros das fibras removendo os materiais amorfos da superfície da fibra. Assim, a remoção de materiais amorfos expõe a celulose e os seus grupos hidroxilas e conduz a uma melhor ligação entre a superfície da fibra e a matriz, melhorando assim as propriedades mecânicas e térmicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras (KRISHNAIAH; RATNAM; MANICKAM, 2017). Segundo Jain et al. (2019), a remoção das impurezas e a melhoria da rugosidade da superfície também aumentaram o módulo elástico de várias fibras naturais.

As fibras naturais são de natureza lignocelulósica e são compostas por celulose e hemiceluloses (carboidratos), lignina, pectina e substâncias cerosas (BLEDZKI; GASSAN, 1999; PASSOS, 2005; FERRAZ, 2011; KABIR; LAU; CARDONA, 2012). A composição estrutural das diferentes fibras naturais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição estrutural das fibras naturais.

<b>Nome das fibras</b>	<b>Celulose (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Hemicelulose (%)</b>	<b>Pectina (%)</b>	<b>Ceras (%)</b>	<b>Ângulo microfibrilar / Esperial (°)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
Juta	61–71.5	12–13	13.6–20.4	0.2	0.5	8.0	12.6
Linho	71	2.2	18.6–20.6	2.3	1.7	10.0	10.0
Cânhamo	70.2–74.4	3.7–5.7	17.9–22.4	0.9	0.8	6.2	10.8
Rami	68.6–76.2	0.6–0.7	13.1–16.7	1.9	0.3	7.5	8.0

Fonte – Mwaikambo e Ansell (1999); Fakirov e Bhattacharyya (2007).

A celulose é o componente essencial de todas as fibras vegetais (BLEDZKI; GASSAN, 1999; LEONARD; MARTIN, 2002; KABIR; LAU; CARDONA, 2012). Para Leonard e Martin (2002) e Kabir et al. (2012), a celulose fornece força, rigidez ou resistência e estabilidade estrutural da fibra. A celulose é um polímero de condensação linear que consiste em unidades de anidroglicopiranoose ou como unidades de anidroglicose ou mesmo como unidades de glicose (BLEDZKI; GASSAN, 1999; PASSOS, 2005; FERRAZ, 2011). Segundo Leonard e Martin (2002) e Kabir, Lau e Cardona (2012), existem três grupos de hidroxilas (OH) formando a estrutura química da celulose. Sendo que dois formam ligações de hidrogênio dentro das macromoléculas de celulose, intramolecular, enquanto o restante do grupo forma ligações de hidrogênio com outras moléculas de celulose, intermoleculares.

As hemiceluloses são polissacarídeos que possuem massas moleculares baixas e são solúveis em água e soluções alcalinas (FERRAZ, 2011; SANTOS; 2006). Para Saheb e Jog (1999), a hemicelulose é responsável pela biodegradação, absorção de umidade e degradação térmica da fibra, já que sua resistência é mínima. Segundo Kabir, Lau e Cardona (2012), as hemiceluloses ocorrem principalmente na parede celular primária e possui polímeros ramificados contendo cinco e seis açúcares de carbono, de estruturas químicas variadas. Passos (2005) acrescenta, que os açúcares são: glicose, xilose, galactose, arabinose e manose. Segundo Bledzki e Gassan (1999), as hemiceluloses exibem um considerável grau de ramificação de cadeia e possuem o grau de polimerização entre dez a cem vezes menor em comparação a celulose. As hemiceluloses constituem cerca de 20 a 30% das fibras sendo predominantemente encontradas nas paredes celulares primárias e secundárias (PASSOS, 2005). Segundo Thakur e Singha (2010), as hemiceluloses agem como uma ligação entre a celulose fibrosa e a lignina amorfa.

A lignina é amorfa e possui uma estrutura aromática (KABIR; LAU; CARDONA, 2012), e além disso, segundo Bledzki e Gassan (1999), é um polímero de hidrocarbonetos complexos com componentes alifáticos, além de ser, termicamente instável e responsável pela degradação da radiação UV (SAHEB; JOG, 1999).

A pectina é composta por polissacarídeos complexos. Suas cadeias laterais são reticuladas com os íons cálcio e açúcares arabinose (KABIR; LAU; CARDONA, 2012). Segundo Bledzki e Gassan (1999), a pectina é um nome coletivo para heteropolissacarídeos, que consistem essencialmente em ácido poligalacturônico.

Segundo Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017), as fibras de sisal são um dos melhores materiais de reforço para compósitos poliméricos devido ao seu maior teor de celulose (78%), boa resistência à tração, > 600 MPa (LI et al.; 2000), fácil disponibilidade e baixo custo. Entretanto, semelhante a outras fibras naturais, as fibras de sisal são pouco compatíveis com as matrizes de termoplásticos, devido à sua superfície hidrofílica que reduz as propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos reforçados com fibras de sisal (SAHU, 2017; KRISHNAIAH; RATNAM; MANICKAM, 2017).

Segundo Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017), vários pesquisadores estudaram os efeitos simultâneos de tratamentos alcalinos e ultrassonográficos em fibras sisal, onde observaram uma melhora significativa nas propriedades mecânicas, térmicas e interfaciais dos compósitos resultantes, além de constatar os efeitos resultantes na morfologia das fibras, figura 1.

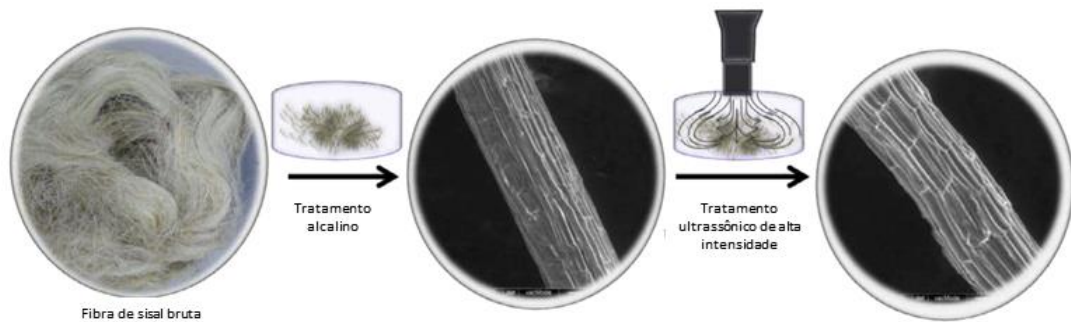


Figura 1 - Tratamentos alcalinos e ultrassônicos de fibras de sisal.

Fonte – Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017).

Para escolher o tipo mais adequado de fibra deve-se levar em conta o seu módulo de elasticidade, sendo o critério mais decisivo (SANTOS, 2006). Na Tabela 2 (BLEDZKI; GASSAN, 1999) são apresentadas características mecânicas das fibras naturais e sintéticas. As fibras de carbono e de vidro (E-vidro) mostram-se superiores em relação aos das fibras naturais.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de algumas fibras.

<b>Fibra</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Alongamento (%)</b>	<b>Resistência à Tração (Mpa)</b>	<b>MOE (GPa)</b>
Coco	1,2	30	175	4,0-6,0
Algodão	1,5 – 1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Kraft	1,5	-	1000	40,0
E-vidro	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Carbono padrão	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

Fonte – Bledzki e Gassan (1999)

### 3.2.1. Estrutura de uma fibra natural

As fibras naturais são divididas em paredes e apresentam-se em dois tipos paredes, primárias e secundárias. As paredes apresentam microfibrilas de celulose e que são entremeadas por lignina e hemicelulose. As microfibrilas apresentam uma angulação em relação ao comprimento longitudinal da fibra. A figura 2 apresenta a estrutura esquemática de uma fibra natural (KABIR; LAU; CARDONA, 2012).



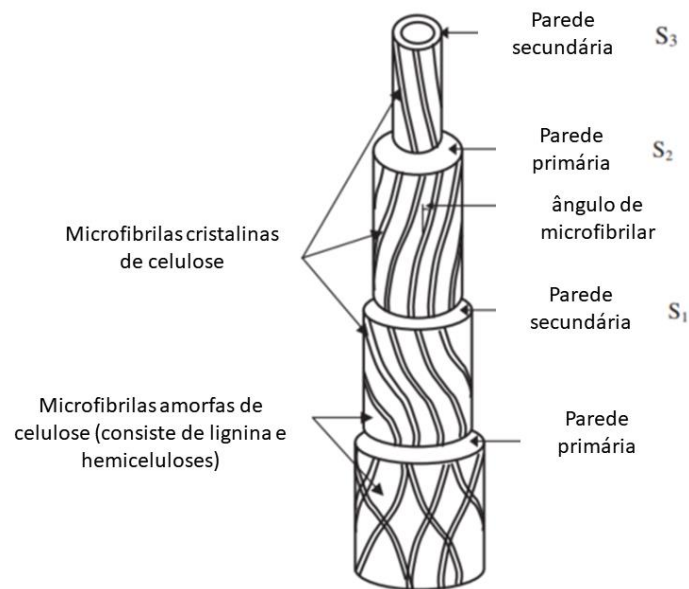


Figura 2 - Estrutura das fibras naturais.  
 Fonte – Kabir, Lau e Cardona (2012)

### 3.3. Cimento Portland

Cimento Portland é a denominação convencionalmente mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento (ABCP, 2003). O cimento Portland consiste de um aglutinante ou aglomerante hidráulico na forma de pó fino, produzido pela moagem de clínqueres, que são constituídos em sua essência de silicatos de cálcio, sulfato de cálcio, e em alguns casos são adicionadas substâncias que alteram suas propriedades para melhorar seu desempenho (MEHTA, 2008; BAUER, 2012). Segundo Bicalti (2015), o cimento apresenta propriedade de reagir quimicamente com a água, para transformar-se em uma massa plástica, de fácil modelagem, que endurece com o tempo, para adquirir elevada resistência. Após o endurecimento, o cimento Portland não se decompõe mesmo que seja submetido à ação da água.

A melhor maneira de conhecer as características e propriedades dos mais diversos tipos de cimento Portland é conhecer as suas composições. O cimento Portland é constituído de clínquer e adições. O tipo do cimento é definido de acordo com as adições.

As matérias primas do clínquer são o calcário e a argila. Em primeiro momento a rocha calcária é britada, e em seguida, é moída e misturada com argila moída. A mistura passa por um forno girante com grande diâmetro e comprimento, sendo que a sua temperatura pode alcançar 1450°C. Com a elevada temperatura, a mistura transforma-se num novo material,

chamado de clínquer. Apresentando-se sob a forma de pelotas, o clínquer é resfriado abruptamente e, posteriormente, moído e transformado em pó.

De acordo com Galvão (2003), os cimentos Portland apresentam quatro compostos químicos como principais constituintes, além do sulfato de cálcio hidratado (gesso), como indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Constituintes do cimento Portland e suas fórmulas.

<b>Nome do composto</b>	<b>Composição em óxidos</b>	<b>Abreviação</b>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
Sulfato de cálcio hidratado	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}$

Fonte – Galvão (2003).

O cimento Portland é um material que permite a construção de estruturas de longa duração, além de ser barato e produzir apropriada resistência à compressão. Entretanto, as estruturas produzidas utilizando-se o cimento normalmente apresentam baixa resistência a tração e uma irrisória propensão de deformação. Sendo assim, a adição de fibras à mistura pode ser uma maneira de conferir ao composto maior resistência à tração, à fadiga e ao impacto, além disso, tenacidade e ductilidade.

### 3.3.1. Hidratação do cimento Portland

Durante o processo de endurecimento do cimento Portland, grande parte da energia envolvida é associada às reações de hidratação (BENSTED, 1987). A hidratação do cimento é exotérmica e, por isso, a análise do calor liberado durante a hidratação pode revelar informações sobre as reações químicas envolvidas. De acordo com Bensted (1987), testes de calorimetria por condução permitem estimar o calor envolvido e a taxa de calor de liberação instantânea durante o processo de hidratação do cimento.

A hidratação do cimento Portland normalmente apresenta um perfil padrão de evolução do calor em função do tempo, figura 3. Logo nos primeiros instantes é observado uma rápida e acentuada liberação de calor (primeiro pico).

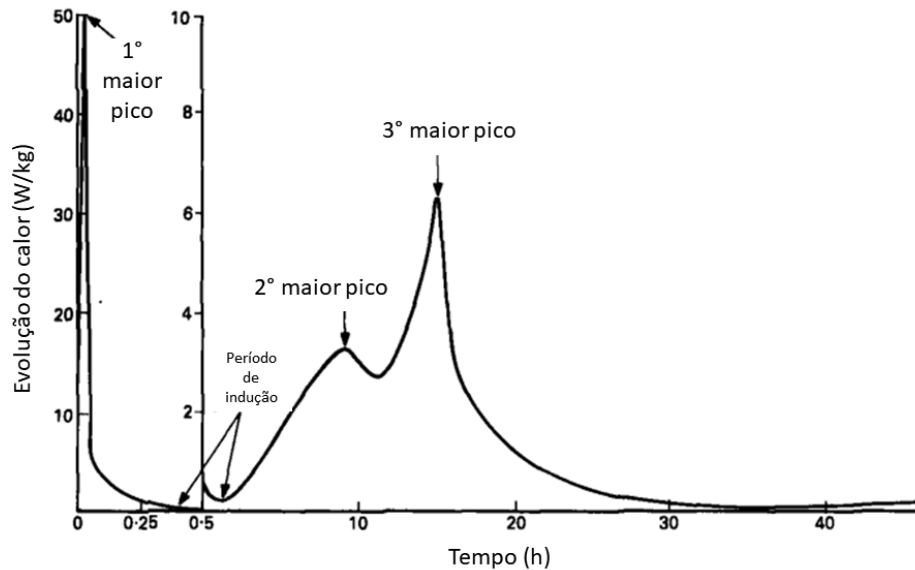
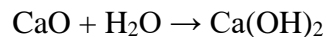


Figura 3 - Curva de termométrica de hidratação do cimento Portland.  
Fonte: Bensted (1987).

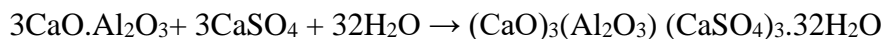
Bensted (1987) atribuiu o primeiro pico da curva de calorimetria aos efeitos do calor de hidratação do cimento e hidratação de cal livre, como mostrado na reação 1:



Entretanto, a maior contribuição para a formação do primeiro pico é proveniente da hidratação do sulfato de cálcio hemidratado que resulta no gesso hidratado.



Fatores adicionais que contribuem para o primeiro pico de liberação de calor são associados a formação da etringita, primeiramente na fase aluminato e, em seguida, na fase ferrita (BENSTED, 1987), que são observados na reação 3;



Ainda segundo Bensted (1987), há uma queda considerável de liberação de calor, entre 30 minutos e 2 horas, onde ocorre a indução ou período de dormência associado a poucas reações químicas. Entre 6 e 10 horas há uma evolução no calor, culminando no segundo pico, este por sua vez é devido aos efeitos da hidratação do silicato tricálcico (Alita,  $\text{C}_3\text{S}$ ), que forma silicato de cálcio hidratado (CSH), a principal reação de cimentação.

Por fim, um terceiro pico de calor é observado entre 12 e 15 horas. Essa liberação de calor está associada a hidratação do aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) e representa a transformação do produto inicial da hidratação ( $C_3A \cdot 3CSH$ ) em monossulfato,  $C_3A \cdot CS \cdot H$ .

A Tabela 4 apresenta as principais fases hidratadas de ocorrência do cimento Portland.

Tabela 4. - Principais fases hidratadas do cimento Portland

Fase	Notação química	Símbolo	Principais picos	Referência
Gypsum	$CaSO_4 - 2H_2O$	G	11,7°	MACIEL et al. (2019)
Etringita	$6CaO Al (SO_4)_3 32H_2O$	E	9°, 16°, 19° e 23°	GARTNER et al. (2002)
Portlandita	$Ca(OH)_2$	P	18° e 34°	MACIEL et al. (2019)

### 3.3.2. Tipos de cimento Portland

De acordo com a ABCP (1997), no Brasil são encontrados diversos tipos de cimento no mercado (Tabela 5), uns são mais empregados do que outros, sendo de diferentes características e com aplicações especiais.

Tabela 5 - Nomenclatura do cimento Portland, sigla e classe.

NOME TÉCNICO		SIGLA	CLASSE
Cimento Portland Comum (NBR 5732)	Cimento Portland Comum	CP I	25, 32, 40
	Cimento Portland Comum com adição	CPI-S	25, 32, 40
Cimento Portland Composto (NBR 11578)	Cimento Portland Composto com escória	CPII-E	25, 32, 40
	Cimento Portland Composto com pozolana	CPII-Z	25, 32, 40
	Cimento Portland Composto com filer	CPII-F	25, 32, 40
Cimento Portland de Alto-forno (NBR 5735)		CP III	25, 32, 40
Cimento Portland de Pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25,32
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (NBR 5733)		CPV-ARI	
Cimento Portland Resistentes aos Sulfatos (NBR 5737)		-	25, 32, 40
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (NBR 13116)		-	25, 32, 40
Cimento Portland	Cimento Portland Branco	CPB	25, 32, 40

Branco (NBR 12989)	Estrutural		
	Cimento Portland Branco Não Estrutural	CPB	25, 32, 40
Cimento para Poços Petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G

Fonte – ABCP (1997).

A composição típica do cimento Portland CP V ARI pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6 - Características físicas do cimento CP V- ARI - Alta força inicial.

Composição química (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
19,24	4,38	3,08	60,78	4,78	2,86

Fonte: Itambé (2019).

### 3.4. Aditivos químicos

Os aditivos químicos normalmente adicionados aos painéis cimento-madeira apresentam as funções de aceleração da cura do cimento Portland (SÁ *et al*, 2010; BILCATI, 2015) e endurecimento da mistura (agregados, aglomerante e água), ou seja, trata-se de catalizadores destes processos químicos e físicos (POMARICO, 2013). O cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) é muito utilizado por ter um custo reduzido e ser eficiente para aceleração da hidratação dos silicatos de cálcio (PAULA *et al.*, 2009). Entretanto, podem ser usados outros, tais como: cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), silicato de sódio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) e sulfato de alumínio [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]. Esses aditivos são utilizados em quantidades que podem variar de 3% a 5% em relação ao peso do cimento (LATORRACA, 2000; SÁ *et al.*, 2010).

Para Neville (1982), quando são usados aditivos, um aspecto importante deve ser levando em consideração, a quantidade de aditivo deve ser controlada cuidadosamente. Pomarico (2013), ressalta que a quantidade de aditivo adicionada varia de acordo com a espécie de fibra natural que será utilizada.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Matérias-primas

#### 4.1.1. Folhas de açazeiro

As folhas de açazeiro (*Euterpe oleracea Mart.*) foram retiradas de uma plantação privado, Macapá, Amapá. Os açazeiros tinham aproximadamente 6 anos de idade. As folhas foram lavadas em água corrente e secas à temperatura ambiente. Após a coleta retirou-se os folíolos

e as nervuras centrais utilizando-se um estilete. Os folíolos sem as nervuras foram cortados em pedaços de  $1,5 \pm 0,3$  cm de comprimento para posteriormente serem submetidos ao tratamento alcalino.

#### 4.1.2. Aglomerante

O cimento Portland CP V – ARI/PLUS, de alta resistência inicial, seguindo a NBR 5733 (ABNT, 1991), foi o aglomerante utilizado em toda esta pesquisa.

## 4.2. Tratamentos das fibras das folhas do açaizeiro

### 4.2.1. Tratamento alcalino

Para tratamentos alcalinos foram utilizadas duas concentrações de hidróxido de sódio (NaOH; Dinâmica, P.M. 40,00) e três temperaturas distintas, conforme especificado na Tabela 7. Foi utilizada uma proporção de 20 g de folhas e 1000 ml de água deionizada para cada uma das massas de NaOH indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Delineamento dos tratamentos alcalinos.

Tratamento (m/v)	Massa de NaOH (g)	Temperatura (°C)	Sigla
NaOH 1%	10	70	A1T70
NaOH 1%	10	80	A1T80
NaOH 1%	10	90	A1T90
NaOH 5%	50	70	A5T70
NaOH 5%	50	80	A5T80
NaOH 5%	50	90	A5T90

Fonte: Autor, 2019.

Inicialmente foi realizada a preparação da solução de hidróxido de sódio por meio da dissolução do NaOH em água deionizada. Utilizou-se um béquer e uma chapa aquecedora para aquecer a solução até a temperatura desejada. Em seguida, adicionou-se a massa das folhas de açaizeiro e para garantir a homogeneização utilizou-se um misturador mecânico com frequência de aproximadamente 700 rpm. Após uma hora de tratamento, as folhas tratadas foram separadas da solução utilizando-se uma peneira metálica e lavadas em água corrente, até que água não apresentasse mais coloração. Finalmente, as folhas tratadas foram defibriladas utilizando-se um liquidificador e água deionizada. Para defibrilação no liquidificador utilizou-se uma rotação de  $6550 \pm 10$  RPM, aproximadamente, durante 1 minuto. A mistura obtida foi novamente filtrada em peneira de aço e lavada em água corrente até que a água não apresentasse mais coloração e atingisse um pH constante. Posteriormente, a massa de fibras foi colocada numa placa de Petri e seca em estufa durante 48 horas a 50 °C.

#### 4.2.2. Tratamento alcalino e branqueamento das fibras

Para a realização do tratamento de branqueamento foram selecionadas apenas as fibras obtidas no tratamento alcalino em solução 5% de NaOH a 90°C. As fibras foram previamente desagregadas utilizando-se um liquidificador à 6550 ± 10 RPM. O branqueamento das fibras foi realizado utilizando-se a mistura de uma solução NaOH 4% e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25% com uma razão de 1:1 (v/v). A solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi gotejada num béquer contendo a solução de NaOH e, posteriormente, a mistura foi aquecida até uma temperatura de 60 °C ± 5 °C. Após ser atingido o equilíbrio térmico, foram adicionadas as fibras e o sistema permaneceu sob agitação por um período de duas horas, com rotação de 800 RPM. Após as 2 horas, as fibras foram separadas da solução usando-se numa peneira e lavadas em água corrente, até que a água não apresentasse mais coloração e atingisse um pH constante. Após a lavagem as fibras foram colocadas em placas de Petri para secagem em estufa a 50 °C durante 48 h.

#### 4.3. Massa específica das fibras tratadas

Para determinação da massa específica das fibras tratadas foram pesadas 0,10g de massa de fibra de cada tratamento e medidos 6 ml de álcool etílico numa proveta com resolução de 0,1 ml. Para cada um dos tratamentos foram realizados oito testes. As fibras foram imersas no álcool contido na proveta e o volume deslocado foi anotado e a massa específica foi calculada de acordo com a equação a seguir:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

Onde:  $\mu$ : massa específica; m: massa; V: volume

#### 4.4. Determinação da umidade das fibras

Para determinação do teor de umidade, placas de Petri foram previamente secas a 110°C durante 15 minutos para determinação da massa seca. A massa úmida das fibras foi determinada utilizando-se uma balança analítica e as amostras foram secas a 110°C durante 1 h. Em seguida, as placas foram colocadas no dessecador para esfriar durante 15 minutos. Após esse período, foi determinada a massa seca das fibras. As medidas foram realizadas em triplicata. Para o cálculo da umidade base seca foi utilizada a fórmula a seguir:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} 100$$

Onde  $m_u$  = massa úmida (g);  $m_s$  = massa seca (g).

#### **4.5. Análise do pH das fibras obtidas nos tratamentos químicos**

4.5.2. Para avaliação da influência das fibras no pH de uma solução aquosa utilizou-se um pHmetro da marca GEHAKA, modelo PG 1800. As medições de pH da água deionizada foram realizadas antes e depois da adição de fibras. Foram usados 0,2 g de fibras de cada fibra e 50 ml de água. As medidas foram realizadas em intervalos de 2 horas até completar 10 horas e mais uma medição após 24 horas do início do ensaio.

#### **4.5. Caracterização das fibras**

##### **4.5.1. Índice de cristalinidade**

O índice de cristalinidade foi obtido através dos difratogramas raios-x. O equipamento utilizado foi o difratômetro D2 Phaser da Bruker operando a 30 kV, corrente de 30 mA e radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1,540$  Angstroms). As análises foram realizadas com ângulos de varredura de  $5^\circ$  a  $80^\circ$ .

##### **4.5.2. Microscopia eletrônica por varredura (MEV)**

Para a análise das fibras das folhas do açazeiro do ponto de vista morfológico foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca Hitachi, modelo TM3030PLUS operando a 15 kV. Não houve preparação das amostras previamente. As dimensões das fibras, em especial o diâmetro, foram obtidas com a utilização do software Imagem J.

##### **4.5.3. Termogravimetria**

As análises térmicas foram conduzidas em um analisador térmico modelo STA 449 F5 Jupiter (NETZSCH) com uma taxa de aquecimento de  $10^\circ/\text{min}$ . A variação de temperatura foi da condição ambiente até  $1000^\circ\text{C}$  em meio inerte.

#### **4.6. Análise da compatibilidade entre as fibras e cimento Portland**

##### **4.6.1. Difração de raios X**

Para a análise da compatibilidade entre as fibras e o cimento Portland foi utilizada a técnica de difração de Raios X. Através da mistura de fibras e cimento foram obtidas pastas com relações de 1:10 fibra/cimento e 1:3 água/cimento. Após a mistura de fibras, cimento e água, realizadas em cadinhos de porcelana, as pastas foram inseridas nos sulcos dos porta amostras. Os difratogramas foram obtidos pelo equipamento D2 Phaser Bruker, conforme descrito anteriormente. Cada pasta foi ensaiada até o terceiro dia de cura. A primeira medida foi realizada após a mistura, a segunda após 24 horas e a terceira após 72h da mistura. Após a primeira análise, as pastas foram retiradas dos porta amostras e acondicionadas em sacos



plástico com lacre, para impedir a perda de umidade. Para a realização da segunda e terceira medidas de cada amostra, as pastas foram maceradas em cadinhos.

#### 4.6.2. Calorimetria semi-adiabática

A compatibilidade entre o cimento e as fibras das folhas do açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.) também foi avaliada utilizando-se um calorímetro, que permitiu determinar a exotermia das pastas de cimento em função do tempo de cura. O calorímetro semi-adiabático utilizado foi desenvolvido no próprio LABTAM (Laboratório de Biotecnologia da Amazônia) e é constituído de: uma caixa térmica de 34 L quatro garrafas térmicas de 250 mL, quatro sensores de temperatura e, uma placa Arduíno Uno para coleta de dados, que é utilizada para conexão dos sensores de temperatura e é conectada diretamente a um microcomputador. As pastas são colocadas em pequenos sacos plásticos que são introduzidos dentro das garrafas térmicas. Os sensores são imersos na pasta cimentícia e, em seguida, o saco plástico, as garrafas térmicas e a caixa são fechadas hermeticamente para minimizar a perda de calor para o meio. Cada análise é realizada em quadriplicata e a partir dos resultados médio é determinada a curva de evolução da temperatura da pasta em função do tempo de cura. Para realização desses testes foram utilizados pequenos sacos plásticos, 150 mg de fibras, 15 gramas de cimento Portland e 6 g de água deionizada. A mistura entre a fibra e o cimento foi realizada dentro do próprio saco plástico e, em seguida, foi adicionado a massa de água e realizada a homogeneização. O início dos testes foi padronizado para 10 min após a adição da água. .

##### 4.6.2.1. Índice de inibição

O índice de inibição sugerido por Hofstrand et al. (1985) foi utilizado para avaliar a influência das fibras nas reações exotérmicas de hidratação do cimento. A inibição foi determinada conforme a seguinte equação:

$$I(\%) = \left[ \frac{(H_m - H_{cim})}{H_{cim}} \cdot \frac{(T_{cim} - T_m)}{T_{cim}} \cdot \frac{(S_{cim} - S_m)}{S_{cim}} \right] \cdot 100$$

Onde: I = índice de inibição da hidratação do cimento (%);  $T_{cim}$  (°C),  $H_{cim}$  (h) e  $S_{cim}$  (°C/h) são a temperatura máxima, o tempo para atingir a temperatura máxima e o máximo incremento de temperatura da curva para a mistura cimento/água, respectivamente;  $T_m$  (°C),  $H_m$  (h) e  $S_m$  (°C/h) são a temperatura máxima, o tempo para atingir a temperatura máxima e o máximo incremento de temperatura da curva para a mistura fibra/cimento/água.

A tabela 8 apresenta a classificação qualitativa de acordo com os valores do índice de inibição.

Tabela 8 - Classificação de materiais lignocelulósicos segundo o índice de inibição.

<b>Índice de inibição</b>	<b>Classificação</b>
$1 \leq I$	Baixa inibição
$10 < I \leq 50$	Média inibição
$50 < I \leq 100$	Alta inibição
$I > 100$	Inibição Extrema

Fonte: Okino et al. (2004).

#### 4.6.3. Análise mecânica – compressão

Para a realização dos testes de compressão diametral foram moldados corpos de prova (CP's) em formato cilíndrico com dimensões aproximadas de 40 mm de altura e 20 mm de diâmetro. Os CP's foram preparados com uma mistura de fibra, cimento e água, segundo a NBR 7215 (ABNT, 1996). Foi adotada a seguinte proporção em massa entre os constituintes: fibra/cimento 5:100 e água/cimento 1:3. Foram preparados 6 CP's para cada tipo de fibra pré-tratada avaliada. A cura foi realizada em temperatura ambiente. Os CP's foram ensaiados por compressão após 7 dias e 28 dias de cura. Os ensaios mecânicos foram realizados em uma prensa hidráulica EMIC, modelo DL30000 (NO: 8682, NS: 078).

#### 4.7. Produção dos painéis

Na produção dos painéis foram utilizadas fibras das folhas de açazeiro, cimento Portland, água deionizada e  $\text{CaCl}_2$ . A massa de cada constituinte foi determinada conforme a metodologia desenvolvida por Souza (1994). A proporção de massa adotada entre os constituintes dos painéis foi: fibra/cimento 0,2:2,75; água/cimento 1:2,5; 4% de  $\text{CaCl}_2$  e teor de água de 25%, todos com base na massa dos painéis. O volume dos painéis foi calculado através das dimensões dos moldes (150 X 150 X 15 mm) e a densidade nominal dos painéis utilizada foi 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

As fibras foram postadas em uma bandeja plástica. O Aditivo foi dissolvido na água. A solução foi aplicada sobre fibras por aspersão. O cimento foi adicionado com a ajuda de uma peneira, para ajudar na dispersão de maneira isométrica. Todos os componentes foram misturados manualmente, com a intenção de formação de uma massa homogênea. Os moldes foram prensados à temperatura ambiente, com pressão específica de 4 ton durante 10 minutos. Os moldes permaneceram na prensa por 24 horas. As placas foram acondicionadas em caixa térmica durante 28 dias à temperatura de aproximadamente  $20 \pm 1$  °C.

#### 4.8. Análises físicas e mecânicas dos painéis

Para os testes de flexão estática, as placas prensadas (150 X 150 X 15 mm) foram cortadas em três partes de 50 x 150 mm e seis corpos de provas foram utilizados para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR). Foi utilizado o equipamento EMIC DL30000N utilizando o método de ensaio ASTM D 1037 – Flexão e célula de duas toneladas.

##### 4.8.1. Determinação da umidade dos painéis

Para determinação da umidade foram utilizados 4 corpos de prova de 50 x 50 mm, aproximadamente. Foi medida a massa dos corpos de prova, em seguida, foram levados à uma estufa para secagem a 100°C durante 24 horas. Após esse período, os corpos de prova foram pesados novamente. Foram calculadas as médias das massas antes e depois do tempo de secagem. A umidade foi determinada com base na massa úmida e na massa seca, conforme descrito anteriormente.

##### 4.8.2. Determinação do inchamento em espessura

Para a determinação do inchamento em espessura (IE) e da absorção de água (AA) foram utilizados corpos de provas de 25 x 25 mm. Para o IE, a espessura dos corpos de prova foram medidas antes da imersão em água (0h) e após imersão por 2h e 24 h. Para a determinação da absorção de água, a massa dos corpos de prova foram medidas antes da imersão em água e após duas horas e 24 horas de imersão. O inchamento em espessura (IE) e a absorção de água (AA) foram calculados conforme as equações a seguir:

$$IE(\%) = \left( \frac{E_2 - E_1}{E_1} \right) 100$$

Onde: IE = é o inchamento em espessura do corpo-de-prova, em porcentagem;  $E_2$  = é a espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros;  $E_1$  = é a espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros.

$$AA(\%) = \left( \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) 100$$

Onde:  $m_2$  = massa em 2 ou 24 horas;  $m_1$  = massa em 0 horas.

##### 4.8.3. Determinação da densidade dos painéis

Para determinação da densidade das placas foram utilizados corpos de provas com dimensões de 50 x 50 mm. A massa dos corpos de prova foram determinadas em balança analítica e a

espessura média foi obtida a partir de cinco medidas distintas do corpo de prova, nos 4 cantos e no centro, largura e altura foram utilizadas para determinação do volume e a densidade foi determinada pela equação a seguir:

$$d = \frac{m}{V}$$

Para avaliação das propriedades físicas e mecânicas das placas foram seguidas pelas normas D-1037 (ASTM, 1999) e DIN 52362 (DIN, 1982).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Massa específica das fibras

O resultado de densidade aparente das fibras das folhas de açazeiro indicou que a mesma apresenta massa específica de 1,01 ( $\pm 0,001$ ) g/cm<sup>3</sup>. O método para determinação da densidade das fibras não indicou diferenças significativas entre os tratamentos. De acordo com a literatura, a fibra de coco, tamareira, linho, cânhamo e sisal apresentam densidade de 1,15 - 1,46; 0,9 - 1,2; 1,4 - 1,5; 1,4 - 1,5 e 1,33 - 1,5 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (LEWIN et al., 2007; LI et al., 2008; AGOUDJIL et al., 2011; MAJEED et al., 2013; AL-OQLA et al. 2014b; AL-OQLA; SAPUAN, 2014). A maioria das propriedades das fibras lignocelulósicas de coco, linho, cânhamo e sisal já foram relatadas e coletadas por diferentes pesquisas (AL-OQLA et al., 2015). Entretanto, para as fibras de folhas de açazeiro não foi encontrada nenhuma referência na literatura. As fibras de folhas de açazeiro possuem massa específica menor que a maioria das fibras apresentadas e, por isso, podem ser alternativas adequadas para produção de compósitos (AL-OQLA et al., 2015).

### 5.2. Cristalinidade e a influência dos tratamentos nas fibras

Os difratogramas das fibras tratadas são apresentados na figura 4. Segundo Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017), existem 3 picos principais (15,3°; 23,0° e 35,0°) que são atribuídos aos planos (101), (002) e (040) da estrutura de celulose I. Entretanto, nas fibras das folhas de açazeiro foi possível verificar os picos em 15,3° e 23,0°.

De acordo com Krishnaiah, Ratnam e Manickam (2017), a cristalinidade da fibra aumenta com o aumento da concentração de NaOH do tratamento. Entretanto, para concentrações superiores a 7% em massa de NaOH o índice de cristalinidade sofre uma redução em função da degradação parcial da celulose (KAUSHIK; KUMAR; KALIA, 2012). O aumento do índice de cristalinidade é associado a remoção de componentes amorfos das paredes das fibras, extrativos e hemicelulose (CHIKOUCHE *et al.*, 2015). O aumento da temperatura do

tratamento também resultou na melhoria do índice de cristalinidade das fibras. Por outro lado, o branqueamento da fibra previamente tratada com 5% de NaOH à 90°C (B4T60) mostrou uma pequena redução da cristalinidade, indicando que o efeito conjunto dos tratamentos pode ter ocasionado a degradação de regiões cristalinas da celulose.

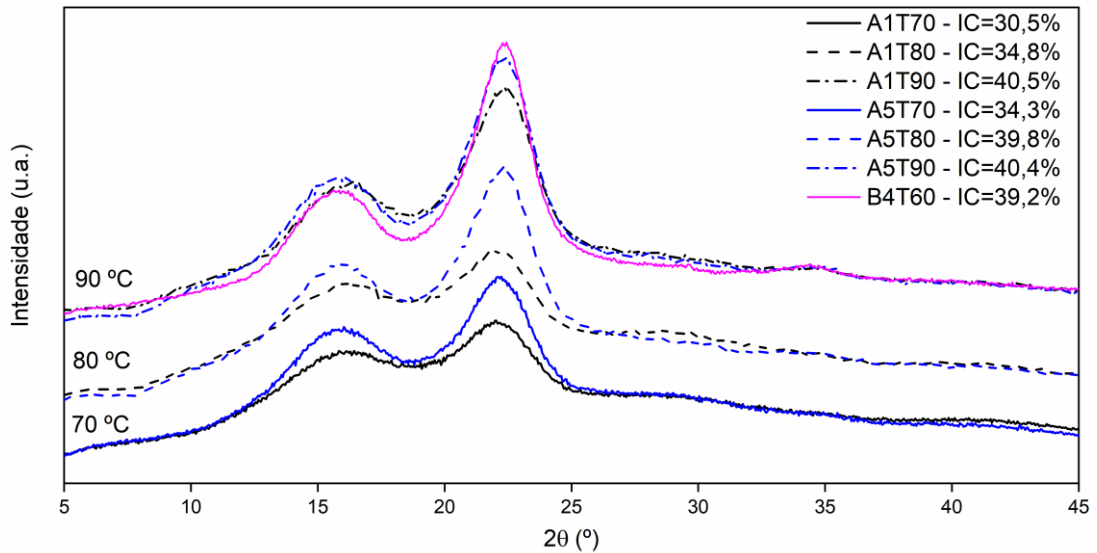


Figura 4 - Difração das fibras TRATADA A1T70, A1T80 e A1T90: tratamento alcalino com 1% de NaOH a 70°C, 80°C e 90°C, respectivamente; A5T70, A5T80 e A5T90: tratamento alcalino com 5% de NaOH a 70°C, 80°C e 90°C, respectivamente B4T60: tratamento alcalino com 4% de NaOH a 60°C do tratamento A5T90;

Fonte: Autor, 2019.

A figura 4 apresenta os índices de cristalinidade (IC) das fibras das folhas de Açazeiro calculados a partir dos resultados de difração de raios X. As fibras de folhas de açazeiro apresentaram índices de cristalinidade inferiores aos da fibra do curauá e de sisal e semelhante ao índice da fibra de coco, 73,82%, 68% e 40,10%, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2009; MACHADO, 2011; BICALTI, 2015). Segundo Chikouche et al. (2012), a cristalinidade é um fator importante que afeta diretamente na resistência das fibras. A densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência química se tornam maiores quanto maiores forem os índices de cristalinidade (HU; HSIEH, 2001).

Os tratamentos químicos utilizados para obtenção das fibras de folhas de açazeiro influenciaram significativamente o grau de cristalinidade. Para cada concentração de NaOH utilizada foi possível observar que o índice de cristalinidade aumentou com o aumento da temperatura do tratamento. Comparando-se os tratamentos com concentrações de NaOH diferentes e temperaturas iguais observou-se também um aumento do índice cristalinidade

(A1T70 e A5T70), onde houve um aumento de 3,8%. Entretanto, quando comparados os índices para a temperatura de 90 °C nas contrações de 1% e 5% de NaOH não houve variação significativa do índice de cristalinidade.

Após os tratamentos alcalinos as fibras obtidas apresentaram coloração bege com tonalidades diferentes. Os feixes das fibras tratadas com solução alcalina à 1% apresentaram-se mais dispersos e com diâmetros maiores em comparação aos feixes de fibras tratadas com solução alcalina à 5%. Quando considerada a mesma concentração de NaOH (1% ou 5%), o aumento da temperatura do tratamento resultou em fibras com diâmetros menores e mais agregadas. Após o tratamento de branqueamento (B4T60) as fibras apresentaram a coloração amarelo claro, o menor diâmetro e o maior agregamento em comparação com todos os tratamentos alcalinos utilizados, figura 5.

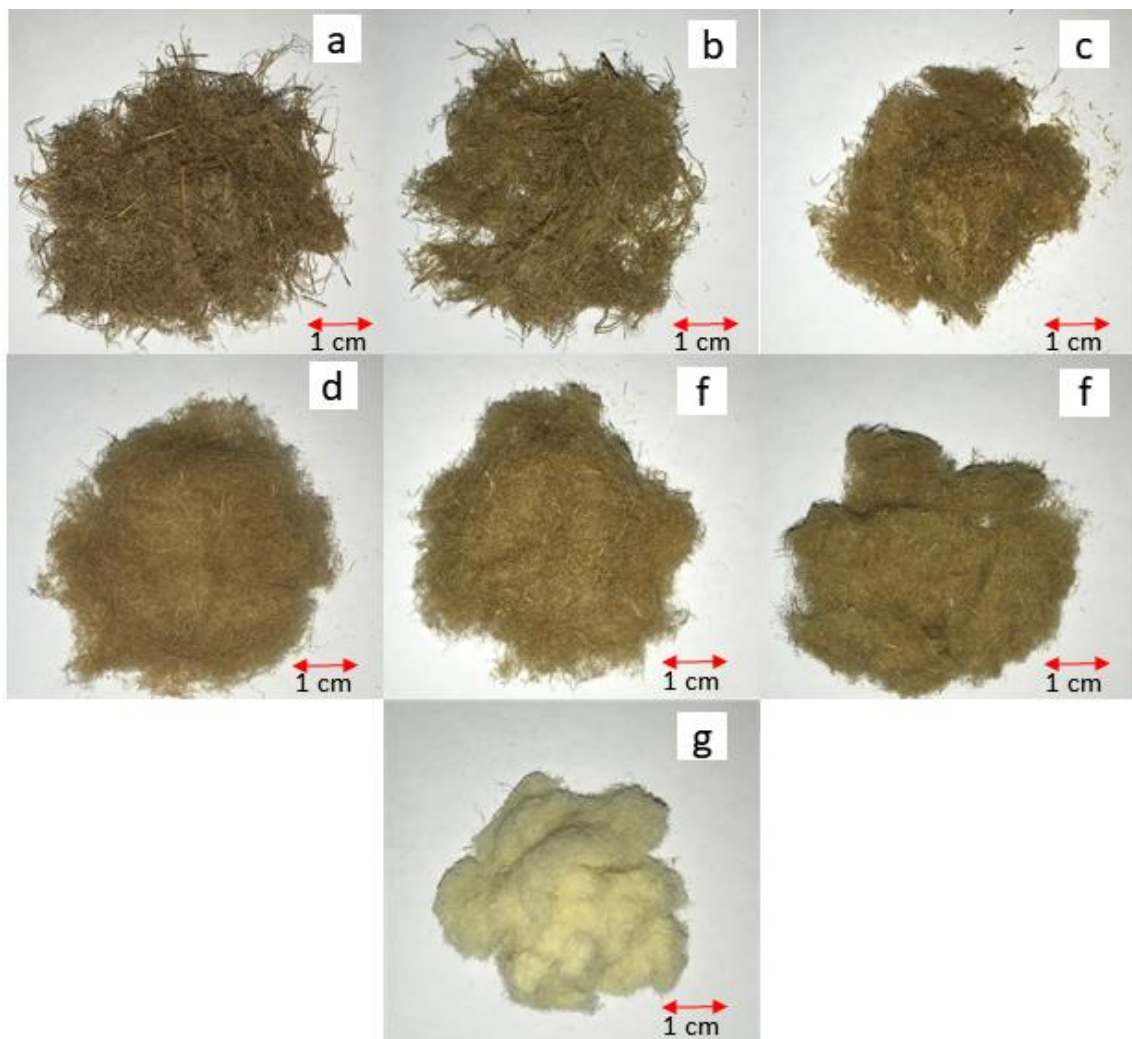


Figura 5 - Fotografias das fibras obtidas após os diferentes tratamentos alcalinos e o branqueamento. a) A1T70 b) A1T80 c) A1T90 d) A5T70 e) A5T80 f) A5T90 g) B4T60. Fonte: Autor, 2019.

A morfologia das fibras das folhas de açazeiro *in natura*, alcalinizadas e branqueadas foi avaliada por micrografia eletrônica de varredura e os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 6 a 10.

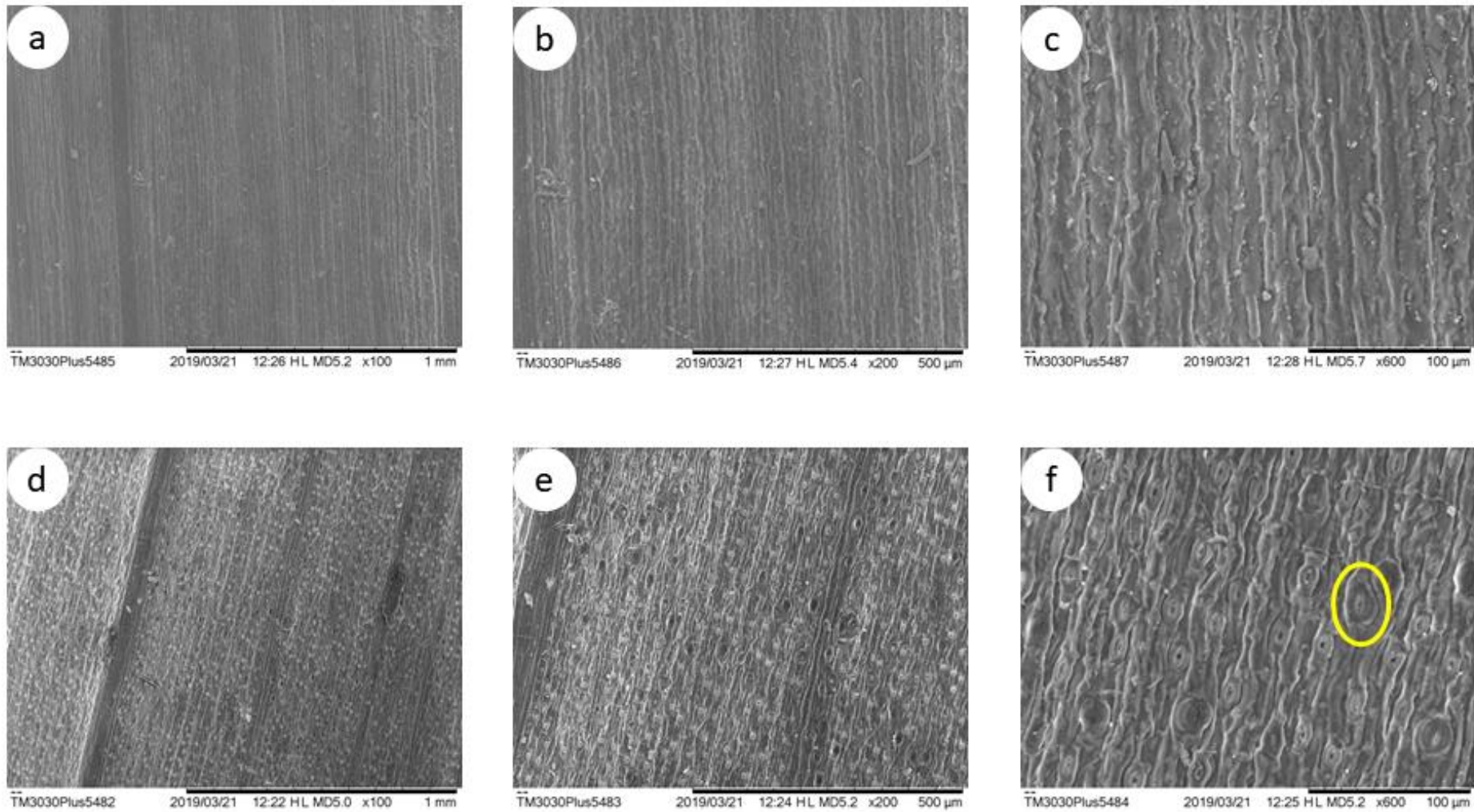


Figura 6 - Micrografias da Folha do açaizeiro *in natura*. Superfície adaxial da folha de açaizeiro ampliada (a) 100 vezes b) 200 vezes c) 600 vezes; e, superfície abaxial da folha de açaizeiro ampliada (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes.

Fonte – Autor, 2019.



Na face abaxial das folhas, os feixes apresentam pontuações, estômatos (círculo amarelo na Figura 6.f), que são responsáveis pela transpiração das plantas. Além disso, é possível visualizar a nervura central dos folíolos, que apresenta em torno de 1,26 mm de largura, Figuras 6.d, 6.e e 6.f.

Na face adaxial das folhas *in natura* os feixes são semelhantes, porém, não apresentam os estômatos ao longo de seu comprimento, figuras 6.a, 6.b e 6.c.

As fibras obtidas pelo tratamento alcalino com 1% de NaOH à 70 °C (A1T70) apresenta-se na forma feixes, com dimensões heterogenias. Podem ser observados conjuntos de estruturas, quase em formato retangular, formando filas, com dimensões aproximadas de  $1,299 \times 10^{-5} \times 1,788 \times 10^{-5}$  m, círculo amarelo Figura 15.c. Essas estruturas estão unidas às fibras, provavelmente constituídas de hemiceluloses e lignina, Figuras 7.a, 7.b e 7.c.

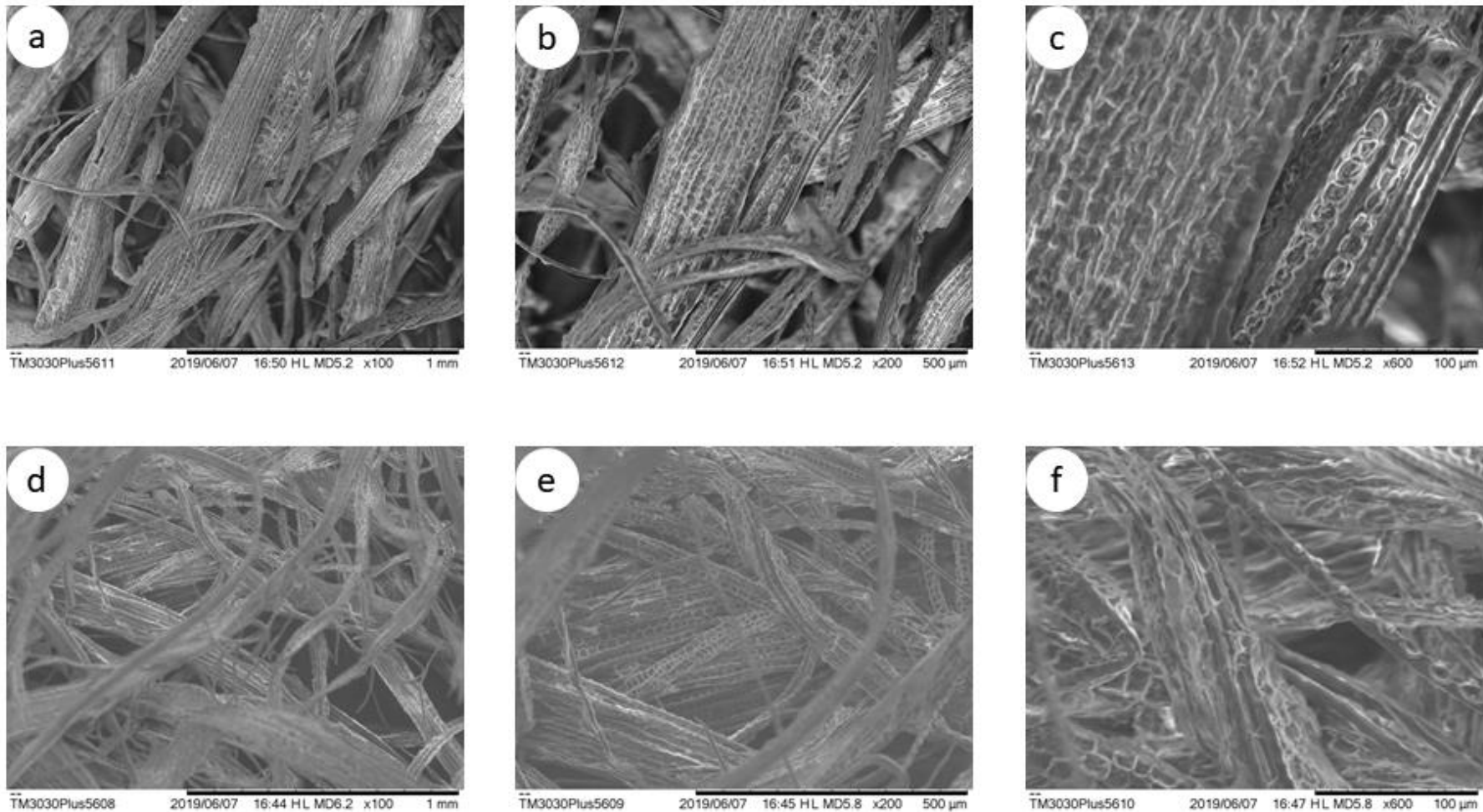


Figura 7 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açaizeiro tratadas com 1 % de NaOH à 70°C e ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 1 % de NaOH à 80 °C e ampliadas: (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes. Fonte: Autor, 2019.

Com o aumento da temperatura do tratamento alcalino para 80°C (A1T80; figuras 7.d, 7.e e 7.f.), observou-se que as estruturas deixaram de se apresentar em sua totalidade em feixes, sendo possível observar fibras individuais, com aspecto superficial rugoso. Um aumento adicional da temperatura do tratamento, mantendo-se a mesma concentração de NaOH (A1T90, Figuras 8.a, 8.b e 8.c), resultou num número maior de fibras soltas, diminuindo também o número de feixes de fibras, que aparentaram ter diâmetro menor. Portanto, a temperatura mostrou-se um fator importante para separação das fibras e remoção do material amorfo.

Em relação ao tratamento com 1% de NaOH, o uso de uma solução mais alcalina (5%; A5T70) resultou numa quantidade maior de fibras dispersas, indicando maior remoção de material amorfo (Figuras 8.d, 8.e e 8.f). Para o tratamento com solução 5% de NaOH, o aumento da temperatura (A5T80 e A5T90) também favoreceu a dispersão das fibras e a diminuição do tamanho dos feixes, figura 9. O tratamento A5T90 mostrou fibras de celulose com superfície mais aparentemente mais rugosas, indicando maior remoção dos componentes amorfos.

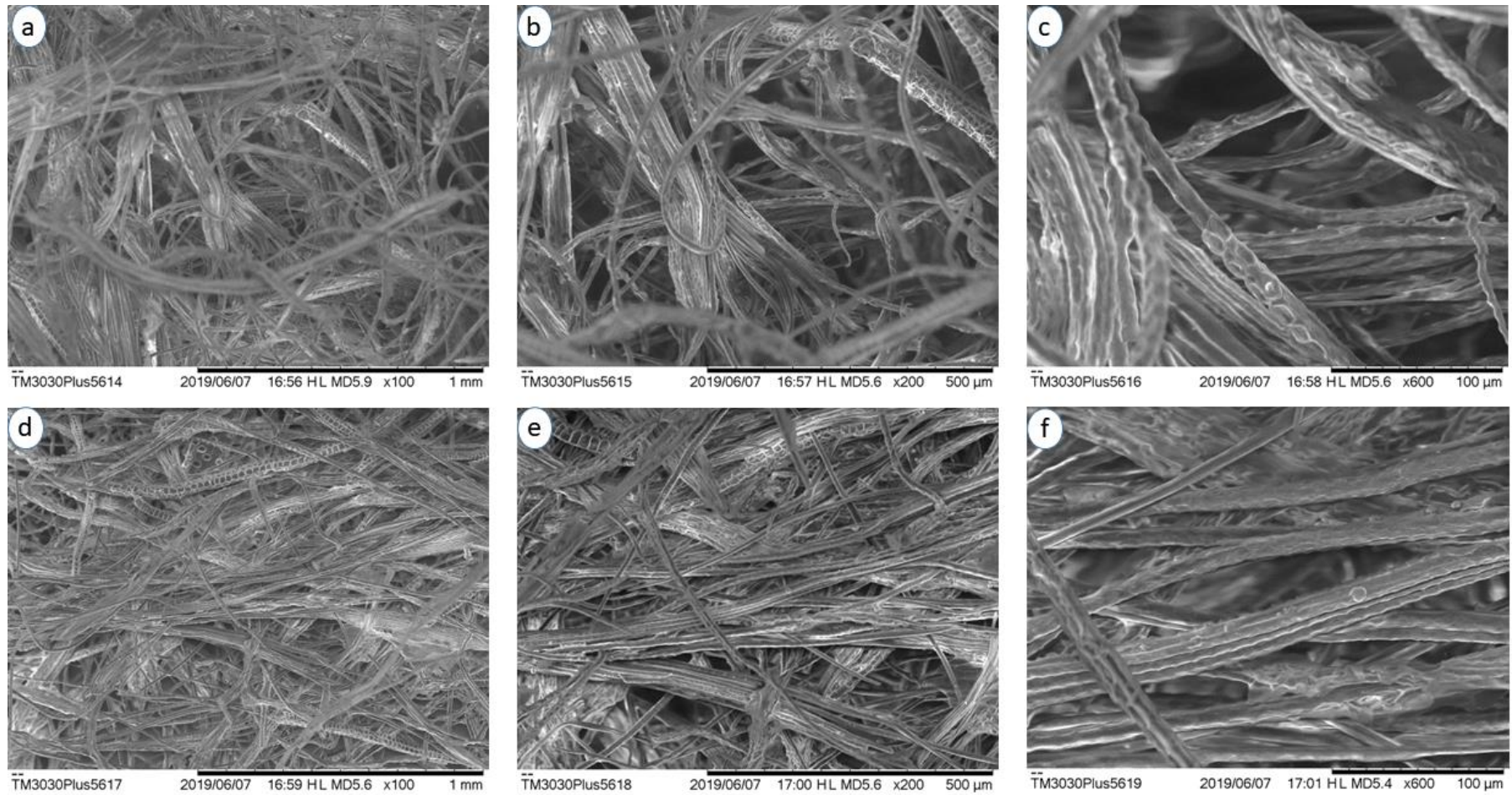


Figura 8 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro tratadas com 1 % de NaOH à 90 °C ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 5 % de NaOH à 70 °C ampliadas: (d) 100 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes. Fonte: Autor, 2019.

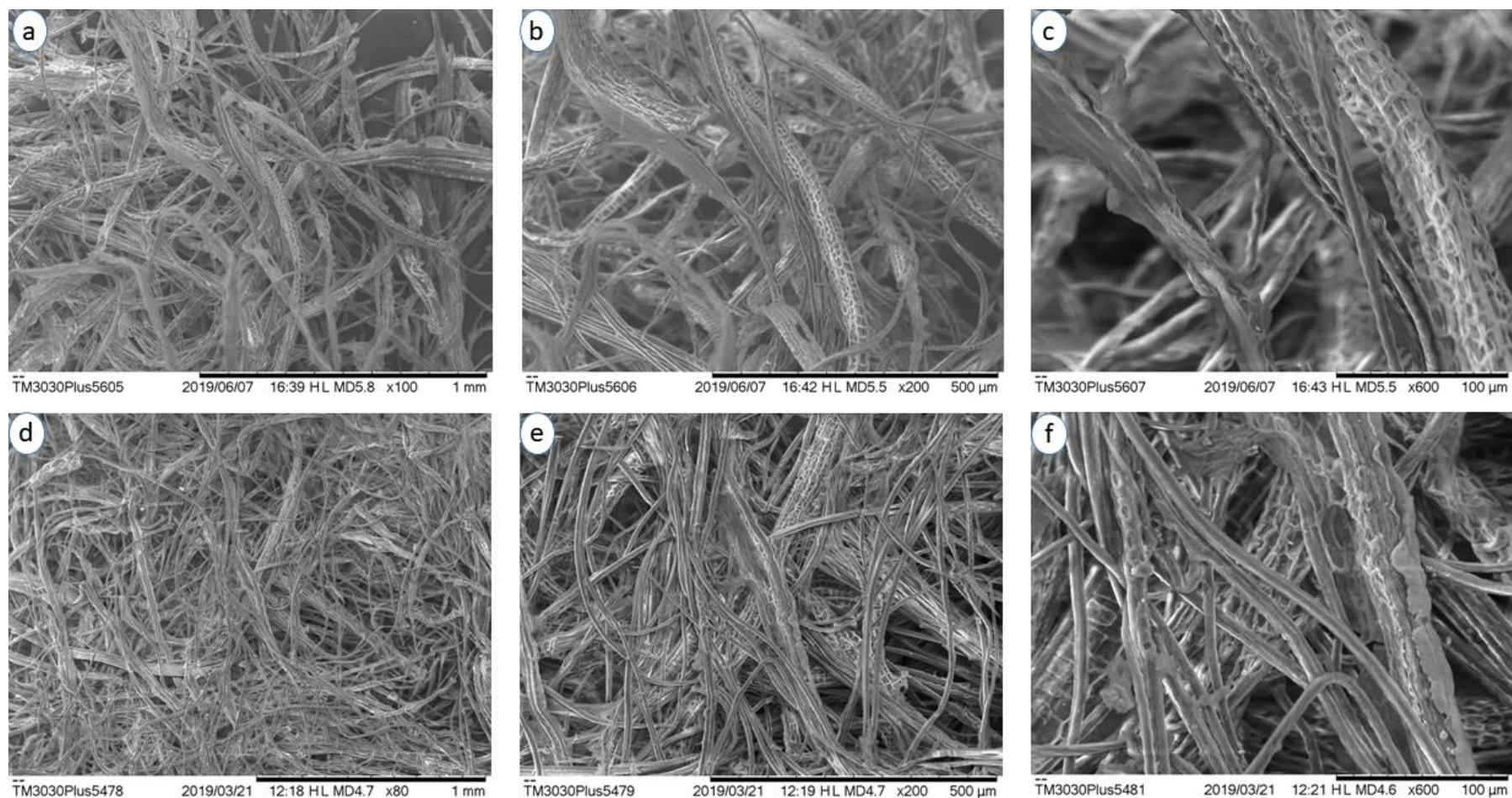


Figura 9 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açazeiro tratadas com 5 % de NaOH à 80 °C e ampliadas: (a) 100 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes. Micrografias das fibras tratadas com 5 % de NaOH à 90 °C e ampliadas: (d) 80 vezes; (e) 200 vezes; e (f) 600 vezes. Fonte: Autor, 2019.



Figura 10 - Micrografias de MEV das fibras das folhas do açaizeiro branqueadas com 4 % de NaOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25 % à 60 °C e ampliadas: (a) 50 vezes; (b) 200 vezes; e (c) 600 vezes.

Fonte – Autor, 2019.

Com o tratamento branqueamento (B4T60), a remoção de material amorfo foi ainda superior, as fibras ficaram mais rugosas (Figuras 10.a, 10.b e 10.f).

Na figura 12 é possível observar os valores médias dos diâmetros das fibras para todos os tratamentos. É possível observar que o diâmetro das fibras diminuiu com o aumento da concentração de NaOH e da temperatura. Entretanto, observou-se nos resultados do tratamento com 1% de NaOH a 90°C. Foi realizado o teste ANOVA de uma variável categórica combinado com teste Tukey à 0,05 de confiança. Os resultados do ANOVA indicam que a estatística F é muito alta e isso indica que não há diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, portanto fariam parte de uma mesma população, tabelas 9. Os resultados do teste Tukey mostram que não houveram diferenças significativas somente entre os tratamentos A5T80 e A5T70, A5T90 e A5T70, A5T90 e A5T80 e por fim entre os tratamentos B4T60 e A5T90, tabela 10. Os tratamentos químicos foram eficientes na remoção de material amorfo, e, isto foi comprovado pelo aumento da cristalinidade das amostras e pela diminuição das dimensões dos diâmetros das fibras.

Tabela 9 - Teste ANOVA para os diâmetros das fibras dos 7 tratamentos deste trabalho

	<b>DF</b>	<b>Soma das raízes</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob&gt;F</b>
Modelo	6	2,49E-10	4,14E-11	223,7347	0
Erro	63	1,17E-11	1,85E-13		
Total	69	2,60E-10			

Fonte: Autor (2019).

Tabela 10 - Teste de Tukey à 0,05 de confiabilidade dos diâmetros das fibras dos 7 tratamentos químicos das folhas.

	<b>Valor de q</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>
A1T80 A1T70	6,54541	3,65E-04	0,05	1
A1T90 A1T70	10,21269	5,78E-08	0,05	1
A1T90 A1T80	16,7581	0	0,05	1
A5T70 A1T70	22,16974	0	0,05	1
A5T70 A1T80	15,62433	1,63E-08	0,05	1
A5T70 A1T90	32,38243	5,35E-08	0,05	1
A5T80 A1T70	24,17863	0	0,05	1
A5T80 A1T80	17,63322	0	0,05	1
A5T80 A1T90	34,39132	0	0,05	1
A5T80 A5T70	2,00889	0,78878	0,05	0
A5T90 A1T70	24,98542	0	0,05	1
A5T90 A1T80	18,44001	0	0,05	1
A5T90 A1T90	35,19811	0	0,05	1

A5T90 A5T70	2,81567	0,43053	0,05	0
A5T90 A5T80	0,80679	0,99742	0,05	0
B4T60 A1T70	28,62771	4,51E-08	0,05	1
B4T60 A1T80	22,0823	0	0,05	1
B4T60 A1T90	38,8404	0	0,05	1
B4T60 A5T70	6,45797	4,53E-04	0,05	1
B4T60 A5T80	4,44909	0,03846	0,05	1
B4T60 A5T90	3,6423	0,15123	0,05	0

Fonte: Autor (2019)

A natureza e textura das fibras não são as mesmas em seus estados naturais ou alcalinizados (MWAIKAMBO; ANSELL, 2006; CHIKOUCHE et al., 2015). Segundo Kaushik, Kumar e Kalia (2012), entre a fibra *in natura* e as tratadas quimicamente existe uma diferença de maciez e rugosidade. Os tratamentos químicos também reduzem o número de grupos hidroxila livres da celulose, o que resulta na redução da polaridade das moléculas de celulose e aumenta a compatibilidade com as matrizes poliméricas hidrofóbicas. Para Bufalino et al. (2015), durante os tratamentos com hidróxido de sódio hemiceluloses são hidrolisadas e removidas, além de ocorrer a degradação parcial da lignina. É possível observar que a morfologia da superfície das fibras *in natura* é compacta, como constatado por Mwaikambo e Ansell (2006). Os feixes das fibras normalmente apresentam-se orientados unidirecionalmente na condição *in natura*. A superfície das fibras é coberta por uma camada não uniforme que provavelmente contém compostos não-celulósicos, material amorfo (ceras, óleo, lignina residual e impurezas), que possuem a função de proteger as fibras (ROKBI et al., 2011).



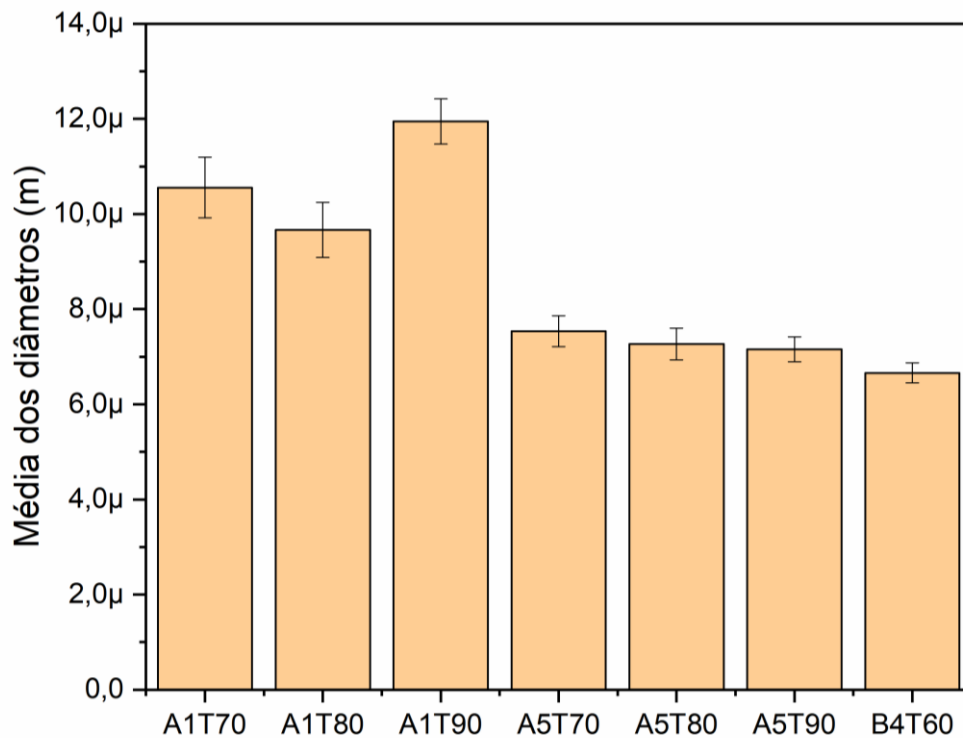


Figura 11 - Diâmetro médio e desvio padrão das fibras nos tratamentos A1T70, A1T80, A1T90, A5T70, A5T80, A5T90 e B4T60.

Fonte – Autor, 2019

Os tratamentos químicos utilizados nesta pesquisa, alcalinos e branqueamento, ocasionaram mudanças nas propriedades térmicas das fibras em comparação as folhas na condição *in natura*. Os resultados de termogravimetria são mostrados na Figura 13 e na Tabela 11. Para as amostras *in natura*, A5T90 e B4T60, a perda de massa associada ao primeiro estágio foi inferior a 5%. Esse resultado é semelhante ao relatado para outras fibras naturais, que normalmente varia entre 3% a 5% para sisal e outras (OUAJAI; SHANKS, 2005; SILVA; AQUINO, 2008; RACHINI et al., 2009; SENA NETO et al., 2013). Segundo Sena Neto et al. (2013), a perda de voláteis está associada à perda de massa. O primeiro estágio de degradação é devido à quebra de hemiceluloses, ligações glicólicas e perda de umidade (KAUSHIK; KUMAR; KALIA, 2012).

A temperatura de início de degradação, definida pela área de “ombro” das curvas TG, variou entre 264,32 e 290,2 °C, para as fibras *in natura* e tratadas quimicamente. Esta temperatura é definida como o limite de temperatura de trabalho das fibras. Os valores determinados pelas curvas de TG da fibra de folhas de açazeiro são levemente maiores aos encontrados na literatura, 200 a 240 °C (HASSAN e NADA, 2003; KOZLOWSKI e PRZYBYLAK, 2008).

O segundo estágio de degradação é devido a decomposição de celulose e lignina (KAUSHIK; KUMAR; KALIA, 2012), visto que acima de 200°C ocorre a despolimerização e a quebra das ligações glicosídicas (SENA NETO et al., 2013). O segundo estágio, os valores compreendidos entre 373 °C e 384 °C, indicam a degradação da hemicelulose, da lignina e o início da degradação da celulose. Estudos anteriores mostram que a degradação das hemiceluloses ocorre entre 150 e 350 °C, enquanto a degradação da lignina ocorre de 250 a 500°C (KIM; EOM, 2001; RACHINI et al., 2009). Nas curvas de DTG para os tratamentos químicos A5T90 e B4T60, é possível observar que os picos referentes as hemiceluloses são praticamente inexistentes, indicando que os tratamentos foram eficazes na remoção dessas substâncias. Também foi possível observar a diminuição do teor de resíduos das fibras tratadas quimicamente, provavelmente devido a remoção dos voláteis, hemiceluloses e extrativos.

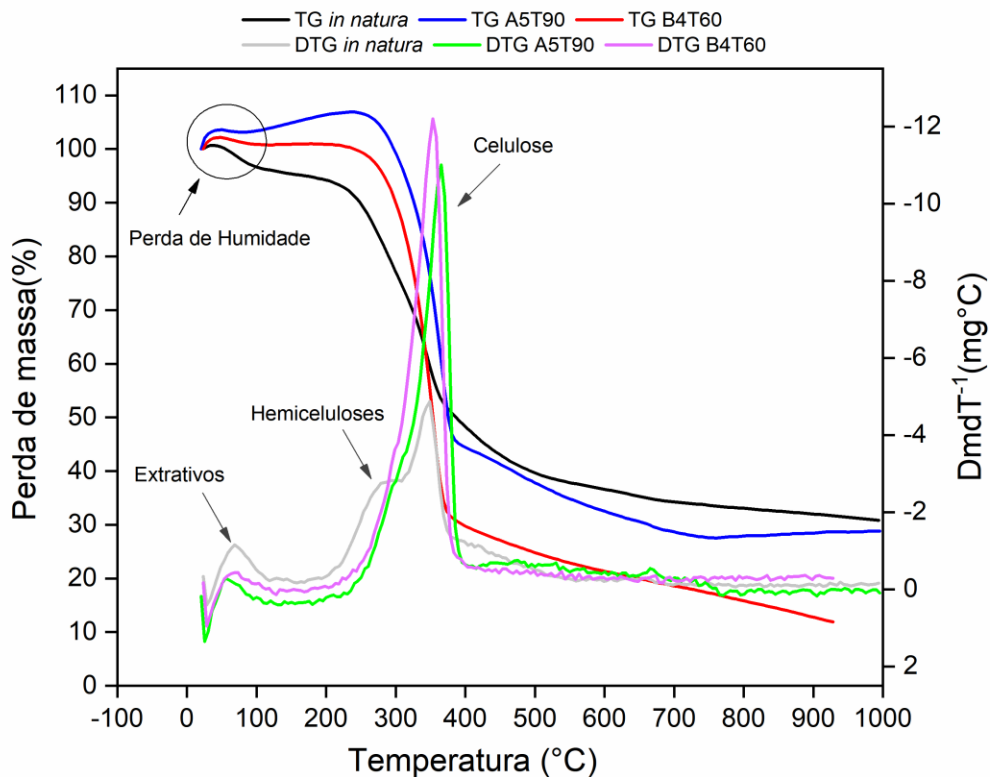


Figura 12 - Curvas de TG e DTG da fibra in natura e dos tratamentos químicos, Alcalino A5T90 e Branqueamento B4T60.

Fonte: Autor, (2019).

Tabela 11 - Dados obtidos das curvas de termogravimetria, TG e DTG.

<b>Tratamento</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Temperatura de degradação inicial (°C)</b>	<b>Resíduo (%)</b>
<b><i>In natura</i></b>	3,22	264,32	30,97
<b>A5T90</b>		298,52	28,82
<b>B4T60</b>	0	290,2	11,81

Fonte: Autor, (2019).

Foi realizada a análise do pH das fibras em meio aquoso para avaliar o efeito dos tratamentos alcalinos e o branqueamento. As fibras obtidas dos tratamentos (A1T70, A1T80, A1T90, A5T70, A5T80, A5T90 e B4T60) apresentaram aumento inicial do pH do meio aquoso seguido de uma redução, aproximadamente após 4 horas de análise, figura 14. Segundo Guimarães, Zonatti e Baruque-Ramos (2014), o pH tem importância determinante na compatibilidade entre fibras e matriz. Para Aggarwal e Singh (1990), o retardamento da pega do cimento é um fator importante a ser considerado, sendo influenciado pela liberação de substâncias das fibras vegetais de caráter ácido em solução aquosa. Entretanto, os resultados obtidos ao fim da análise são de pH básicos, indicando que o tratamento das fibras não deve afetar negativamente a pega do cimento.

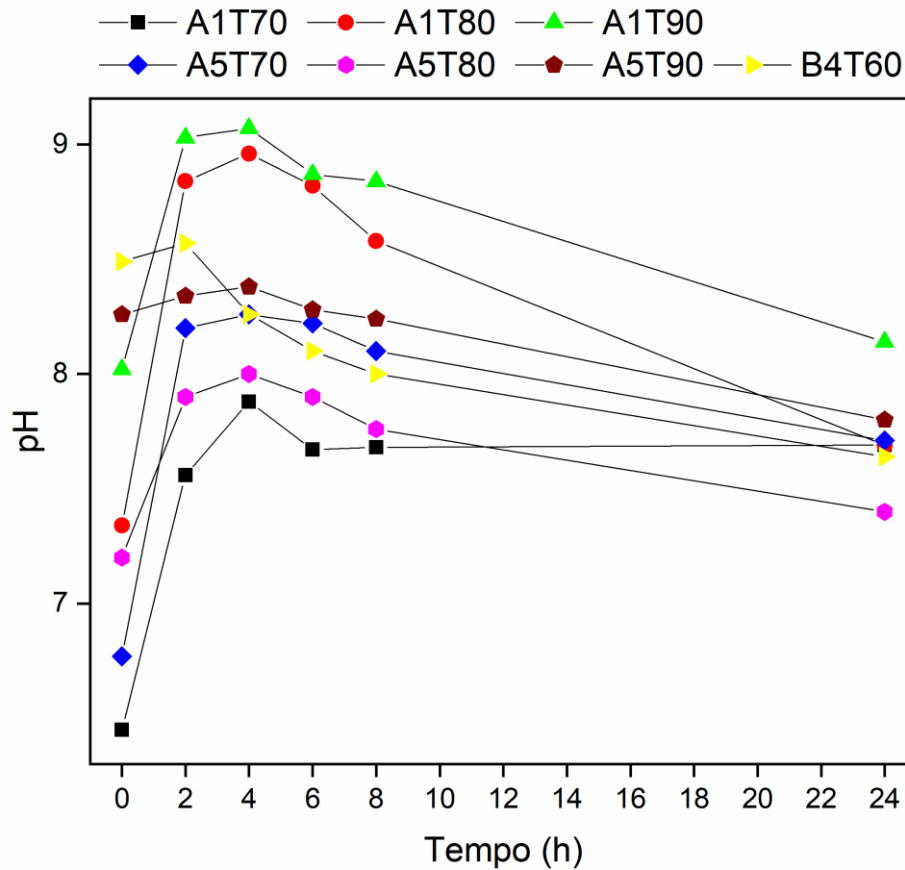


Figura 13 - pH em função do tempo para as fibras tratadas imersas em meio aquoso.  
Fonte: Autor, (2019).

### 5.3. Compatibilidade entre as fibras e o cimento Portland

#### 5.3.1. Calorimetria e Índice de inibição

A Figura 15 apresenta as curvas de hidratação da pasta de cimento Portland e das pastas contendo fibras tratadas com 1% de NaOH. A pasta de cimento puro alcançou a temperatura máxima de 40,31°C após o período de cura de 8,67 h, enquanto a pasta A1T70 alcançou a temperatura máxima de 37,33°C em 9,73 h. As outras pastas contendo fibras tratadas com solução alcalina de mesma concentração seguiram a mesma tendência de retardamento, redução da temperatura máxima e aumento do tempo para atingir a temperatura máxima.

Um comportamento semelhante ao descrito anteriormente foi verificado para as pastas contendo fibras tratadas com solução alcalina com 5% de NaOH, figura 16. As curvas indicam claramente um retardo das reações de hidratação, em relação a pasta de cimento Portland, pois foi observada uma redução da temperatura máxima e um aumento do tempo para atingir essa temperatura. Na figura 17 é possível observar a curva de calorimetria da

pasta de cimento Portland e da pasta do tratamento B4T60. Os resultados indicam claramente que o tratamento resultou em melhor compatibilidade, pois o tempo para alcançar a temperatura máxima e a temperatura máxima são muito próximos aos valores para pasta de cimento pura.

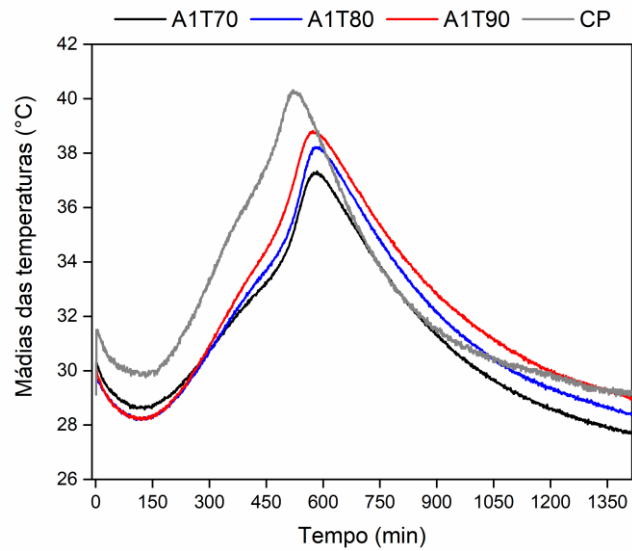


Figura 14 - Curvas de hidratação do cimento Portland e dos tratamentos alcalinos à 1%.  
Fonte: Autor, (2019).

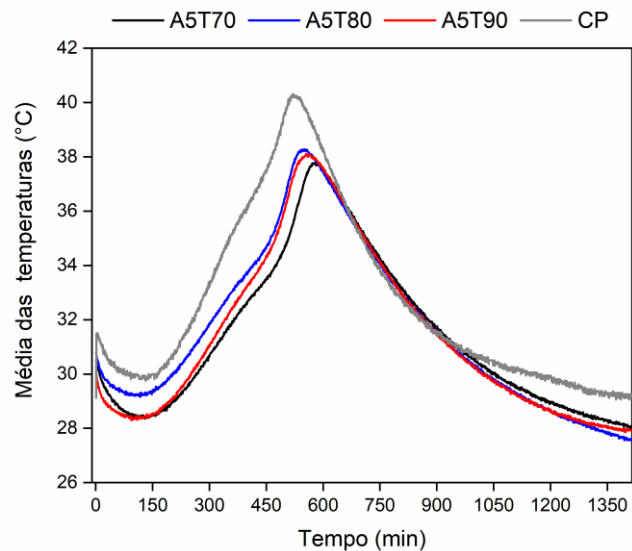


Figura 15 - Curvas de hidratação do cimento Portland e dos tratamentos alcalinos à 5%.  
Fonte: Autor, (2019).

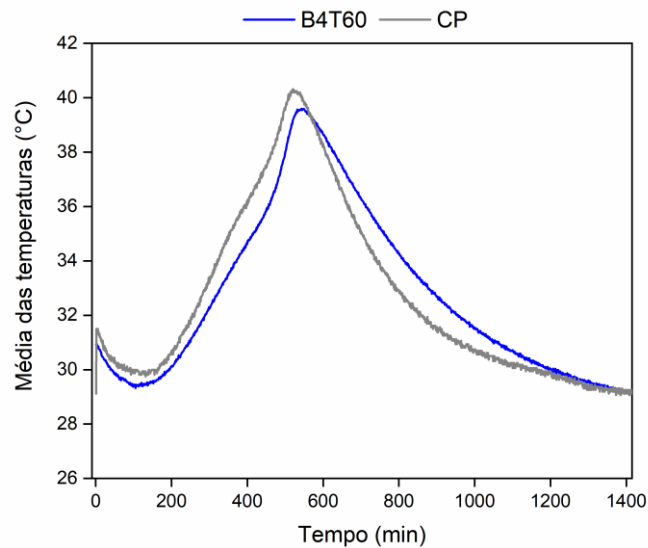


Figura 16 - Curvas de hidratação do cimento Portland e do tratamento de branqueamento B4T60.

Fonte: Autor, (2019).

A Tabela 12 apresentam os valores de temperatura, tempo, taxa de variações máximas e índice de inibição das pastas de cimento e das pastas de cimento e fibras tratadas quimicamente.

Tabela 12 - Tempo, temperatura e taxa de variação máxima observados nos testes de calorimetria.

Tratamento	Tempo para alcançar a temperatura máxima (h)	Temperatura máxima (°C)	S máx (°C/h)	Índice de inibição (%)
CP	8,67	40,31	0,0277	
A1T70	9,73	37,33	0,018	0,296 <sup>a</sup>
A1T80	9,67	38,22	0,021	0,128 <sup>b</sup>
A1T90	9,57	38,81	0,024	0,047 <sup>c</sup>
A5T70	9,65	37,78	0,020	0,173 <sup>d</sup>
A5T80	9,18	38,28	0,021	0,068 <sup>e</sup>
A5T90	9,25	38,10	0,023	0,056 <sup>f</sup>
A4T60	9,06	39,59	0,024	0,009 <sup>g</sup>

<sup>a b c d e f g</sup> Letras diferentes indicam diferenças estatísticas no Teste de t ao nível de 5% de probabilidade

Fonte: Autor, 2019.

Segundo Toledo Filho e Lima (2003), um dos principais problemas da incompatibilidade entre as fibras e o cimento Portland é a presença de hemiceluloses, lignina, açúcares, fenóis e taninos. Esses componentes interferem da pega do cimento, causando incompatibilidade elevada. Entretanto, para as fibras das folhas do açazeiro, os índices de inibição de todos os tratamentos químicos foram relativamente baixos, Tabela 10, indicando boa compatibilidade.

Esses resultados confirmam que os tratamentos utilizados foram eficientes para remoção de grande parte dos componentes que poderiam dificultar a compatibilidade entre fibras e cimento Portland.

### 5.3.2. Difração de raios X das pastas

Os resultados de difração de raios X para a pasta de cimento Portland durante três dias de cura são apresentados na Figura 18. Logo no início da hidratação do cimento, a fase gipsium (G:  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ) é formada. Após 24 horas, o gipsium é consumido para a formação das fases portlandita (P:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e etringita (E:  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} - 26\text{H}_2\text{O}$ ), cujos picos aumentam com tempo de cura. Este comportamento está de acordo com o descrito por Maciel et al. (2019). O gipsium é hidratado e forma a etringita na superfície do grão de cimento (BULLARD et al., 2011). Segundo Gartner et al. (2002), há um período de dormência que pode variar de 2 a 4 horas (JUILLAND et al., 2010). Após esse período, a hidratação do cimento continua e a portlandita é formada (GARRAULT; NONAT, 2001). A portlandita é formada logo nas primeiras horas da hidratação do cimento (ARDANUY et al., 2011; BULLARD et al., 2011).

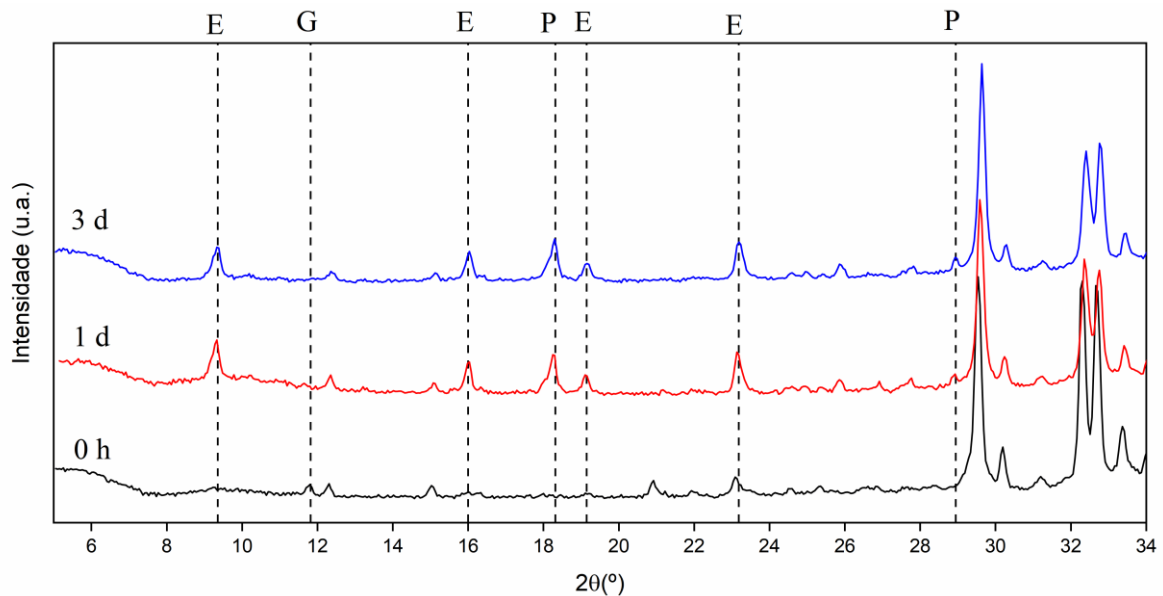


Figura 17 - Difratoograma da pasta de cimento Portland, sem fibras, E: fase etringita; G: fase gipsium e P: fase portlandita.  
Fonte: Autor, (2019).

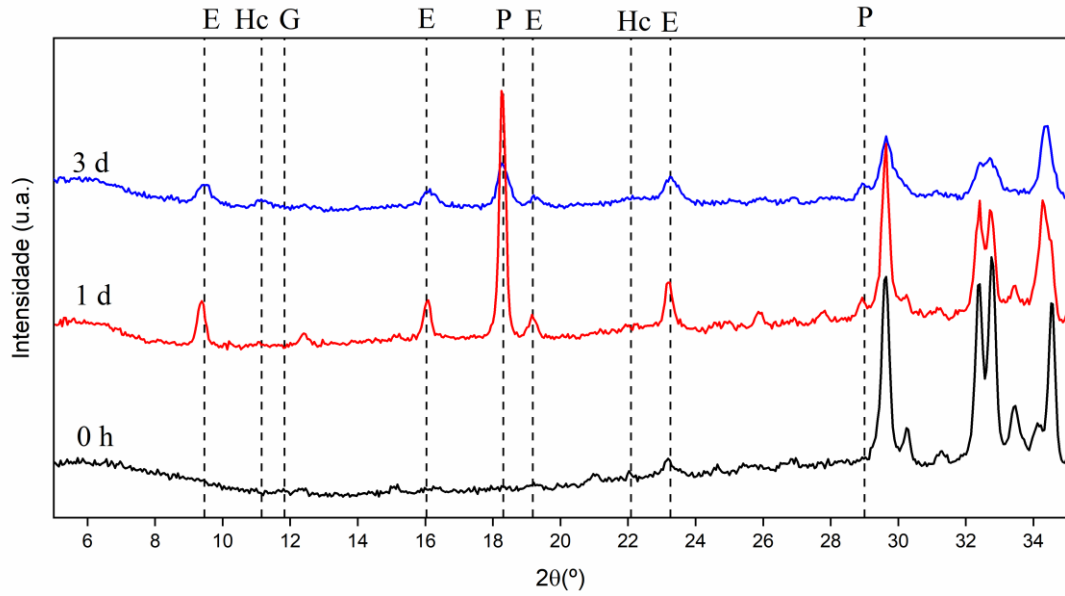


Figura 18 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T70. Fonte: Autor, (2019).

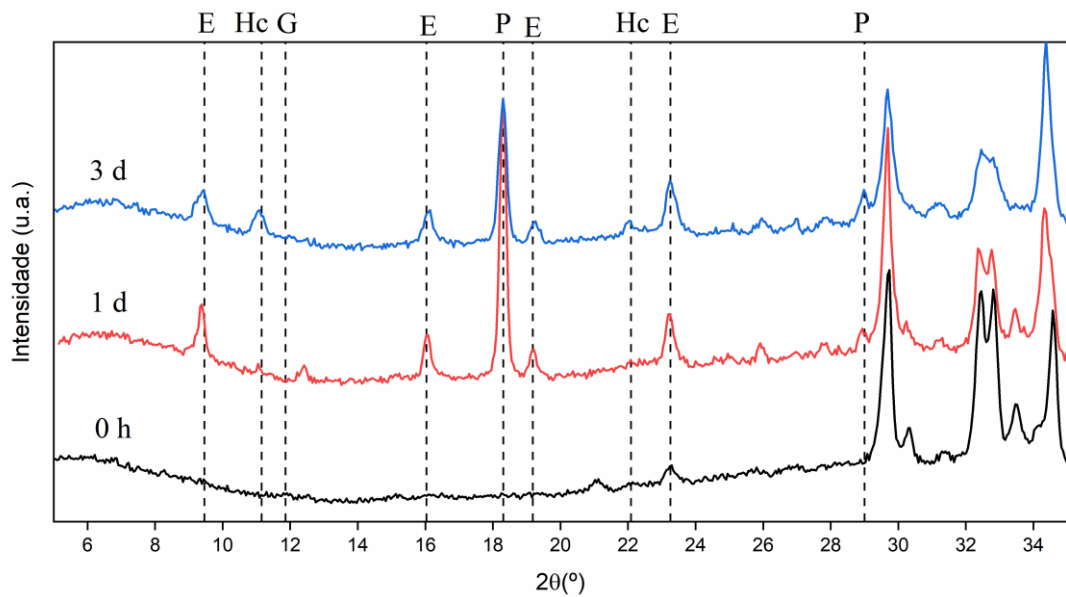


Figura 19 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T80. Fonte: Autor, (2019).



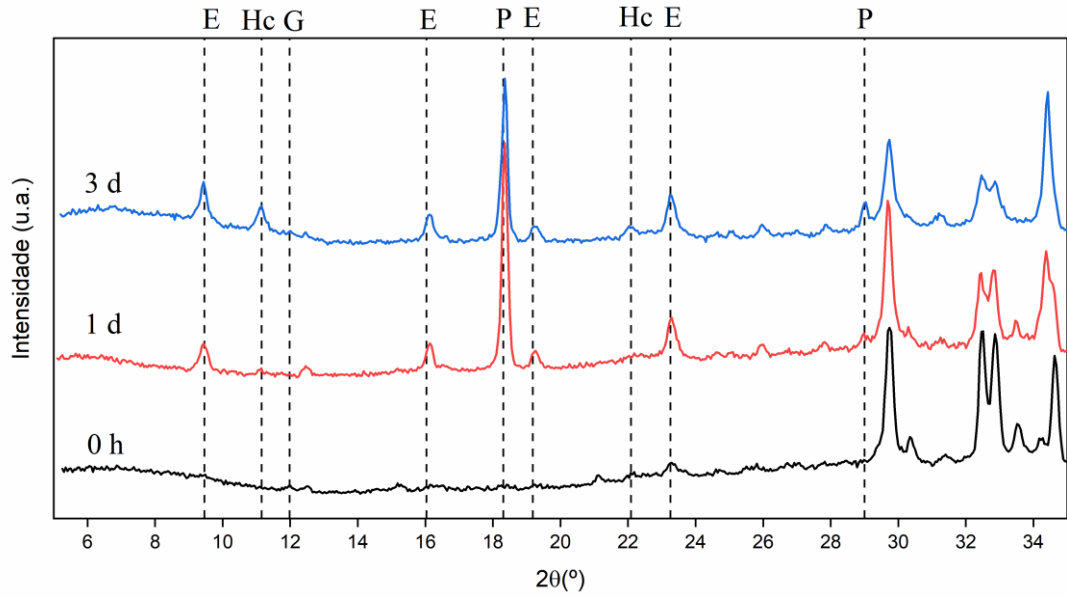


Figura 20 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A1T90. Fonte: Autor, (2019).

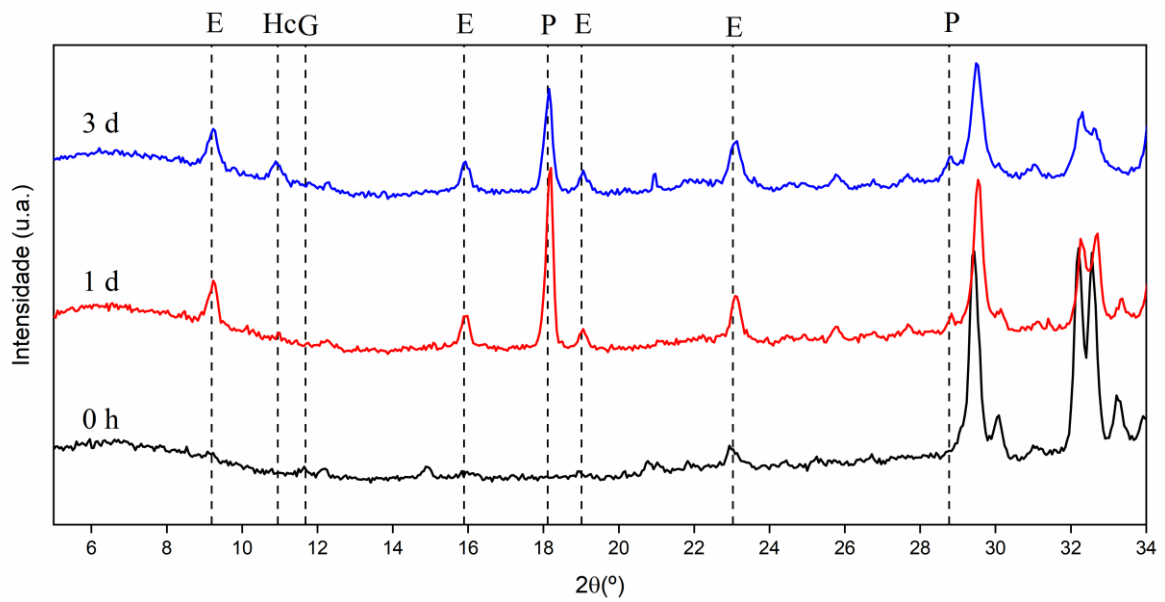


Figura 21 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T70. Fonte: Autor, (2019).

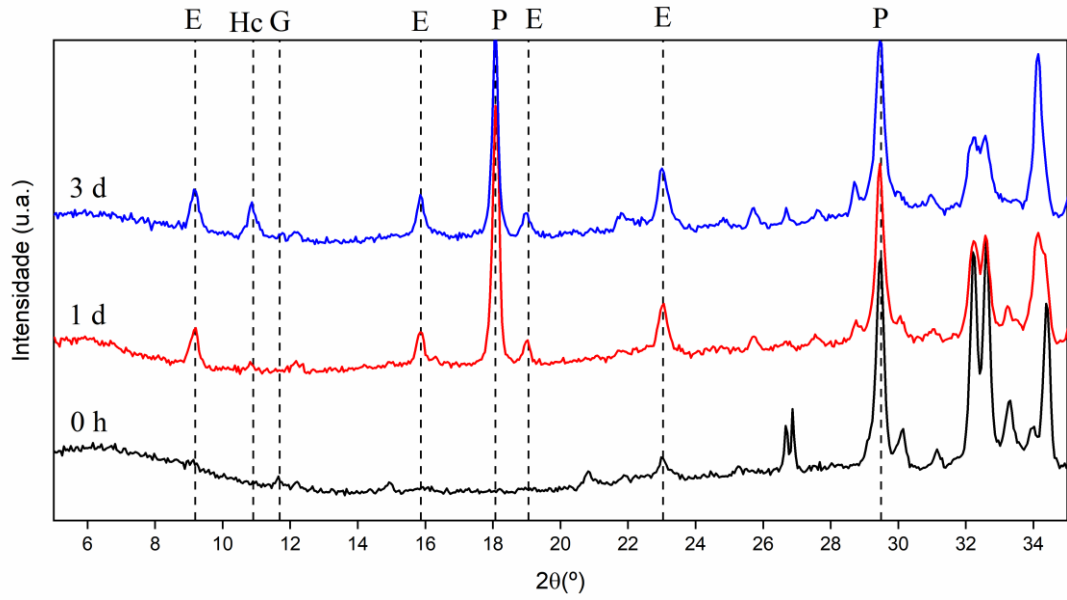


Figura 22 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T80. Fonte: Autor, (2019).

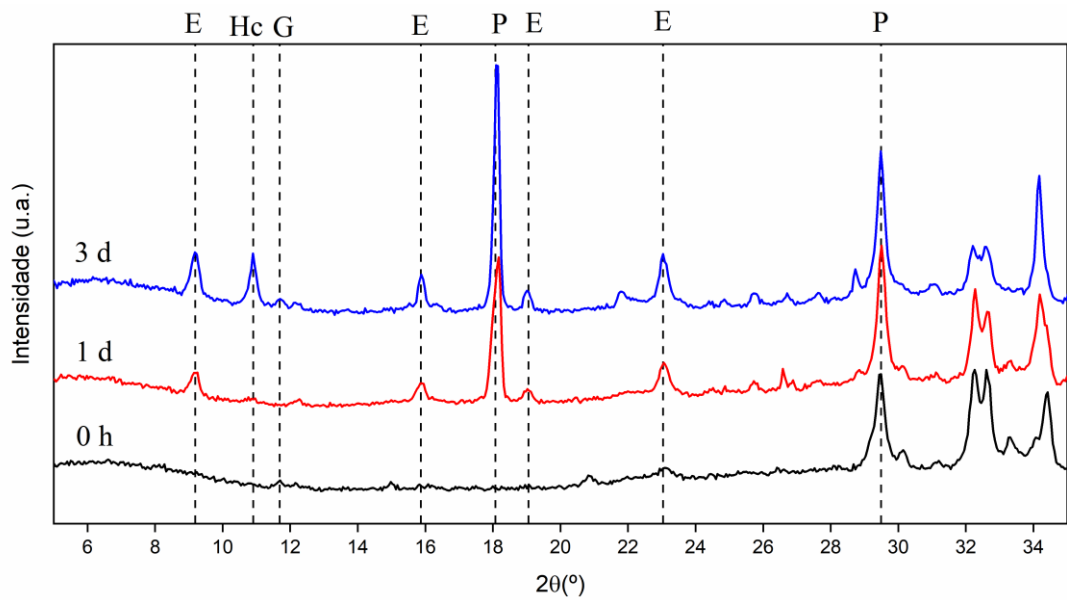


Figura 23 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento A5T90. Fonte: Autor, (2019).

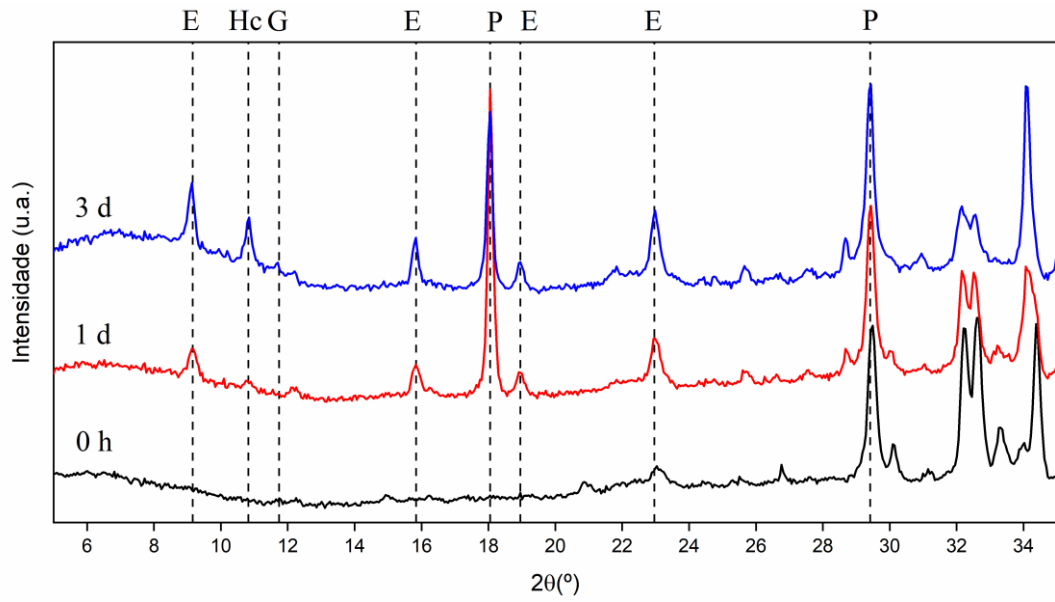


Figura 24 - Difratoograma da pasta de cimento/fibra/água com fibras do tratamento B4T60, tratamento alcalino + branqueamento.  
Fonte: Autor, (2019).

No difratograma da pasta contendo fibras do tratamento A1T70, a fase gipsium também foi observada apenas na análise para 0h. As fases etringita e portlandita também já foram observadas após 24h de hidratação. Entretanto, após 3 dias, a intensidade do pico da fase etringita diminuiu em relação à fase portlandita, figura 19. As intensidades dos picos das pastas contendo fibras são menores quando comparadas com as intensidades dos picos da pasta de cimento puro. Os difratogramas das pastas contendo fibras de todos os tratamentos (A1T70, A1T80, A1T90, A5T80, A5T80, A5T90 e B4T60) demonstraram um comportamento bastante semelhante, figuras 18 a 25.

Segundo Mohr, Biernacki e Kurtis et al. (2007), Claramunt, Ardanuy e García-Hortal (2011), a degradação da fibra natural no ambiente alcalino e rico em minerais das matrizes de cimento, é caracterizada pelo processo de hidratação, cristalização e endurecimento. Segundo Thomas, Jennings e Chen (2009), material lignocelulósico pode interferir no tempo de hidratação e consequente formação das fases hidratadas, etringita e portlandita, devido a presença do íon  $\text{Ca}^{2+}$  presentes no cimento Portland. Segundo Sundberg et al. (1996), a lignina causa grandes retardos na formação de produtos resultantes da hidratação do cimento Portland. Contudo, não se observou retardamento significativo na formação dos produtos da hidratação do cimento em nenhuma das pastas contendo fibras de qualquer um dos tratamentos utilizados.

### 5.3.3. Resistência mecânica das pastas

A resistência à compressão das pastas produzidas com as fibras tratadas nas diferentes condições foi significativamente inferior à das amostras fabricadas somente com cimento Portland, tanto para os corpos de prova (CP's) curados por 7 dias quanto por de 28 dias. Foi realizada a comparação das médias das resistências através de um teste ANOVA dos corpos de provas com 7 dias de cura, tabela 13. É possível observar que a estatística F é alta e isso significa que a média das populações são significativamente diferentes. Podendo ser comprovado através de um teste de Tukey, tabela 14. Observamos que há diferenças significativas entre os corpos de prova que possuem fibras e todos corpos de prova que possuem. A tabela 15 apresenta os valores do teste ANOVA para os corpos de prova com tempo de cura de 28 dias, onde foi possível observar que a estatística F tem um valor alto caracterizando que média das resistências são diferentes significativamente. E a tabela 16 apresenta o resultado de teste de Tukey, onde é possível observar que os resultados mostram que só existem diferenças entre os CP's sem fibras e os outros tratamentos. Na tabela 17 é possível observar que não existem diferenças significativas entre os CP's sem fibras com

tempos de cura diferentes, devido a estatística F apresentar um valor baixo, que foi comprovado pelo teste de Tukey apresentado na tabela 18. Foi realizado também teste ANOVA e teste de Tukey para os CP's que continham as fibras com os 7 tratamentos desta pesquisa com tempos de cura de 7 e 28 dias, tabela 19, onde foi possível observar que a probabilidade é menor do que a estatística F e indica que a média das resistências á compressão não são diferentes significativamente. A figura 26 apresenta de forma mais sintética as informações sobre a resistência à compressão dos dois grupos de CP's com tempos de cura de 7 e 28 dias.

Tabela 13 – Resultado do teste Anova da resistência à compressão dos corpos de prova das pastas com e sem fibras tratadas com 7 de cura

	<b>DF</b>	<b>Soma das Raízes</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob&gt;F</b>
Modelo	7	4262,6139	608,94484	36,86387	1,67E-15
Erro	40	660,74975	16,51874		
Total	47	4923,36365			

Fonte: Autor (2019)

Tabela 14 - Resultado do teste de Tukey das médias da resistência à compressão dos corpos de provas com 7 dias de cura.

	<b>Valor de q</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>
A1T70 (7d) CP (7d)	17,11412	4,99E-09	0,05	1
A1T80 (7d) CP (7d)	16,44916	7,53E-09	0,05	1
A1T80 (7d) A1T70 (7d)	0,66496	0,99973	0,05	0
A1T90 (7d) CP (7d)	16,75853	1,07E-08	0,05	1
A1T90 (7d) A1T70 (7d)	0,35558	1	0,05	0
A1T90 (7d) A1T80 (7d)	0,30938	1	0,05	0
A5T70 (7d) CP (7d)	17,27784	9,76E-09	0,05	1
A5T70 (7d) A1T70 (7d)	0,16373	1	0,05	0
A5T70 (7d) A1T80 (7d)	0,82869	0,99887	0,05	0
A5T70 (7d) A1T90 (7d)	0,51931	0,99995	0,05	0
A5T80 (7d) CP (7d)	17,71479	8,93E-09	0,05	1
A5T80 (7d) A1T70 (7d)	0,60067	0,99986	0,05	0
A5T80 (7d) A1T80 (7d)	1,26563	0,98487	0,05	0
A5T80 (7d) A1T90 (7d)	0,95625	0,9972	0,05	0
A5T80 (7d) A5T70 (7d)	0,43694	0,99998	0,05	0
A5T90 (7d) CP (7d)	16,94034	1,04E-08	0,05	1
A5T90 (7d) A1T70 (7d)	0,17377	1	0,05	0
A5T90 (7d) A1T80 (7d)	0,49118	0,99997	0,05	0
A5T90 (7d) A1T90 (7d)	0,18181	1	0,05	0
A5T90 (7d) A5T70 (7d)	0,3375	1	0,05	0
A5T90 (7d) A5T80 (7d)	0,77444	0,99927	0,05	0
B4T60 (7d) CP (7d)	17,65753	9,04E-09	0,05	1
B4T60 (7d) A1T70 (7d)	0,54342	0,99993	0,05	0
B4T60 (7d) A1T80 (7d)	1,20837	0,98843	0,05	0
B4T60 (7d) A1T90 (7d)	0,899	0,9981	0,05	0
B4T60 (7d) A5T70 (7d)	0,37969	0,99999	0,05	0
B4T60 (7d) A5T80 (7d)	0,05725	1	0,05	0
B4T60 (7d) A5T90 (7d)	0,71719	0,99956	0,05	0

Fonte: Autor (2019)

Tabela 15 - Teste ANOVA da resistência à compressão para os corpos de prova com tempo de cura 28 dias

	<b>DF</b>	<b>Soma das raízes</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob&gt;F</b>
Modelo	7	5399,3506	771,3358	35,22253	3,66E-15
Erro	40	875,9572	21,89893		
Total	47	6275,3078			

Fonte: Autor (2019)

Tabela 16 - Resultado do teste de Tukey das médias da resistência à compressão dos corpos de provas com 28 dias de cura.

	<b>Valor q</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>
A1T70 (28d) CP (28d)	15,68391	9,63E-09	0,05	1
A1T80 (28d) CP (28d)	16,36525	7,82E-09	0,05	1
A1T80 (28d) A1T70 (28d)	0,68134	0,99969	0,05	0
A1T90 (28d) CP (28d)	17,07712	1,01E-08	0,05	1
A1T90 (28d) A1T70 (28d)	1,39321	0,97401	0,05	0
A1T90 (28d) A1T80 (28d)	0,71187	0,99958	0,05	0
A5T70 (28d) CP (28d)	16,33471	7,92E-09	0,05	1
A5T70 (28d) A1T70 (28d)	0,65081	0,99977	0,05	0
A5T70 (28d) A1T80 (28d)	0,03053	1	0,05	0
A5T70 (28d) A1T90 (28d)	0,74241	0,99945	0,05	0
A5T80 (28d) CP (28d)	17,01606	1,03E-08	0,05	1
A5T80 (28d) A1T70 (28d)	1,33215	0,97975	0,05	0
A5T80 (28d) A1T80 (28d)	0,65081	0,99977	0,05	0
A5T80 (28d) A1T90 (28d)	0,06107	1	0,05	0
A5T80 (28d) A5T70 (28d)	0,68134	0,99969	0,05	0
A5T90 (28d) CP (28d)	17,40078	9,52E-09	0,05	1
A5T90 (28d) A1T70 (28d)	1,71687	0,92296	0,05	0
A5T90 (28d) A1T80 (28d)	1,03553	0,99542	0,05	0
A5T90 (28d) A1T90 (28d)	0,32366	1	0,05	0
A5T90 (28d) A5T70 (28d)	1,06607	0,99453	0,05	0
A5T90 (28d) A5T80 (28d)	0,38473	0,99999	0,05	0
B4T60 (28d) CP (28d)	17,10678	5,00E-09	0,05	1
B4T60 (28d) A1T70 (28d)	1,42288	0,97082	0,05	0
B4T60 (28d) A1T80 (28d)	0,74154	0,99945	0,05	0
B4T60 (28d) A1T90 (28d)	0,02966	1	0,05	0
B4T60 (28d) A5T70 (28d)	0,77207	0,99929	0,05	0
B4T60 (28d) A5T80 (28d)	0,09073	1	0,05	0
B4T60 (28d) A5T90 (28d)	0,294	1	0,05	0

Fonte: Autor (2019).

Tabela 17 - Teste ANOVA para os CP's sem fibras de 7 e 28 dias.

	<b>DF</b>	<b>Soma das raízes</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob&gt;F</b>
Modelo	1	21,2268	21,2268	0,19221	0,6704
Erro	10	1104,34677	110,43468		
Total	11	1125,57357			

Fonte: Autor (2019).

Tabela 18 - Teste de Tukey para CP's sem fibras e com fibras dos 7 tratamentos químicos com tempo de cura de 7 e 28 dias.

	<b>Valor de q</b>	<b>Prob</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig</b>
CP (28d) CP (7d)	0,62002	0,6704	0,05	0
A1T70 (28d) A1T70 (7d)	1,11997	0,44677	0,05	0
A1T80 (28d) A1T80 (7d)	1,06537	0,46862	0,05	0
A1T90 (28d) A1T90 (7d)	2,65078	0,09035	0,05	0
A5T70 (28d) A5T70 (7d)	0,15352	0,9157	0,05	0
A5T80 (28d) A5T80 (7d)	0,58888	0,68591	0,05	0
A5T90 (28d) A5T90 (7d)	1,87992	0,21328	0,05	0
B4T60 (28d) B4T60 (7d)	0,68475	0,63868	0,05	0

Fonte: Autor (2019)

É possível observar que as médias das resistências à compressão são menores em relação aos corpos de prova que não contêm fibras de nenhum tratamento. Cardoso e Cabral (2017), observaram que corpos de prova sem a presença de agregados tendem a apresentar médias superiores às médias das resistências dos corpos que apresentam fibras em sua constituição. A redução da resistência à compressão entre os CP's provavelmente é atribuída nos CP's às altas taxas de absorção de água por parte das fibras de folhas de açazeiro. Para esta pesquisa utilizou-se os resultados dos corpos de prova com 7 e 28 dias seguindo as referências utilizadas (NBR 5739/07). Dentre os valores obtidos em todos os tratamentos para a resistência nenhum se aproximou do valor mínimo de 34 MPa encontrado na NBR 5733 (ABNT, 1991) para o cimento Portland CP-V ARI. Um possível fator seria a dificuldade de dispersão das fibras durante a mistura para a obtenção das pastas fibra/cimento/água, não havendo uma total integração das fibras com a matriz de cimento.



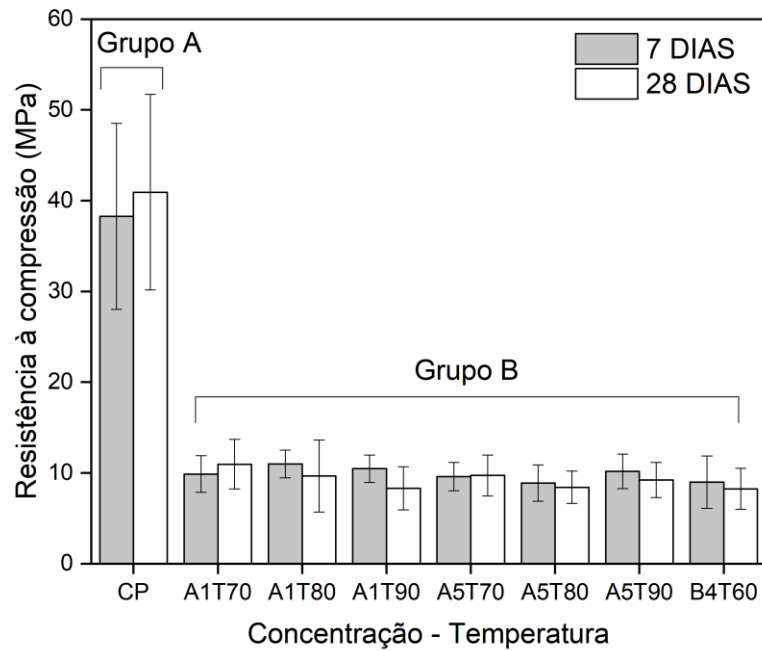


Figura 25 - Análise da resistência à compressão dos CP's do cimento Portland e Tratamentos químicos; Cura 7 e 28 dias.

Fonte: Autor, (2019).

#### 5.4 Caracterização física e mecânica dos compósitos

Os painéis de fibras de folhas do açazeiro apresentaram as propriedades físicas e mecânicas bem abaixo dos valores das propriedades dos painéis comerciais e dos painéis de pesquisas semelhantes, Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados médios da umidade, absorção de água (AA) em 2 e 24 horas, inchamento em espessura (IE) após 2 e 24 horas de imersão dos corpos de prova, densidade média, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Painel	CPPB - fibras – A5T90	Viroc ®	Bison (1978)	Amroc ®	CPPB - Curuará
Umidade (%)	15,34	9 a 12	6 a 12		
AA 2h (%)	14,29				4,53
AA 24h (%)	16,22				5,07
IE 2h (%)	1,59		≤1		0,32
IE 24h (%)	2,01	≤1,5	≤1,5	≤1,5	0,22
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,29	1,35	1,25	1	0,36
MOE (MPa)	560,9	≥4500	≥3000	≥3000	2047,07
MOR (MPa)	1,37	≥9	≥9	≥9	3,55

Os valores obtidos nos ensaios para determinação de IE, AA, umidade não estão próximos dos valores para os painéis com padrões internacionais, entretanto, os valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), foram também muitos inferiores. Portanto, as propriedades físicas e mecânicas não dependem exclusivamente da compatibilidade entre fibras e o cimento. Alterações no processo de dispersão das fibras e na conformação das placas precisam realizadas para alcançar placas com melhor desempenho. A Figura 27 apresenta o produto final desta pesquisa, o painel mineral de fibra de folhas de açazeiro.



Figura 26 - Painel mineral (CPPB) de fibra de folhas de açazeiro.  
Fonte: Autor, 2019.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

As folhas da palmeira *Euterpe oleracea* Mart. in natura e tratadas com diferentes condições (1% e 5% de solução de NaOH a 70 ° C, 80 ° C e 90 ° C) foram analisadas por MEV, análise

de imagem, técnicas de DRX e TGA. Os tratamentos alcalinos mostraram-se eficientes para remover os componentes não celulósicos e aumentar a cristalinidade das fibras. A maior concentração de NaOH e a temperatura mais alta favorecem a formação de fibras mais finas com superfícies aparentemente mais ásperas e limpas, o que pode ser adequado para o desenvolvimento de biocompósitos. O tratamento adicional de branqueamento removeu com sucesso as fibras geradoras de hemiceluloses e lignina com temperatura de degradação aprimorada, também promissora para materiais termoplásticos.

Os resultados da calorimetria semi-adiabática e difração de raios X das pastas também mostraram boa compatibilidade entre o cimento Portland e as fibras das folhas de açaí produzidas por tratamentos alcalinos e branqueamento. Os difratogramas das pastas de cimento/fibra indicaram que as fases gipsum, etringita e portlandita foram formadas em todas as misturas. As fibras branqueadas de folhas de açaí apresentaram a menor redução na temperatura máxima, menor atraso de tempo para atingir essa temperatura. Tais resultados indicaram que esse tipo de fibra também apresenta um potencial adequado para aplicações de compósitos ligados por cimento.

Os resultados das propriedades físicas das placas desenvolvidas (densidade, umidade, absorção de água e inchamento em espessura) apresentaram valores compatíveis com produtos comerciais. Entretanto, os resultados de MOE e MOR foram inferiores aos valores de referência, indicando que ainda são necessárias melhorias nas etapas de dispersão das fibras na matriz cimentícia e no processo de conformação das placas.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABDELMOULEH, M; BOUFIS, S; BELGACEM, M.N; DUFRESNE, A. Short natural-fibrereinforced polyethylene and natural rubber composites: effect of silanecoupling agents and fibre loading. **Compos Sci Technol**, v. 67, p. 7–8, 2007.
- ADENESKY FILHO, E. **Resíduos agroindustrial da palmeira real da Austrália *archontophoenix alexandrae* h. wendl. & drude como componente para substrato de espécies ornamentais**. 2007. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2007.
- AGGARWAL, L. K; SINGH, J. Effect of plant fibre extractives on properties of cement. **Cement and Concrete Composites**. v. 12, n. 2, p 103-108. 1990.
- AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H; JOHN, H. M; CINCOTTO, M. A. Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. **Cement & Concrete Composites**, New York, v. 27, n. 5, p. 527-536, 2005.
- AGOUDJIL, B; BENCHABANE, A; BOUDENNE, A; IBOS, L; FOIS, M. Renewable materials to reduce building heat loss: characterization of date palm wood. **Energy Build**, v. 43, p. 491–497. 2011.
- AL-OQLA, F. M; SAPUAN, S. M.; ISHAK, M. R.; NURAINI, A. A. Combined multicriteria evaluation stage technique as an agro waste evaluation indicator for polymeric composites: date palm fibers as a case study. **BioResources**, v. 9, p. 4608–4621, 2014b.
- AL-OQLA, F. M; SAPUAN, S. M; ISHAK, M. R; NURAINI, A. A. Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision making model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 113, p. 116-127, 2015.
- AL-OQLA, F.M., SAPUAN, S.M. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. **J. Clean. Prod**, v. 66, p. 347–354. 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM D 1037 - **Standard method of evaluating the proprieties of wood-base fiber and particle panel materials**. philadelphia: 1999.
- ARDANUY, M; CLARAMUNT, J; GARCIA-HORTAL, J. A; BARRA, M. Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers. **Cellulose**, v. 18, n. 2, p. 281 – 289, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. **Boletim técnico**, 7ª ed. São Paulo, 2002. 28p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. Boletim Técnico - 106. São Paulo. 1997. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**: Cimento Portland composto. 1990. 5 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência dos tempos de pega. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5735/90**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Ensaio de argamassa no Estado Fresco. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

BALAKRISHNA, A., D. N. RAO; A. S. RAKESH. Characterization and modeling of process parameters on tensile strength of short and randomly oriented borassus flabellifer (Asian palmyra) fiber reinforced composite. **Composites Part**, v. 55, p. 479–485, 2013.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012

BENSTED, J. Some applications of conduction calorimetry to cement hydration. **Advances in Cement Research**, v. 1, n. 1, 1987.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C. de; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNANDES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. CD-ROM.

BICALTI, G. K; **Produção de painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 2015. P. 100. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison-report**, 10 p, 1978.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, v. 24, n.2, p.221-274. 1999.

BRASILEIRO, G. A. M; VIEIRA, J. A. R; BARRETO, L. S. Use of coir pith particles in composites with Portland cement. Londres. **Journal of Environmental Management**, v.131, p. 228-238, 2013.

BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre propriedades físicas e de colagem em materiais aglomerados**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BUFALINO, L.; SENA NETO, A. R. DE; TONOLI, G. H. D.; DE SOUZA FONSECA, A.; COSTA, T. G.; MARCONCINI, J. M.; COLODETTE, J. L.; LABORY, C. R. G.; MENDES, L. M. How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. **Cellulose**, v. 22, n. 6, p. 3657-3672, 2015.

BULLARD, J. W.; JENNINGS, H. M.; LIVINGSTON, R. A.; NONAT, A.; SCHERER, G.W.; SCHWEITZER, J. S.; SCRIVENER, K. L.; THOMAS, J. J. Mechanisms of Cement Hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1208 - 1223, 2011.

CARDOSO, G. N; CABRAL, R. F. Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de pneus automotivos. **Revista Teccen**, v. 10, n. 2, p. 18-23, 2017.

CHIKOUCHE, I; SAHARI, A; ZOUAOU, A; TINGRY, S. Enhancement of electric properties of polypyrrole by copper electrodeposition. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 93, n. 6, 2015.

CHITTENDEN, A. E; HAWKES A. J; HAMILTON, H. R. Wood cement Systems. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, New Delhi, p. 20. 1975.

CLARAMUNT, J; ARDANUY, M; GARCÍA-HORTAL, J. A. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 1, p. 200-205, 2011.

ELTOMATION, Placas de Partículas de cimento. Disponível: <<https://www.eltomation.com/eng/wood-cement-boards/cement-bonded-particle-board.html>>2015. Acesso em: 01 de junho de 2019.

FAKIROV, S; BHATTACHARYYA, D. Synthetic polymer-polymer composites. **Hanser Publications**, Cincinnati. 2007.

FERRAZ, J. M. **Produção E Propriedades de Painéis de Fibra de Coco Verde (Cocos nucifera L.) em Mistura com Cimento Portland**. 2011. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FREITAS, D.; Técnica aumenta produção do açaí em até cinco vezes; Gestão ambiental. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2954842/tecnica-aumenta-producao-do-acai-em-ate-cinco-vezes>. 2015. Acesso em: 04 de abril de 2018.

GALVÃO, J. C. A; **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V – ARI e CP II – F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura**. 2003. P,112. Dissertação (mestrado em engenharia de materiais e processos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

GARRAULT, S.; NONAT, A. Hydrated Layer Formation on Tricalcium and Dicalcium Silicate Surfaces: Experimental Study and Numerical Simulations. **Langmuir**, p. 17, p. 8131-8138. 2001.

GARTNER, E. M.; YOUNG, J. F.; DAMIDOT, D. A. JAWED, I. Hydration of Portland cement. In: BENSTED, J., BARNES, P. (ed.). **Structure and performance of cements**, London: Spon Press, cap. 3, p. 83. 2002.

GUIMARÃES, B, M, G; ZONATTI, W, F; BARUQUE-RAMOS, J. **Avaliação das características físico-químicas de fibras vegetais têxteis da família malvaceae**; 2º congresso científico têxtil e de moda; São Paulo. 2014.

HASSAN, M. L; NADA, A. M. A. Utilization of lignocellulosic fibers in molded polyester composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 87, p. 653–660. 2003.

HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. **Wood and Fiber Science**, v. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.

HU, X, P; HSIEH, Y. L. Effects of Dehydration on the Crystalline Structure and Strength of Developing Cotton Fibers. **Fiber arid Poljnier Science**. v. 71, n. 3, p. 231-239. 2001.

ITAMBÉ, cimento. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-v-ari/>> 2019. Acesso em: 12 de junho de 2019.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. FUPEF. Curitiba, 2005.

JAIN D; KAMBOJ, I; BERA, T, K; KANG, A, S; SIGLA R, K. Experimental and numerical investigations on the effect of alkaline hornification on the hydrothermal ageing of Agave natural fiber composites. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. v. 130, p. 431–439. 2019.

JANSEN, D; GOETZ-NEUNHOEFFER, F; LOTHENBACH, B; NEUBAUER, J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD. **Cement and Concrete Research**, v. 42, p. 134-138, 2012.

JUILLAND, P; GALLUCCI, E; FLATT, R; SCRIVENER, K.; Dissolution theory applied to the induction period in alite hydration. **Cement and Concrete Research**. v. 40, n. 6, p. 831–844. 2010.

KABIR, M. M.; LAU, H. W. K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant – based natural fibre reinforced polymer composites. **Composites: Part B**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, 2012.

KAUSHIK, V. K; KUMAR, A; KALIA, S. Effect of Mercerization and Benzoyl Peroxide Treatment on Morphology, Thermal Stability and Crystallinity of Sisal Fibers. **International Journal of Textile Science**, v. 1, n. 16, p. 101-105. 2012.

KIM, H. J; EOM, Y. G. Thermogravimetric analysis of rice husk flour for a new raw material of lignocellulosic fiber-thermoplastic polymer composites. **Mokchae Konghak**, v. 29, p. 59–67. 2001.

KOZLOWSKI, R; PRZYBYLAK, M. W. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers. **Polymers for Advanced Technologies**. v. 19, p. 446–453. 2008.

KRISHNAIAH, P., C. T. RATNAM, S. MANICKAM. Enhancements in crystallinity, thermal stability, tensile modulus and strength of sisal fibers and their PP composites induced by the synergistic effects of alkali and high-intensity ultrasound (HIU) treatments. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p.729–742, 2017.

LATORRACA, A. J. V; **Eucalyptus spp. Na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2000.

LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p.68-76, 2000.

LEONARD, Y.M; MARTIN, P.A. Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibres by alkalisation. **Appl Polym Sci.** v. 84, n. 12, 2002;84(12):2222–34.

LEWIN, M. **Handbook of Fiber Chemistry.** CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton. 2007.

LI, X; TABIL, L. G; OGUOCHA, I. N; PANIGRAHI, S. Thermal diffusivity, thermal conductivity, and specific heat of flax fiber–HDPE biocomposites at processing temperatures. **Composites Science. Technology.** v. 68, p. 1753–1758. 2008.

LOPES, F. M. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Engenharia agrícola ambiental.** v.14, n.7, p. 783-788. 2010.

MACHADO, B. A. S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes flexíveis deamido de mandioca com nanocelulose de coco.** 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

MACIEL, M. H.; SOARES, G. S.; ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A. Monitoring of Portland cement chemical reaction and quantification of the hydrated products by XRD and TG in function of the stoppage hydration technique. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,** v. 136, n. 3, p. 1269-1284, 2019.

MAJEED, K; JAWAID, M; HASSAN, A; ABU BAKAR, A; ABDUL KHALIL, H; SALEMA, A; INUWA, I. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. **Materials & Design.** v. 46, p. 391–410. 2013.

MATOSKI, Adalberto. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira.** 2005. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 3. ed. IBRACON, 2008.

MOHR, B.J; BIERNACKI, J.J; KURTIS, K.E. Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber-cement composites, **Cement Concrete Res.** v. 37, p. 1531–1543. 2007.

MORI, F.A; LOPES, Y. L. V; MENDES, L. M; LATORRACA, J. V. F. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal,** v.17, n.3, p.257-264, 2007.

MOSLEMI, A. A; PFISTER, S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and Fiber Science,** v. 19, n. 2, p. 165-175, 1987.

MWAIKAMBO Y, M; ANSELL, M, P. The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement. **Angew Makromol Chem.** v. 272, 1999.

NETO, F. L; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** 1ª ed. Edgard bluncher, São Paulo, p. 98-100. 2006.



NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1982. 738p.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362** – Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Germany, 1982.

OKINO, E. Y. A; SOUZA, M. R; SANTANA, M. A. E; SOUSA, M. E; TEIXEIRA, D. E. Chapa Aglomerada de Cimento – Madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Àrvore**, v. 28, n. 3, 2004.

OLIVEIRA, F. B.; TEIXEIRA, E. M.; TEODORO, K. B. R.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Obtenção de nanofibras de celulose a partir de fibras de sisal para atuar como reforço em matrizes biodegradáveis. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2009.

OLORUNNISOLA, A. O. Effects of particle feometry and chemical accelerator on xtrengh properties of rattan-cement composities. **African journal of science and tecnology: science and engeeniring series**, v. 8, n. 1, p. 22-27, 2007.

OUAJAI, S; SHANKS, R. A. Composition structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, p. 327–335. 2005.

PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 166 f. tese (Doutorado), universidade federal do Rio de Janeiro, 2005.

PAULA, L. E. R; MENDES, L. M; REZENDE, R. N; ARANTES, M. D. C. Efeito da temperatura e tempo de vaporização na cura de painéis cimento madeira. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 439 – 447, Lavras, 2009.

PETRUZZELLO, M; Açaí. **Britannica Academic**. Disponível em: < <http://academic-eb-britannica.ez7.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/acai/607148>>. 2015. Acessado em: 28 de agosto de 2017.

PIMENTEL, M. S; JARDIM, M. A. G. **Morfologia das inflorescências e infrutescências do Açaí-preto (*Euterpe oleracea* Mart.) e das etnovarietades Espada, BRANCO E TINGA (*Euterpe spp.*)**. 2009. p. 79-88. In: Jardim M.A.G. (Ed.). Diversidade biológica das áreas de proteção ambiental Ilhas do Combu e Algodoal-Ananindeua - Pará, Brasil. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, Ministério da Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

POMARICO, F, A. **Potencial de utilização da madeira de Clones de Eucalipto na Produção de Painéis Cimento-Madeira**. 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

QUIROGA, A; MARZOCCHI, V; RINTOUL, I. Influence of wood treatments on mechanical properties of woodcement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers. **Composites Part B**, v. 84, p. 25-32, 2015.

RACHINI, A; LE TROEDEC, M; PEYRATOUT, C; SMITH, A. Comparison of the termal degradation of natural, alkali-treated and silane-treated hemp fibers under airand an inert atmosphere. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 112, p. 226–234. 2009.

ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDUFPA, 2000. 288p.

ROKBI, M; OSMANI, H; IMAD, A; BENSEDDIQ, N. Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber reinforced polyester composite. **Procedia Engineering**, v. 10, p. 2092–2097. 2011.

SÁ, V. A; MENDES, L.M; COUTO A. M; LIMA N.N. Manufatura de painéis cimento madeira de cedro australiano (*Toona aliata M. Roem var australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Florestalis**, v 38, n 88, p. 559 – 566. 2010.

SAHEB, D. N; JOG, J, P. Natural fiber polymer composites: A review. **Advances in Polymer Technology**, v. 18, n. 4, p. 351– 363. 1999.

SAHU, P; GUPTA, M. K. Sisal (*Agave sisalana*) fibre and its polymer-based composites: A review on current developments. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 36, n.24, p. 1759–1780. 2017.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e de coco para aplicações em Engenharia**. 2006, 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SAVASTANO JUNIOR, H; WARDEN, P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 25, n. 5, p. 517-624, 2003.

SENA NETO, A. R; ARAUJO, M. A. M; SOUZA, F. V. D; MATTOSO, L. H. C; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529-537, 2013.

SILVA, R. F; AQUINO, E. M. F. Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites. **Journal Reinforced Plastics Composites**. v. 27, p. 102–112. 2008.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particle board made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994, 123 p. Tese (Doctor of Philosophy). University of Idaho, Idaho. 1994.

SUNDBERG, M. L; MICHAEL, J; PARTINGTON, J, W; SUNDBERG, C, A. The role of automatic reinforcement in early language acquisition. **Anal Verbal Behav**. v. 13, p. 21–37. 1996.

THAKUR, V. K.; SINGHA, A. S. Natural fibers-based polymers: part I - mechanical analyses of pine needles reinforced biocomposites. **Bulletin of material science**, v. 33, n.3, p. 257-264, 2010.

THOMAS, J. J; JENNINGS, H. M; CHEN, J. J. Influence of nucleation seeding on the hydration mechanisms of tricalcium silicate and cement. **Journal of Physical Chemistry**. v. 113, n. 11, p. 4327–4334. 2009.

TIAN, F; ZHONG, Z; PAN, Y. Modeling of natural fiber reinforced composites under hygrothermal ageing. **Composite Structures**. v. 200, p. 144-152. 2018.

TOLEDO FILHO, R. D; LIMA, P. R. L. Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 7-19, 2008.

WANG, Y; WU, H. C; LI, V. C. Concrete reinforcement with recycled fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**, p. 314 – 319, 2000.

WOLFE, R; GJINOLLI, A. E. Assessment of Cement-Bonded Wood Composites as means of Using Low-Valued Wood for Engineered Applications. In INTERNATIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE. New Orleans LA. Proceedings. ed. **Proceedings of the international wood engineering conference**. v. 3, p. 74-81. 1996.

YAMANAKA, E. S. Cultivo, extração e beneficiamento do açaí orgânico. **São Paulo, UNESP**, 2012.

YANG, F; MA, Y; ZHENG, H; ZHENG, L; ZHAO, Y. An Eco-friendly Degumming of Apocynum Venetum with Ionic Liquid Pretreatment. **Journal of Natural Fibers**. v. 19, p. 1-9. 2019.

YOUNGQUIST, J, A. Wood-based composites and panel products. **Engineering material**. p. 10-31. 1999.

ZHAO, J; YAN, Y; CUI, Q; WANGC, X. Optimization of processing variables and mechanical properties in rubber-wood particles reinforced cement based composites manufacturing technology. **Composites Part B: Engineering**, v. 50, p. 193-201, 2013.

ZOULALIAN, A; MOUGEL, E; BERALDO, A, L. **Dimensionally Stable Cement – Bonded Particleboard**. Inorganic – Bonded Wood and Fibre Composite, v. 4, p. 19 – 24, 1995.